

UNIVERSITE MOHAMMED V - AGDAL  
FACULTÉ DES SCIENCES  
Rabat



N° d'ordre : 2861

THÈSE DE DOCTORAT

Présentée par

**Fatima WARIAGHLI**

Discipline : Biologie

Spécialité : Ecotoxicologie et Biologie marine

**Etude écotoxicologique et parasitologique  
chez l'Anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans les  
estuaires marocains : Sebou et Loukkos  
(Atlantique)**

Soutenue le 11 Novembre 2013

Devant le jury

**Président :**

**M. Abderrahim SADAK**, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat

**Examineurs :**

**M. Ahmed YAHYAOUI**, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat

**M. Reinhold HANEL**, Professeur à l'Université de Kiel et Directeur de Thünen Instiut of Fisheries Ecology, Hambourg-Allemagne

**M. Mohammed FEKHAOUI**, Professeur à l'Institut Scientifique de Rabat

**M. Hassane JAZIRI**, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat et directeur de

## **DEDICACES**

*A mes très chers parents,*

*A mes très chères sœurs,*

*A mes très chers frères*

*A mes neveux Mohamed Amine, Adam et Ismail*

*A toute ma famille*

## AVANT-PROPOS

Les travaux présentés dans ce mémoire de thèse ont été effectués au sein de l'UFR : «Biodiversité et Aquaculture» à la Faculté des Sciences de Rabat, sous la direction du professeur **Ahmed YAHYAOU**.

Ce travail a été réalisé avec la collaboration de «Thünen Institute of Fisheries Ecology» Hambourg, Allemagne. Grâce à la bourse de séjour d'études scientifiques (A/08/97890) de la Deutscher Akademischer Austauschdienst (**DAAD**) et le Service Culturel de la République Fédérale d'Allemagne à Rabat, que toutes ces institutions trouvent ici mes remerciements les plus sincères.

Mes sincères remerciements sont adressés à Monsieur le **Doyen** de la Faculté des Sciences de Rabat, pour le grand intérêt qu'il accorde à la recherche scientifique.

Je remercie vivement Monsieur **Ahmed YAHYAOU**, professeur à la Faculté des Sciences de Rabat et responsable de l'UFR doctorale : «Biodiversité et Aquaculture» et directeur de recherche de cette thèse. Je tiens à lui exprimer ma gratitude pour avoir suivi de très près le déroulement de ce travail, ses conseils du plus haut intérêt ne peuvent que témoigner d'une grande compétence. Malgré ses multiples occupations, il m'a toujours accueilli et m'a fourni toute l'aide possible matérielle et morale pour la réalisation de ce travail. Il n'a eu de cesse de m'encourager et de me soutenir durant ces années de thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance et mon attachement profond.

Mes remerciements s'adressent à Monsieur, **Reinhold HANEL**, Professeur à l'Université Kiel en Allemagne et directeur de *Thünen Institute of Fisheries Ecology*. Je le remercie chaleureusement pour avoir co-dirigé cette thèse. Il m'a accueilli dans les différents départements et annexes de l'Institut vTi en mettant à ma disposition tous les outils nécessaires pour la réalisation de ce travail. Ces conseils judicieux et sa bienveillance a permis la réalisation de cette étude dans de bonnes conditions.

Je remercie infiniment Monsieur **Abderrahim SADAK**, Professeur à la Faculté des Sciences de Rabat qui m'a honoré en acceptant d'être le président de jury de cette thèse et de juger ce travail.

J'exprime mes profonds remerciements à Monsieur **Mohammed FEKHAOUI**, Professeur et Responsable de l'Unité Hydrobiologie et Ecotoxicologie à l'Institut Scientifique de Rabat, pour avoir accepté d'être parmi les membres de jury et de juger ce travail.

Je remercie vivement Monsieur **Hassane JAZIRI**, professeur à la Faculté des Sciences de Rabat, et Directeur de l'Ecole Normale Supérieure de Takadoum à Rabat, pour avoir accepté d'être parmi les membres de jury et de juger les travaux de cette thèse.

J'ai été accueilli dans différents laboratoires de l'Institut vTi, à savoir le laboratoire de la chimie organique où j'ai effectué mes analyses des métaux lourds avec l'encadrement de Dr. **Michael HAARICH**, je lui témoigne ici ma profonde gratitude ainsi qu'à toute l'équipe de ce laboratoire. Je ne pourrais oublier de citer **Maike SIEGMUND**, qui m'a assisté durant la réalisation des analyses de métaux lourds. Je remercie **Jan PETERS** pour son assistance technique et pour m'avoir assisté dans le dosage du mercure. Mes remerciements vont aussi à Dr. **Ulrike KAMMANN** responsable du Laboratoire d'écotoxicologie au même Institut. Je lui témoigne ma gratitude d'avoir encadré la partie du dosage des HAPs et me fournir l'aide nécessaire. Je remercie **Alexander SCHULTZ** technicien au sein de ce laboratoire, Alex avait la gentillesse de m'assister durant toutes les analyses chimiques que j'ai effectué. Mes remerciements les plus chaleureuses vont aussi au Dr. **Klaus WYSUJACK** qui m'a accueilli dans l'Unité Aquacole à Ahrensburg, je lui témoigne ma grande et profonde gratitude pour ces conseils et son assistance. Dans cette unité je voudrais remercier toute l'équipe et spécialement **Anne BEIERMEISTER** et je n'oublie pas de remercier Dr. **Florian NAGEL** qui m'a initié à la technique de la lecture d'âge des anguilles.

Je remercie aussi Dr. **El Abidi ABDALLAH** chef de département de toxicologie à l'Institut Nationale d'Hygiène (INH) et Dr. **Hecham EL HAMRI** Responsable Qualité à l'INH qui m'ont initié aux techniques d'analyses des métaux lourds lors de ma formation de DESA.

Aux membres de ma famille, Vous m'avez soutenu dans cette épreuve plus que quiconque. Merci pour tout !

Je me tourne enfin vers tous mes collègues, amis et connaissances, qui de près ou de loin m'ont soutenu pendant la réalisation de ce travail.

**PRINCIPALES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS  
REALISEES DANS LE CADRE DE CE TRAVAIL**

**ARTICLES SCIENTIFIQUES**

1. F. Wariaghli, T., Ashly, A. EL Abidi, H.El Hamri, M. Fekhaoui & Yahyaoui A. 2013. *Anguilla anguilla L.* : Evaluation of the degree of heavy metals contamination in the Sebou estuary and in Moulay Bousselham lagoon reserve (Morocco). *Int. J. Aqu. Sci:* Vol 4, No.2, 69-82.
2. F Wariaghli, U Kammann, R Hanel, F Nagel, K Wysujack & Yahyaoui A. 2013. Contamination by biliary PAH metabolites in eel (*Anguilla anguilla L.*) in Sebou and Loukkos estuaries (Morocco). *African Journal of Aquatic Science*. Soumis.
3. Fatima Wariaghli, Ahmed Yahyaoui & François Lefebvre 2013. *Anguillicoloides crassus* (Nematoda: Dracunculoidea) infection in Eels in Moroccan estuaries. *African Zoology*. Soumis.

**COMMUNICATIONS ORALES**

1. Fatima Wariaghli, Al Amouri Mohammed & Ahmed Yahyaoui 2012. Eel in Moroccan inland water, status of stock and Fisheries. Sustainable Eel Group Conference à Venise, Italie. [http://www.sustainableeelgroup.com/Venice2012\\_Tues29th\\_1015\\_Morocco\\_Fatima%20Wariaghli.pdf](http://www.sustainableeelgroup.com/Venice2012_Tues29th_1015_Morocco_Fatima%20Wariaghli.pdf)
2. Fatima Wariaghli & Ahmed Yahyaoui. 2010. Fish Biodiversity of Inland Waters of Morocco. Journée scientifique à l'Institut de l'Ecologie des Poisons à Palmaille. Hambourg-Allemagne.
3. Al Amouri Mohamed, Wariaghli Fatima & Yahyaoui Ahmed 2009. Les avantages du circuit fermé en aquaculture. 4ème Congrès de l'Association Marocaine de Limnologie (Journées de 26 – 27 Mars 2009). Institut Scientifique, Rabat.
4. AL Amouri Mohamed, Wariaghli Fatima & Yahyaoui Ahmed 2009. L'étude socio-économique de l'anguille (*Anguilla anguilla L*) dans les estuaires du Sebou et du Loukkos et dans la lagune de Merja Zerga. (Journées de 26 – 27 Mars 2009). Institut Scientifique, Rabat.
5. AL Amouri , M., Wariaghli, F., Yahyaoui, A. & Hermak, A. 2008. Socio-Economic Survey of eel

fisheries (*Anguilla anguilla* L.) in Sebou and Loukkos estuaries and in Merja Zerga lagoon. Journées Anguille du GRISAM, 17-19 June 2008, Rennes (France).

6. Fatima Wariaghli & Ahmed Yahyaoui 2007. Evaluation de la contamination métallique chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) à Sebou et à Moulay Bouselham et Biologie et croissance à Martil. VIIème Congrès Maghebin des Sciences de la Mer, El Jadida.

### COMMUNICATIONS AFFICHEES

1. Wariaghli Fatima, Yahyaoui Ahmed et AL Amouri Mohamed 2012. Eel In Moroccan Inland Water: Status Of Stock And Fisheries. (Morocco). 6th World Fisheries Congress. Sustainable Fisheries in a Changing World. 7 au 11<sup>th</sup>, Mai 2012. Edinburgh, Scotland.

2. Bevacqua D, Yahyaoui A, Wariaghli F, Miran A., *et al.* 2012. Spatial And Temporal Variation In The Size And Age At Maturity For The European Eel (*Anguilla Anguilla*). 6th World Fisheries Congress. Sustainable Fisheries in a Changing World 2012. Edinburgh, Scotland

3. Wariaghli F., Yahyaoui A. & Hermak A. 2007. L'Anguille (*Anguilla anguilla* L.) : Biologie et croissance à l'oued Martil (Maroc). VIIème Congrès Maghrébin des Sciences de la Mer et Premier Congrès Franco-Maghrébin de Zoologie et d'Ichtyologie, El Jadida.

4. Wariaghli F., Yahyaoui A. & Hermak A. 2007. Biologie et croissance à l'oued Martil (Maroc). 4ème Congrès de l'Association Marocaine de Limnologie (Journées de 26 – 27 Mars 2009). Institut Scientifique, Rabat. *1<sup>er</sup> Prix de communication affichée.*

## RESUME

L'Anguille (*Anguilla anguilla*) est un poisson de haute valeur écologique et économique. Cependant, depuis les années 1980, ce poisson a souffert d'une très nette régression sur toute son aire de répartition y compris le Maroc. Depuis 1998, l'Anguille est classée parmi les espèces hors de leurs limites biologiques. Les causes de ce déclin dramatique sont multiples : la pêche, le braconnage, les obstacles aux migrations, le parasitisme ou encore la pollution. Cette dernière est causée par des contaminants organiques (tels que les hydrocarbures aromatiques et polycycliques HAP) ou métalliques (métaux lourds).

Au Maroc, les estuaires du Sebou et du Loukkos sont les sites les plus importants de pêche des anguilles et des civelles. Or, ils souffrent d'une pollution poly-métallique et organique de différentes origines (domestiques, agricoles et industrielles).

Les travaux, menés au cours de cette thèse, visent la détermination de la croissance et l'âge des anguilles par otolithométrie. Ils visent aussi l'identification du degré de contamination métallique et organique auxquels sont soumises ces anguilles. Par le dosage tissulaire des métaux lourds (Cu, Cr, Cd, Pb et Hg) et des HAP biliaries. Cette étude vise aussi le suivi de l'anguillicolose causée par *Anguillicoloides crassus* (*A. crassus*) chez l'Anguille dans les estuaires du Loukkos et du Sebou.

Ainsi, cette étude écotoxicologique a mis en évidence la contamination des anguilles des différents sites par le 1-OH pyrène et le 1-OH phénanthrène tandis que le composé 3-benzo[a]pyrène (HAP) était absent. Le facteur hépatosomatique (RHS) était sensible à la contamination par ces polluants. Une corrélation significativement négative ( $p < 0,05$ ) a été enregistrée entre le facteur RHS et le taux des HAPs.

Par ailleurs, l'analyse des éléments métalliques révèle une contamination tissulaire généralisée avec des concentrations plus élevées du cuivre et du chrome. La concentration moyenne du mercure dans le muscle des anguilles du Sebou et du Loukkos est élevée, de l'ordre de 0,47  $\mu\text{g/g}$  pf (Loukkos) et de 0,46  $\mu\text{g/g}$  p.f (Sebou). Les anguilles de grande taille (50 à 60 cm) sont plus contaminées à des valeurs toxiques, de l'ordre de 0,58  $\mu\text{g/g}$  pf. Excédant ainsi la norme fixée par OMS (0,5  $\mu\text{g/g}$  pf. pour la consommation humaine).

L'étude parasitologique, révèle que le facteur de dégénérescence des vessies natatoires (SDI) présente une corrélation positive avec la variation du nombre du parasite (*A. crassus*) dans les deux estuaires ( $p < 0,05$ ). Tandis que le suivi de l'anguillicolose (2004-2009) a montré une prévalence de 54% à Sebou, alors que dans Loukkos (2008-2009), elle est de l'ordre de 34%.

---

**Mots clés :** *Anguilla anguilla*, Métaux lourds, Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), *Anguillicoloides crassus*, Estuaire, Sebou, Loukkos, Maroc.

---

## Abstract

The common eel (*Anguilla anguilla*) is a fish of high ecological and economic value. However, since the 1980s, eel populations have been suffering from a dramatic decline throughout its range of distribution, including Morocco. Since 1998, the eel is classified as species beyond their biological limits.

The causes are many: overfishing, migration barriers, parasitism or pollution. This pollution could be caused by organic contaminants (such as polycyclic aromatic hydrocarbons and PAHs) and metallic (heavy metals).

In Morocco, estuaries of Sebou and Loukkos are the most important fishing area of eels. However, they suffer from a poly-metallic and organic pollution from different sources (domestic, agricultural and industrial).

This thesis work aimed to determine the growth and age of eels by otolithometry and to identify the degree of metallic and organic contamination of eels. By the tissular identification of heavy metals (Cu, Cr, Cd, Pb and Hg) and of PAH metabolites in bile of eels.

On the other hand, this study is also monitoring the anguillicolosis caused by *Anguillicoloides crassus* (*A. crassus*) in Loukkos and Sebou estuaries.

Thus, the ecotoxicological study showed a contamination of eels in different sites by 1- OH pyrene and 1-OH phenanthrene while the compound of 3 -benzo [a] pyrene (PAH) was absent. The hepatosomatic factor (RHS) was sensitive to the contamination by these pollutants. A significant negative correlation ( $p < 0.05$ ) was recorded between RHS and the rate of PAHs.

The analysis of metallic elements reveals a widespread tissue contamination with higher concentrations of copper and chromium. The average concentration of mercury in the muscle of eels from the two estuaries is high: 0.47  $\mu\text{g/g}$  (Loukkos) and 0.46  $\mu\text{g/g}$  (Sebou). Eels of large size (50 to 60 cm) are contaminated with toxic levels of the order of 0.58  $\mu\text{g/g}$ . Exceeding the standard set by WHO (0.5  $\mu\text{g/g}$  wet weight for human consumption).

The parasitological study reveals that the degeneracy factor of swim bladders (SDI) has a positive correlation with the variation of the number of parasite (*A. crassus*) in both estuaries ( $p < 0.05$ ). While the monitoring of anguillicolosis (2004-2009) showed a prevalence of 54% in Sebou and of 34% in Loukkos (2008-2009).

---

**Keywords :** *Anguilla anguilla*, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbure (PAH), *Anguillicoloides crassus*, Estuary, Sebou, Loukkos, Morocco.

---

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I.....</b>	<b>6</b>
<b>PÊCHE ET SOCIO-ECONOMIE DE L'ANGUILLE (<i>Anguilla anguilla</i>). .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
<b>I. PRESENTATION DE L'ANGUILLE .....</b>	<b>8</b>
<b>I.1. Position systématique.....</b>	<b>8</b>
<b>I.2. Répartition .....</b>	<b>9</b>
<b>I.2.1. Aire de répartition mondiale.....</b>	<b>9</b>
<b>I.2.2. Aire de répartition marocaine .....</b>	<b>10</b>
<b>I. 3. Cycle biologique et métamorphose de l'anguille.....</b>	<b>10</b>
<b>I.3.1. Migration anadrome et colonisation des eaux continentales (civelle et anguille jaune) .....</b>	<b>12</b>
<b>I.3.2. Métamorphose en anguille argentée .....</b>	<b>14</b>
<b>I.3.3. Migration catadrome .....</b>	<b>14</b>
<b>I.4. Facteurs internes contrôlant le comportement migrateur .....</b>	<b>15</b>
<b>I.4.1. Facteurs endocriniens .....</b>	<b>15</b>
<b>I.4.2. Facteurs génétiques .....</b>	<b>15</b>
<b>I.4.3. Condition corporelle et taux de croissance .....</b>	<b>16</b>
<b>I. 5. Facteurs externes contrôlant le comportement migrateur .....</b>	<b>17</b>
<b>I.5.1. Température.....</b>	<b>17</b>
<b>I.5.2. Lumière et photopériode .....</b>	<b>18</b>
<b>I.5.3. Odeur de l'eau .....</b>	<b>18</b>
<b>I.5.4. Salinité .....</b>	<b>19</b>
<b>I.5.5. Marée.....</b>	<b>19</b>
<b>I.5.6. Lune.....</b>	<b>19</b>
<b>I.5.7. Vents et pression atmosphérique .....</b>	<b>20</b>
<b>I.5.8. Facteurs sociaux .....</b>	<b>20</b>
<b>I.6. Facteurs de la sélection de l'habitat .....</b>	<b>20</b>
<b>1.6.1. Salinité.....</b>	<b>21</b>
<b>1.6.2. Odeur de l'eau.....</b>	<b>21</b>
<b>1.6.3. Autres facteurs abiotiques du milieu.....</b>	<b>22</b>

1.6.4. Facteurs sociaux.....	22
1.6.5. Qualité de l'habitat .....	22
I.7. Réglementation .....	22
I.8. Menaces naturelles sur l'anguille .....	24
I.9. Menaces anthropiques .....	26
I.10. Enjeux associés à l'anguille.....	29
<b>II. PRESENTATION DES MILIEUX D'ETUDE .....</b>	<b>30</b>
II.1. Estuaire du Sebou .....	30
II.1.1. Situation géographique .....	30
II.1.2. Géologie.....	31
II.1.3. Climatologie .....	31
II.1.4. Hydrologie.....	32
II.1.5. Sources de pollution.....	32
II.2. Estuaire de Loukkos.....	34
II.2.1. Situation géographique .....	34
II.2.2. Climatologie .....	35
II.2.3. Hydrologie.....	36
II.2.4. Sources de pollution.....	37
<b>III. PÊCHE ET EXAMENS D'ECHANTILLONS .....</b>	<b>38</b>
III.1. Pêche .....	38
III.1.1. Technique de pêche .....	39
III.1.2. Moyens de production et analyse comparée des engins de pêche .....	44
<b>IV. INTERET ECONOMIQUE DE L'ANGUILLE .....</b>	<b>45</b>
IV.1. Communautés des pêcheurs .....	45
IV.2. Efforts de pêche et de captures .....	47
<b>V. ANGUILLICULTURE .....</b>	<b>49</b>
<b>Chapitre II .....</b>	<b>53</b>
<b>ETUDE DE LA CROISSANCE ET DE L'OTOLITHOMETRIE DE L'ANGUILLE</b> <b>(A. ANGUILLA) .....</b>	<b>53</b>
<b>I. OTOLITHE ET OTOLITHOMETRIE .....</b>	<b>54</b>
<b>II. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>57</b>
II.1. Récolte des échantillons.....	57

II.2. Morphométrie .....	57
II.3. Détermination du sexe.....	57
II.4. Extraction des otolithes .....	57
II.5. Lecture d'âge par otolithométrie .....	58
<b>III. RESULTATS .....</b>	<b>60</b>
III.1. Répartition des classes de taille et de poids des anguilles .....	60
III.1.1. Classe de taille .....	60
III.1.2. Classe de poids.....	63
III.1.3. Relation taille-poids.....	66
III.2. Variation du coefficient de condition (Kc) .....	70
III.3. Variation du coefficient hépatosomatique (RHS) .....	71
III.4. Sex-ratio des populations d'anguilles .....	72
III.5. Âge des populations d'anguilles .....	75
III.6. Relation âge-longueur totale des anguilles .....	76
<b>IV. DISCUSSION ET CONCLUSION.....</b>	<b>80</b>
IV.1. Biométrie et sex-ratio .....	80
IV.2. Facteur de condition (Kc) et rapport hépatosomatique (RHS).....	80
IV.3. Relation âge-croissance des anguilles .....	81
<b>Chapitre III .....</b>	<b>83</b>
<b>CONTAMINATION ET BIOACCUMULATION METALLIQUE CHEZ L'ANGUILLE (<i>A. anguilla</i>) .....</b>	<b>83</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>84</b>
<b>I. GENERALITES SUR LA CONTAMINATION PAR LES METAUX LOURDS.....</b>	<b>86</b>
I. 1. Définition.....	86
I. 2. Classification des métaux.....	86
I. 2. 1. Densité .....	86
I. 2. 2. Effet biologique .....	86
I. 3. Sources des métaux lourds dans les écosystèmes .....	87
I. 3. 1. Sources industrielles .....	87
I. 3. 2. Sources agricoles .....	87
I. 3. 3. Sources naturelles.....	88
I. 3. 4. Sources anthropiques .....	88

<b>I. 4. Métaux lourds étudiés et leurs origines.....</b>	<b>88</b>
<b>I. 4. 1. Cuivre (Cu).....</b>	<b>88</b>
<b>I. 4. 2. Chrome (Cr).....</b>	<b>89</b>
<b>I. 4. 3. Cadmium (Cd).....</b>	<b>89</b>
<b>I. 4. 4. Plomb (Pb).....</b>	<b>90</b>
<b>I. 4. 5. Mercure (Hg).....</b>	<b>91</b>
<b>II. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>92</b>
<b>I. 1. Echantillonnage .....</b>	<b>92</b>
<b>I. 2. Procédure analytique.....</b>	<b>93</b>
<b>III. RESULTATS .....</b>	<b>97</b>
<b>III.1. Concentration métallique .....</b>	<b>97</b>
<b>III.1.1. Teneurs en Cu, Cr, Cd et Pb.....</b>	<b>97</b>
<b>III.1.2. Teneur métallique en mercure.....</b>	<b>100</b>
<b>IV. DISCUSSION.....</b>	<b>105</b>
<b>V. CONCLUSION.....</b>	<b>107</b>
<b>Chapitre IV .....</b>	<b>108</b>
<b>CONTAMINATION ORGANIQUE PAR LES HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAPs) CHEZ L'ANGUILLE (<i>A. anguilla</i>).....</b>	<b>108</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>109</b>
<b>I. GENERALITES SUR LES HAP.....</b>	<b>110</b>
<b>I.1. Définition.....</b>	<b>110</b>
<b>I.2. Origine des HAP .....</b>	<b>111</b>
<b>I.2.1. Origine pyrolytique .....</b>	<b>111</b>
<b>I.2.2. Origine pétrogénique .....</b>	<b>111</b>
<b>I.2.3. Origine diagénétique (sédiments récents).....</b>	<b>112</b>
<b>I.2.4. Toxicité des HAP .....</b>	<b>112</b>
<b>II. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>113</b>
<b>II.1. Echantillonnage des anguilles .....</b>	<b>113</b>
<b>II.2. Préparation des échantillons de la bile des anguilles.....</b>	<b>113</b>
<b>II.3. Méthode analytique.....</b>	<b>113</b>
<b>II.4. Dosage des HAP par la méthode HPLC .....</b>	<b>114</b>

II.4.1. Technique d'analyse par chromatographie en phase liquide couplée à un détecteur à fluorescence .....	114
II.4.2. Détermination de la limite de détection (LD) et de quantification (LQ) .....	117
II.5. Détermination de la biliverdine et l'absorbance à 380nm (A380).....	118
II.6. Analyse statistique.....	118
<b>III. RESULTATS .....</b>	<b>118</b>
III.1. Caractéristiques des anguilles pêchées.....	118
III.2. Dosage des métabolites d'HAP dans la vésicule biliaire par HPLC-FD.....	119
III.3. Normalisation des métabolites HAP.....	120
III.4. Relation HAP - rapport hépatosomatique (RHS) .....	124
<b>IV. DISCUSSION.....</b>	<b>125</b>
<b>V. CONCLUSION.....</b>	<b>127</b>
<b>Chapitre V .....</b>	<b>128</b>
<b>ETUDE EPIDEMIOLOGIQUE DE L'INFECTION DES ANGUILLES (<i>A. ANGUILLA</i>) PAR LE NEMATODE PARASITAIRE <i>ANGUILLICOLOIDES CRASSUS</i></b>	
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>128</b>
<b>I. SYSTEMATIQUE D'<i>ANGUILLICOLOIDES CRASSUS</i> ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE.....</b>	<b>130</b>
I.1. Systématique .....	130
I.2. Répartition géographique.....	131
I.2.1. En Europe.....	131
I.2.2. Au Maroc .....	133
I.3. Cycle biologique d' <i>Anguillicoloides crassus</i> .....	133
<b>II. MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>135</b>
II.1. Echantillonnage.....	135
II.2. Analyse statistique.....	135
<b>III. RESULTATS .....</b>	<b>136</b>
III.1. Évolution temporelle de l'anguillicolose à Sebou.....	136
III.2. Comparaison de l'infection entre les sites .....	138
<b>IV. DISCUSSION ET CONCLUSION.....</b>	<b>140</b>
<b>CONCLUSION GENERALE &amp; PERSPECTIVES .....</b>	<b>143</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>146</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Quotas de capture de civelle et d'anguille dans les sites amodiés (2011-2012)...	23
Tableau II : Dates d'ouverture et de fermeture de la pêche d'Anguille et de civelle au Maroc.....	24
Tableau III : Production annuelle en tonne des principales unités de production au bassin de Sebou .....	33
Tableau IV : Principales caractéristiques des barques de pêche .....	44
Tableau V : Effectifs des pêcheurs dans les sites de pêche des anguilles au Maroc .....	46
Tableau VI : Effort de pêche dans les trois sites .....	48
Tableau VII : CPUE des anguilles argentées et jaunes .....	48
Tableau VIII : Quantités de civelles capturées (T/an) dans les différents sites de pêches marocains.....	49
Tableau IX : Evolution de la production des anguilles par anguilliculture (1999-2011). ....	51
Tableau X: Distribution des longueurs des populations d'anguilles étudiées. ....	63
Tableau XI : Distribution des poids d'anguilles étudiées.....	66
Tableau XII : Teneurs en métaux des anguilles pêchées dans les estuaires du Sebou et du Loukkos. ....	97
Tableau XIII : Gradient de l'accumulation des métaux étudiés dans différents organes des anguilles du Sebou.....	98
Tableau XIV : Gradient de l'accumulation des métaux traces dans différents organes des anguilles du Loukkos.....	98
Tableau XV: Concentration du mercure (Hg en µg/kg) selon les classes de taille des anguilles .....	103
Tableau XVI : Normes des teneurs de certains métaux toxiques exprimées en µg/g du poids frais. ....	106
Tableau XVII : Energies de formation des HAP étudiés .....	112
Tableau XVIII : Présentation des moyennes, erreur standard : longueur totale, poids total, coefficient de condition et facteur hépatosomatique des anguilles pêchées dans les estuaires du Loukkos et du Sebou. ....	118
Tableau XIX: Dosage des métabolites des HAP: 1-Hydorxypyrène, 1-Hydroxyphenantrène, et biliverdine (ng/ml bile) au niveau des anguilles pêchées en 2009 dans les sites étudiés. ....	120
Tableau XX : Epidémiologie de l'infection d' <i>Anguilla anguilla</i> par le nématode <i>Anguillicoloides crassus</i> dans les eaux marocaines durant la période 1994-2009.....	137
Tableau XXI : Effet des sites, année et saison de pêche et longueur des anguilles sur la variation de la prévalence et l'intensité moyenne d' <i>Anguillicoloides crassus</i> en utilisant le modèle linéaire d'ANOVA. ....	140

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aire de répartition de l'anguille européenne ( <i>Anguilla anguilla</i> L., 1758).....	9
Figure 2 : Aire de répartition géographique de l'Anguille <i>Anguilla anguilla</i> au Maroc. ....	10
Figure 3 : Cycle biologique de l'anguille européenne .....	12
Figure 4 : Relation entre mécanisme physiologique et taux d'hormones thyroïdiennes (TH) chez l'anguille. ....	17
Figure 5 : Les menaces naturelles sur l'anguille ( <i>Anguilla anguilla</i> ).....	26
Figure 6 : Menaces anthropiques.....	29
Figure 7 : Localisation des sites de capture des échantillons d'anguilles dans la partie basse de Sebou .....	31
Figure 8: Localisation des sites de pêche des anguilles à l'estuaire du Loukkos.....	35
Figure 9 : Carte représentant les importantes ressources en eau du bassin du Loukkos ....	37
Figure 10 : Nasse utilisée dans la pêche des anguilles .....	40
Figure 11 : Photo du barrage de garde au bas Loukkos . ....	41
Figure 12 : Filets à civelle (Estuaire de sebou) .....	42
Figure 13 : Epuisette utilisée pour capturer les civelles à l'estuaire de Loukkos.....	43
Figure 14 : Production des anguilles ( <i>Anguilla anguilla</i> ) dans les eaux continentales marocaines .....	47
Figure 15 : Evolution de la production aquacole de l'anguille (HCEFLCD) .....	50
Figure 16 : Circuit de commercialisation des anguilles au Maroc.....	52
Figure 17 : Otolithe de l'anguille «Sagitta » face ventrale.. ....	56
Figure 18 : Extraction des sagittas à l'aide de pinces fines par une coupe transversale .....	58
Figure 19 : Position des otolithes à l'intérieur de l'oreille interne des poissons téléostéens .	58
Figure 20: Montage des otolithes après brûlage en vue de la lecture d'âge .....	59
Figure 21 : Otolithe d'une anguille argentée de 10 ans (10+) capturée à Loukkos en 2009..	59
Figure 22 : Variation annuelle des classes de taille (cm) des anguilles du Sebou et du Loukkos (2008-2009) .....	61
Figure 23 : Distribution des tailles des anguilles du Loukkos (2008-2009).....	62
Figure 24 : Distribution des tailles des anguilles du du Sebou (2008-2009).....	62
Figure 25: Variation annuelle des classes de poids (g) des anguilles du Loukkos et du Sebou (2008-2009).....	64
Figure 26 : Distributions des classes de poids des anguilles du Sebou 2009. ....	65
Figure 27 : Distributions des classes de poids des anguilles du Loukkos .....	65
Figure 28 : Variation saisonnière de la corrélation entre la longueur (L) et le poids (P) des anguilles capturées à l'estuaire du Loukkos.....	67
Figure 29 : Variation saisonnière de la corrélation entre la longueur (L) et le poids (P) des anguilles capturées à l'estuaire du Sebou. ....	68
Figure 30 : Variation annuelle de la corrélation entre la longueur (L) en cm et le poids (P) en gramme des anguilles capturées à l'estuaire du Loukkos et du Sebou. ....	69

<b>Figure 31 : Variation du coefficient de condition Kc des échantillons d'anguilles du Loukkos et du Sebou. ....</b>	<b>70</b>
<b>Figure 32 : Variation du facteur hépatosomatique (RHS en %) des anguilles du Loukkos (a) et du Sebou (b).....</b>	<b>71</b>
<b>Figure 33 : Pourcentage total des anguilles indifférenciées (ID), mâles (M) et femelles (F) dans les estuaires du Loukkos et Sebou.....</b>	<b>72</b>
<b>Figure 34 : Pourcentage des anguilles indifférenciées, mâles et femelles du Loukkos (2008-2009).....</b>	<b>73</b>
<b>Figure 35 : Pourcentage des anguilles indifférenciées, mâles et femelles du Sebou (2008-2009).....</b>	<b>74</b>
<b>Figure 36 : Distribution de l'âge chez les anguilles du Loukkos.....</b>	<b>75</b>
<b>Figure 37 : Distribution de l'âge chez les anguilles du Sebou.....</b>	<b>76</b>
<b>Figure 38: Variation de la longueur totale à l'âge des anguilles selon les campagnes à Sebou .....</b>	<b>77</b>
<b>Figure 39 : Variation de la longueur totale à l'âge des anguilles selon les campagnes au Loukkos .....</b>	<b>77</b>
<b>Figure 40: Longueur totale (cm) aux âges en fonction du site d'échantillonnage.....</b>	<b>78</b>
<b>Figure 41 : Variation de la longueur au total d'anguilles en fonction de leur âge .....</b>	<b>78</b>
<b>Figure 42 : Variation de l'âge des anguilles selon leur longueur (cm) dans les estuaires du Loukkos (a) et du Sebou (b) en 2008 et 2009.....</b>	<b>79</b>
<b>Figure 43 : Sites d'échantillonnage des anguilles en 2009 .....</b>	<b>93</b>
<b>Figure 44 : Photographie du spectromètre d'absorption atomique A.....</b>	<b>95</b>
<b>Figure 45 : FIMS Flow Injection Mercury System .....</b>	<b>96</b>
<b>Figure 46 : Concentration du cuivre, plomb, chrome et cadmium (<math>\mu\text{g}/\text{Kg}</math>) dans le foie, les branchies et le muscle des anguilles collectés dans les estuaires du Loukkos et du Sebou. ....</b>	<b>99</b>
<b>Figure 47 : Variation des concentrations du mercure dans le muscle (<math>\mu\text{g}/\text{kg}</math>) des anguilles de la partie avale du Sebou (HGMS), Loukkos (HGML) et l'amont du Sebou (HGMV).100</b>	<b>100</b>
<b>Figure 48 : Variation des concentrations du mercure (<math>\mu\text{g}/\text{kg}</math>) dans le foie des anguilles de l'aval du Sebou (HGFS), Loukkos (HGFL) et l'amont du Sebou (HGFV). ....</b>	<b>101</b>
<b>Figure 49 : Variation des concentrations du mercure (<math>\mu\text{g}/\text{kg}</math>) dans le foie (HGF) et le muscle des différentes anguilles capturées.....</b>	<b>101</b>
<b>Figure 50 :Variation des concentrations du mercure (<math>\mu\text{g}/\text{kg}</math>) dans les différentes anguilles selon le sexe.....</b>	<b>102</b>
<b>Figure 51 : Variation des concentration s du mercure (Hg) en <math>\mu\text{g}/\text{Kg}</math> dans le muscle des anguilles en fonction de leur classe de taille (cm) dans les sites étudiés.....</b>	<b>103</b>
<b>Figure 52 : Concentration du mercure (Hg) en <math>\mu\text{g}/\text{Kg}</math> dans les différents organes (Muscle, foie et branchies) de l'anguille dans les sites étudiés. ....</b>	<b>104</b>
<b>Figure 53 : Schéma d'un appareil à basse pression de chromatographie liquide à haute performance.....</b>	<b>114</b>

**Figure 54 : Principe de la chromatographie liquide haute performance ..... 115**

**Figure 55 : Diagramme de Jablonski décrivant le principe de la fluorescence ..... 116**

**Figure 56 : Appareil d’HPLC couplé à un détecteur de fluorescence ..... 117**

**Figure 57 : Chromatogramme d’un échantillon du contenu biliaire chez les anguilles collectées au Sebou ..... 119**

**Figure 58 : Variation de la concentration du 1-OH Pyrène (ng/ml) sans ou avec normalisation des concentrations chez les anguilles collectées . ..... 122**

**Figure 59: Normalisation des concentrations des HAP biliaires par la biliverdine chez les anguilles . ..... 123**

**Figure 60 : Variation du rapport hépato-somatique (RHS) et du rapport de la concentration du métabolite 1-OH pyrène/total des anguilles dans les sites étudiés ... 124**

**Figure 61 : Anguillicoloides crassus..... 131**

**Figure 62 : Répartition d’*Anguillicoloides crassus* dans l’aire de répartition d’*Anguilla anguilla* ..... 132**

**Figure 63 : Cycle biologique d’*Anguillicoloides crassus* . ..... 134**

**Figure 64 : Relation entre la prévalence (%), intensité moyenne et l’abondance d’*Anguillicoloides crassus* des anguilles à Sebou ..... 136**

**Figure 65 : Distribution de la fréquence d’*Anguillicoloides crassus* chez les anguilles capturées dans les estuaires de Sebou et du Loukkos. .... 138**

**Figure 66 : Moyenne du facteur SDI de la vessie natatoire des anguilles capturées dans les estuaires du Sebou et du Loukkos en 2008 et 2009..... 139**

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>CE :</b>	Comité européen
<b>CIRC :</b>	Centre International de Recherche sur le Cancer
<b>CITES :</b>	Convention on International Trade of Endangered Species (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction).
<b>CRM:</b>	Matériaux de Référence Certifiés, Certified Reference Material.
<b>DIBK :</b>	Diisobutylketon (diisobutylcétone)
<b>FAO:</b>	Food and Agriculture Organization.
<b>FIMS :</b>	Flow Injection Mercury System
<b>HAP :</b>	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
<b>HCEFLCD :</b>	Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification
<b>HELCOM :</b>	The Baltic Marine Environment Protection Commission
<b>HPLC .</b>	High Performance Liquid Chromatography (haute performance chromatographie en phase liquide).
<b>ICES :</b>	International Council for the Exploration of the Sea.
<b>INERIS :</b>	Institut national (français) de l'environnement industriel et des risques
<b>Pf :</b>	Poids frais.
<b>SAA:</b>	Spectrométrie d'Absorption Atomique.
<b>USEPA:</b>	United States. Environmental Protection Agency.
<b>WGEEL :</b>	Working Group on Eel
<b>OMS:</b>	Organisation Mondiale de la Santé.

## INTRODUCTION GENERALE

Connu par son extrême diversité écologique, le Maroc est le pays d'Afrique du Nord le plus pourvu en eaux continentales (2 000 km de cours d'eau). La grande variabilité spatiale des conditions climatiques et géologiques accentue cette richesse en créant des types d'écosystèmes aquatiques très variés depuis les lacs, les rivières et les sources de montagnes calcaires jusqu'au Merjas et Sebkhass sahariennes (Melhaoui, 1994).

L'ichtyofaune des eaux continentales marocaines compte 46 espèces, dont 30 sont autochtones et 16 espèces introduites, appartenant à 7 familles (Azeroual *et al.*, 2000). Au sein de cette ichthyofaune, l'Anguille (*Anguilla anguilla* L.) est dotée d'une importance patrimoniale et occupe une grande place, surtout après la disparition de l'aloise des hydrosystèmes marocains.

Longtemps considérée comme une espèce commune, l'Anguille a disparu aujourd'hui de nombreux bassins hydrographiques. Ses stocks naturels, si abondants et denses il y a quelques années commencent à se raréfier et le devenir de cette espèce est fort préoccupant. Toutes les données sur les estimations des montées des civelles révèlent des taux de capture extrêmement bas. On sait déjà que depuis le début des années 1980, les stocks d'anguilles européennes ont décliné à travers toute son aire de répartition (Moriarty & Dekker, 1997).

Au Maroc, limite méridionale de distribution de l'espèce, la diminution générale du stock n'est enregistrée qu'après le pic des captures en 1997, soit 17 ans après l'Europe (Yahyaoui *et al.*, 1983).

De plus, en tant qu'espèce de grand intérêt commercial, l'anguille est probablement le seul poisson à être exploité par l'homme à tous les stades de son cycle biologique. D'un autre côté, la reproduction artificielle n'est pas encore maîtrisée et l'approvisionnement des élevages se fait exclusivement à partir du stock naturel de civelles (Boetius & Boetius, 1980 ; Prokhorchik *et al.*, 1987). L'accroissement en anguilliculture et le déclin de la production par pêche sont tels qu'ils ont induit une augmentation considérable des prix et, corrélativement une amplification de l'effort de pêche, qui ont conduit à une réduction des stocks naturels d'anguilles sauvages.

Considérant les parties basses des rivières (embouchures, lagunes, merjas), la pêche concerne essentiellement l'anguille et la civelle dont l'exploitation est pratiquée principalement dans le

Sebou et le Loukkos. Ces sites recèlent d'importantes ressources halieutiques marocaines dont la civelle de l'anguille représente une activité économique non négligeable.

Par ailleurs et pour faire face à la surexploitation de l'anguille, la communauté internationale a pris, lors de la quatorzième Conférence des Parties à la Convention sur le Commerce International des Espèces de Flore et de Faune menacées d'extinction (CITES), qui a eu lieu à la Haye (Pays Bas) du 3 au 15 Juin 2007, la décision d'inscrire cette espèce sur l'annexe II de la CITES dans l'objectif de réglementer son commerce international. Cette inscription est entrée en vigueur le 13 Mars 2009. Ainsi, l'exportation et l'importation des spécimens de cette espèce nécessitent la présentation, au préalable, d'un permis CITES délivré par le HCEFLCD , en sa qualité d'organe de gestion de ladite Convention au Maroc. Au 17 Mars 2011, la réunion du comité de la pêche dans les eaux intérieures du Maroc a émis un certain nombre de mesures d'urgence (réduction de la saison de pêche, réduction du quota de pêche de l'anguille, le contrôle des sociétés de l'aquaculture de l'anguille ...) qui permettraient d'améliorer la gestion et la conservation de l'anguille.

Dans ce contexte, plusieurs actions sont en cours ou était mis en œuvre pour essayer d'identifier et comprendre les causes du déclin des stocks d'anguilles au Maroc.

En effet, l'explication de sa régression semble multifactorielle : la surpêche et le braconnage des civelles, des anguillettes et des anguilles (jaune et argentée), les obstacles sur les voies de migration des civelles et des anguilles argentées (barrages sans passes à poissons fonctionnelles, filets de pêche), le réchauffement climatique, la disparition d'habitat et des ressources nutritives, les pollutions multiples (agricole, industrielle et domestique).

Pourtant, l'impact de la pollution des habitats d'anguilles semble peu étudié. En effet, les polluants présents dans ses habitats semblent compromettre fortement le succès de sa reproduction (Robinet & Feunteun, 2002). Il existe une multitude de polluants que l'on peut séparer en deux grands groupes :

- ✓ **Les polluants organiques** (PCB, les polybromodiphényles éthers (PBDE), l'hexabromocyclododécane (HBCD) et les bisphénols bromés (le TBBP-A en particulier), les dioxines, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)).
- ✓ **Les polluants inorganiques** tels les métaux lourds (cadmium, plomb, mercure, cuivre...).

En effet, malgré un système de détoxification permanent via le foie et les reins, l'anguille possède des traits de vie qui la rendent particulièrement vulnérable aux polluants. Son pourcentage élevé de lipides, sa place élevée dans le réseau trophique, sa durée de vie (3-8 ans pour les mâles et 5-20 ans pour les femelles) et le fait qu'elle se reproduise une seule fois dans sa vie (sans pouvoir évacuer la pollution par une reproduction régulière), font qu'elle peut dramatiquement accumuler des molécules xénobiotiques lipophiles lors de son long séjour continental (Bruslé, 1990 ; Robinet & Feunteun, 2002). Il semble donc que les contaminations auxquelles sont exposées les anguilles passant leur phase de croissance en milieux pollués, soient effectivement en partie responsables de la vulnérabilité de cette espèce en réduisant à la fois les capacités de survie des juvéniles et des adultes, mais aussi le succès de reproduction des géniteurs.

A noter que pendant longtemps, il a été admis que les anguilles effectuaient leur phase de croissance en milieux continentaux d'eau douce. Cependant, grâce aux progrès des analyses microchimiques des otolithes et de la bioénergétique, nous savons maintenant que certaines populations d'anguilles ne remontent pas vers les eaux fluviales mais, s'installent plus ou moins durablement dans les zones estuariennes (Daverat *et al.*, 2004 et 2005) où elles sont aussi soumises à des polluants marins.

Au Maroc, très peu d'études écotoxicologiques ont intéressé l'anguille (*Anguilla anguilla*). La première étude de la contamination métallique des anguilles et des civelles de l'estuaire du Sebou et de la lagune de Moulay Bousselham était élaborée par Wariaghli (2006 et 2013), suivie par le travail d'El Morhit *et al.* (2009) décrivant la teneur des éléments traces chez les civelles issues de l'estuaire de Loukkos.

Cependant aucune étude ne s'est intéressée, jusqu'à présent, à la détermination de la teneur des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) dans la vésicule biliaire des anguilles ou bien encore au dosage d'un élément métallique très toxique à savoir le mercure chez les populations

d'anguilles du Maroc.

A l'impact de la pollution anthropique (métallique et organique) s'ajoute l'effet des agents naturels et pathogènes, notamment le nématode *Anguillicoloides crassus*. Au Maroc, ce parasite a été découvert dans les eaux continentales marocaines dès les années quatre-vingt-dix par El Hilali *et al.*, (1996). Cet endoparasite allochtone originaire de l'Est asiatiques (Feunteun, 2002 ; Palstra *et al.*, 2007; Jakob *et al.*, 2009 ; Lefebvre *et al.*, 2012) provoque chez l'anguille (*Anguilla anguilla*) des lésions plus grave que celles observées chez *Anguilla japonica*. Les infections par ce parasite conduisent à un dysfonctionnement de la vessie natatoire, organe essentiel permettant aux anguilles de réaliser leur migration et diminuerait donc, la capacité de migration des anguilles vers l'aire de ponte (Mer des sargasses). Un suivi de cette parasitose semble opportun afin de décrire l'état actuel du stock d'anguilles dans ses sites les plus propices à savoir l'estuaire du Loukkos et Sebou.

La présente étude rentre dans le cadre d'une contribution à la gestion du stock naturel des populations d'anguilles au Maroc. Cette étude a été réalisée dans deux estuaires atlantiques : l'estuaire de Sebou et de Loukkos (les plus importants sites de pêche de l'anguille).

Ainsi, les principaux objectifs de ce travail de thèse sont :

- ✓ La caractérisation des populations d'anguilles étudiées dans ces milieux par la détermination de leur **croissance** et leur âge par l'**otolithométrie**.
- ✓ L'étude du degré de pollution **métallique** et **organique**, auxquels sont soumises les anguilles vivant dans les deux estuaires Loukkos et Sebou, par l'analyse des degrés de contamination par les métaux lourds et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans cette espèce.
- ✓ Le suivi de l'évolution temporelle de l'anguillicolose causée par le parasite nématode *Anguillicoloides crassus* dans l'estuaire de Sebou et comparer le taux de l'infestation de ce parasite entre les estuaires de Loukkos et de Sebou.

La présentation de ces travaux sera composée de cinq chapitres :

Le **Chapitre I** portera sur la **pêche** et l'**aspect socio-économique** des anguilles. Dans un premier temps, nous caractériserons la pêche des anguilles par la détermination des taux de leur capture et les techniques de pêche utilisées. Ce chapitre sera consacré aussi à la description des milieux d'étude.

Le **Chapitre II "Etude de la croissance et de l'otolithométrie de l'anguille"** est consacré à la description de la croissance des anguilles en se basant sur la biométrie (longueur, poids), le facteur de croissance (Kc), le rapport hépatosomatique (RHS) et la lecture d'âge par otolithométrie.

Le **Chapitre III "Contamination et bioaccumulation métallique chez l'anguille (*Anguilla anguilla*)"** aura comme objectif de décrire les métaux lourds étudiés et de présenter les résultats de leur degré d'accumulation organotrope (foie, branchie et muscle) chez les anguilles pêchées dans les estuaires du Loukkos et du Sebou.

Le **Chapitre IV** fera l'objet de l'étude du dosage des **contaminants organiques** notamment les **hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** dans le contenu de la vésicule biliaire des anguilles capturées dans l'amont et le bas du Sebou et dans le bas du Loukkos.

Le **Chapitre V** portera sur l'**étude épidémiologique de l'infection des anguilles par le nématode parasitaire *Anguillicoloides crassus***, par la réalisation d'un suivi spatio-temporel dans les milieux étudiés et la description d'un indice de la détermination de l'infection des vessies natatoires (SDI).

# Chapitre I

**PÊCHE ET SOCIO-ECONOMIE DE L'ANGUILLE**  
*(Anguilla anguilla).*

## INTRODUCTION

En tant que poisson amphihalien thalassotoque, l'anguille (*Anguilla anguilla*) croît dans les eaux continentales, saumâtres ou douces avant de rejoindre son lieu de reproduction situé dans la mer des Sargasses (Fontaine, 1975 ; McDowall, 1999). Elle est apparue comme une espèce commune représentative de l'ichtyofaune des milieux littoraux (lagunes, estuaires...) et des eaux continentaux (lacs, fleuves, rivières, canaux...). Cette diversité de biotope montre que l'anguille s'adapte à toutes les conditions et les situations et lui procure un grand intérêt biologique et commercial.

Excepté son stade larvaire leptocéphale (difficilement accessible), les anguilles peuvent être exploitées par l'Homme à tous les stades de son cycle biologique : civelle, anguillette, anguille jaune et anguille argentée.

Cette forte demande en anguilles sur les marchés internationaux européens et asiatiques a fait augmenter les prix et a engendré par conséquent la surexploitation et le braconnage massif de cette espèce. Causant ainsi, un déclin généralisé des stocks naturels dans toute son aire de répartition (Bruslé, 1990 ; Dekker, 2003 ; Yahyaoui *et al.*, 2004 ; Sabatié & Fontenelle, 2007 ; Farrugio & Elie, 2011) et en particulier sur la façade atlantique dont le Maroc fait partie (limite méridionale).

Ainsi, devant l'accroissement des besoins de l'anguilliculture et le déclin des captures, le secteur a été confronté à une flambée de prix de la matière première (civelle), et par voie de conséquence à une amplification de l'effort de pêche, qui ont conduit à une réduction importante des stocks naturels d'anguilles sauvages. L'action conjuguée de tous ces facteurs a implicitement induit des impacts négatifs sur le stock et sur la qualité des géniteurs. Le devenir de l'anguille est alors devenu inquiétant, surtout suite à la raréfaction des larves arrivant aux côtes. Ceci a été, d'ailleurs, mis en évidence par les différentes études d'estimation des montées des civelles, qui ont révélé des taux de capture extrêmement bas. Il est à noter que, déjà au début des années 80, les stocks d'anguilles européennes ont décliné à travers toute leur aire de répartition (Moriarty & Dekker, 1997). Alors qu'au Maroc, limite méridionale de distribution de l'espèce, la diminution

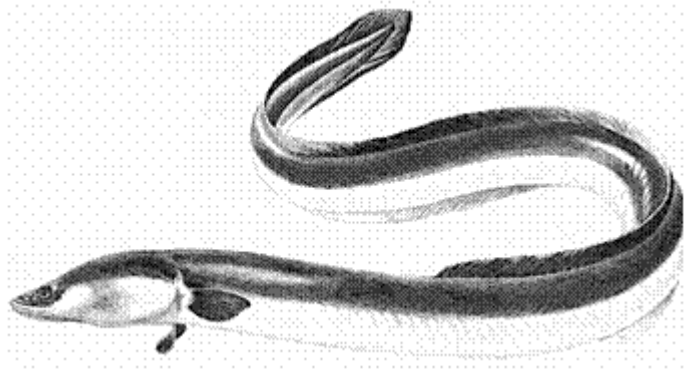
générale du stock n'a été enregistrée qu'après le pic des captures en 1997, soit 17 ans après l'Europe.

## I. PRESENTATION DE L'ANGUILLE

### I.1. Position systématique

L'anguille européenne est classée comme suit (NIELSON et GEEN, 1984) :

<b>Phylum :</b>	Cordés
<b>Sub-phylum :</b>	Vertébrés
<b>Super-classe :</b>	Poissons
<b>Classe :</b>	Téléostéens
<b>Sous-classe :</b>	Actinoptérygiens
<b>Ordre :</b>	Anguilliformes
<b>Sous-Ordre :</b>	Anguilloïdei
<b>Famille :</b>	Anguillidae
<b>Genre:</b>	<i>Anguilla</i>
<b>Espèce :</b>	<i>Anguilla anguilla</i>



Le terme anguille vient du latin « *anguis* », ce qui signifie serpent. En effet, l'anguille a un corps allongé, serpentiforme, de section arrondie antérieurement et quelque peu comprimé postérieurement.

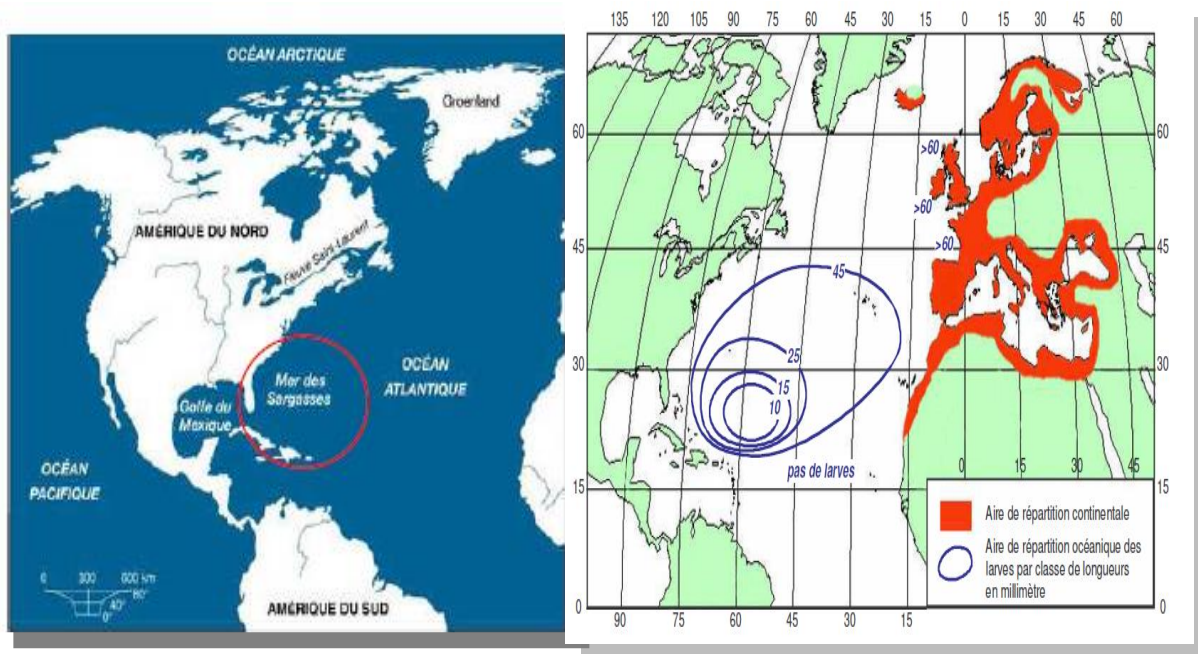
Elle est caractérisée par la présence d'un opercule de chaque côté constitué par un complexe osseux peu développé formant une petite fente branchiale, latérale, s'ouvrant verticalement en avant de la base de la pectorale. Les nageoires pectorales sont bien développées mais les pelviennes sont absentes.

La nageoire dorsale est insérée loin en arrière des pectorales. Les nageoires : dorsale, caudale et anale se fusionnent en une seule nageoire continue. Les écailles sont petites et incluses dans le derme, leur apparition est tardive et asynchrone. La ligne latérale est bien distincte; les dents sont petites, disposées en plusieurs séries sur les mâchoires et la voûte buccale (vomer). La bouche est terminale et fendue jusqu'au niveau de la pupille, la mâchoire inférieure est proéminente.

## I.2. Répartition

### I.2.1. Aire de répartition mondiale

Dans la famille des Anguillidae, l'Anguille *Anguilla anguilla* (Linné, 1758) est certainement l'espèce qui présente l'aire de répartition la plus vaste. En zone continentale (Figure 1), l'aire s'étale dans la majorité des pays côtiers d'Europe et d'Afrique du Nord.



**Figure 1** : Aire de répartition de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758), adaptée de Germain (1927)

### I.2.2. Aire de répartition marocaine

Le Maroc présente la limite méridionale de l'aire de répartition de l'Anguille. Jusqu'à maintenant cette limite a été représentée par l'Oued Massa à la latitude de 30° N (Yahyaoui, 1991 ; Chetto *et al.*, 2001 ; Farrugio et Elie, 2011).

En 2010, l'anguille a été pêché pour la première fois dans l'oued Tissint, un affluent de l'Oued D'raa (Maroc) à 28°N. Par conséquent la nouvelle limite méridionale de l'anguille est à 28°N (Qninba *et al.*, 2011) (Figure 2).

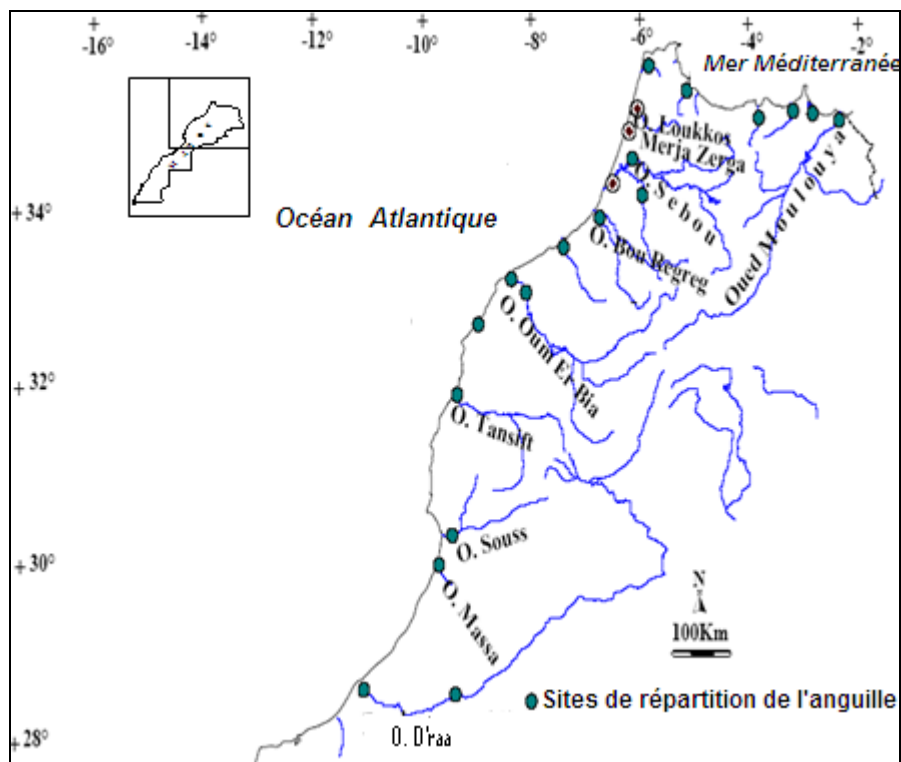


Figure 2 : Aire de répartition géographique de l'Anguille *Anguilla anguilla* au Maroc.

### I. 3. Cycle biologique et métamorphose de l'anguille

L'anguille est un poisson amphihalín, à migration de grande amplitude. Elle migre deux fois au cours de son cycle biologique entre la mer et les eaux continentales (Figure 3). La ponte, la fécondation et l'éclosion s'effectuent dans la partie centrale de la Mer des Sargasses (Schmidt, 1922).

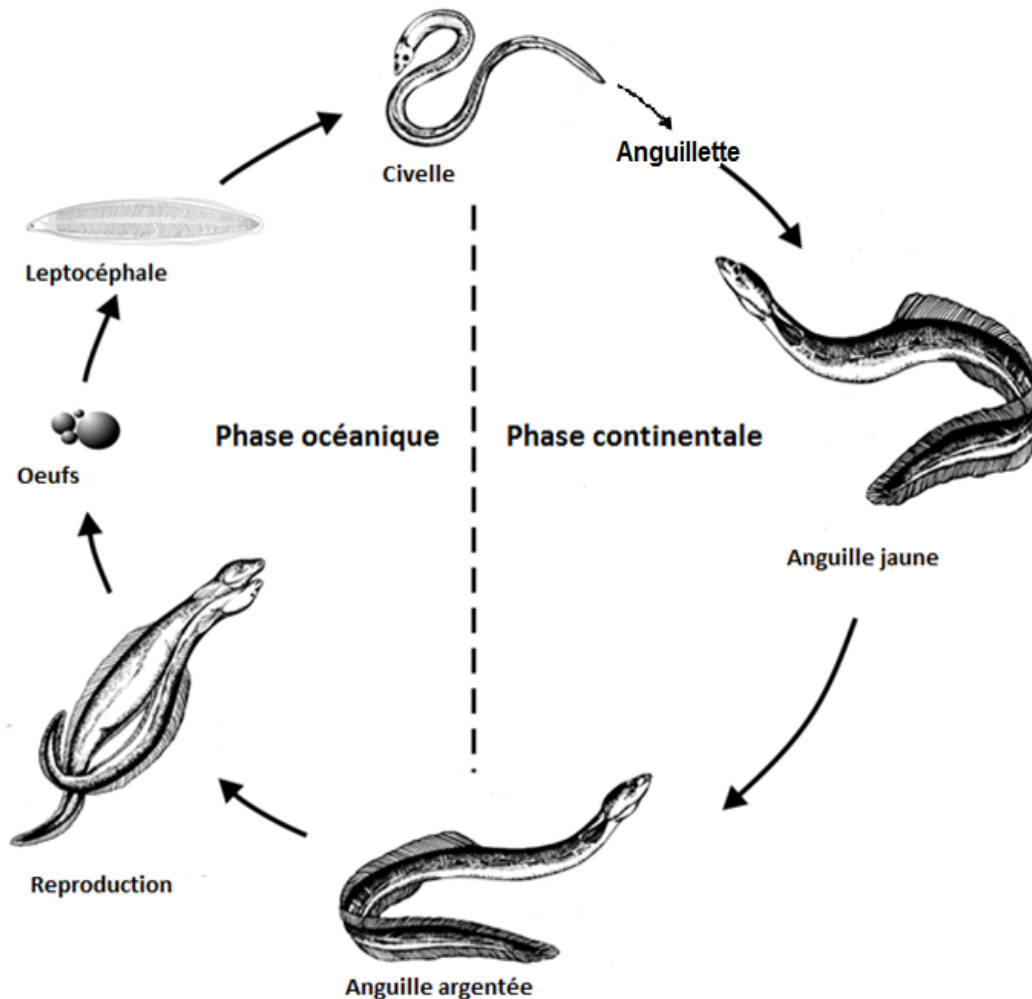
Depuis les campagnes de pêche effectuées par Schmidt (1920 -1922), il est admis que l'aire de ponte de l'espèce *Anguilla anguilla* est localisée dans la partie centrale de la Mer des Sargasses.

A noter cependant, qu'à l'exception de la photo prise par le sous-marin américain "Alvin de Woods Hole" d'une anguille en cours de maturation dans les eaux voisines des Bermudes à une profondeur de 2000 m (Robins et *al.*, 1979), jusqu'à présent personne n'a réussi à récolter les oeufs pélagiques ou à capturer les anguilles argentées ou même à observer la reproduction dans son aire de ponte. La localisation de l'aire de ponte n'est basée, que sur la distribution des larves. Ainsi, la collecte des leptocéphales, de taille inférieure à 10 mm, dans la Mer des Sargasses, a permis de mieux préciser les limites géographiques de l'aire de ponte d'*Anguilla anguilla*. Mc Cleave et *al.* (1987) suggèrent que la ponte d'*Anguilla anguilla* s'étale de la fin février à la mi-juillet et s'effectue entre 23°- 30° latitude N, et 48° - 74° longitude W. La limite septentrionale (Kleckner & Mc Cleave, 1985) serait d'ordre hydrographique et correspondrait à la présence d'une masse d'eau chaude au sud, limitée par un front thermique septentrional (eaux froide et moins salée au nord). C'est d'ailleurs ce front thermique qui justifierait l'arrêt de la migration génésique des anguilles argentées et la concentration des géniteurs non loin de la zone de subduction des Caraïbes qui paraît donc constituer leur site de reproduction.

Dans les conditions du laboratoire, des essais de fécondation ont réussi dans quelques cas, mais le développement embryonnaire a cessé au stade gastrula; seuls, Yamamoto & Yamauchi (1974), sur *Anguilla japonica*, ont réussi à faire développer les oeufs et éclore les larves. Ces derniers auteurs ont déterminé le temps d'incubation des oeufs qui est de 2 jours. De plus, ils ont montré que les larves d'anguilles japonaises mesurent 2,9 mm à l'éclosion. Prokhorchik( 1986) et Prokhorchik et *al.*, (1987) ont réussi à suivre le développement embryonnaire de l'anguille européenne pendant 80 à 85 heures.

Au cours de ce temps, les larves passent par trois stades morphologiques successifs. Burgerhout et *al.*( 2011) ont réussi un essai de fécondation artificielle et ont obtenu un hybride à partir d'un mâle *Anguilla anguilla* et une femelle *Anguilla rostrata* . Cet hybride a pu vivre 7 jours. Sachant, qu'il existe une différence spécifique entre les deux espèces au niveau du nucléotide dans le gène ADN<sub>r</sub> 18S. Les résultats de ces derniers essais ont confirmé l'apparition des gènes des deux espèces *A. australis* et *A. Anguilla* chez le nouvel hybride.

Cependant, malgré tous ces essais d'obtention de larves en milieu artificiel, le stock d'anguilles existant dans le monde dépend toujours (du moins jusqu'à présent) de la reproduction naturelle en mer.



**Figure 3 :** Cycle biologique de l'anguille européenne (Dekker, 2000).

### **I.3.1. Migration anadrome et colonisation des eaux continentales (civelle et anguille jaune)**

La migration transocéanique des leptocéphales commence au cours de leur premier été, lorsqu'ils atteignent une taille de 25 mm. Ces derniers entrent progressivement dans les eaux du « Gulf Stream », courant océanique nord-équatorial et vont être véhiculés vers les côtes du Nord-Est de l'Atlantique; cette migration dure de 3 à 3 ans et demi. Des données récentes réduisent la durée

de cette migration à un an et demi voir même à quelques mois (Lecomte- Finiger et Yahyaoui, 1989 ; Berraho, 1990).

A l'approche du plateau continental, une première métamorphose transforme les leptocéphales en civelles qui s'accompagne d'importantes modifications morphologiques (acquisition d'une forme subcylindrique, anguilliforme), anatomiques (apparition des dents et modification du tractus digestif) et physiologiques. Cette métamorphose se manifeste par une perte de poids et une diminution de la taille (Yahyaoui, 1983).

La phase larvaire, leptocéphale puis civelle est supposée durer 3 mois, cette phase est définie par plusieurs stades basés sur l'évolution de la pigmentation (Elie *et al.*, 1982).

Le recrutement et la colonisation des eaux continentales sont fonction des conditions physicochimiques, hydrologiques et hydrodynamiques locales.

En effet, plusieurs auteurs (Lecomte-Finiger et Razouls, 1981 ; Yahyaoui, 1981 ; Gandolfi *et al.*, 1984 ; Deelder, 1985) ont montré qu'au cours de leur migration anadrome, les civelles présentent un phototropisme négatif et rhéotactisme positif.

Il est admis que les civelles transparentes qui arrivent au début de saison de migration sont de plus grande taille que celles qui arrivent en fin de saison de migration. Chaque nouveau cycle de recrutement se caractérise donc par la présence de civelles de grande taille; il en résulte qu'une population qui colonise un système fluvial est hétérogène, constituée de vagues ou « cohortes » successives (Elie, 1979 ; Gascuel et Fontenelle, 1989). Par conséquent, on doit s'attendre à des différences morphométriques (longueur, poids) plus ou moins notables chez une même classe d'âge d'une population donnée.

Avec la reprise de l'alimentation, le tube digestif se développe et la pigmentation jaune apparaît sur presque la totalité du corps à l'exception de la région ventrale. Les anguilles prennent ainsi la livrée jaune caractéristique des anguilles jaunes qui ont un comportement à la fois sédentaire et migrateur. Elles colonisent progressivement les eaux continentales à la recherche de nouvelles aires trophiques en direction de l'amont (Yahyaoui, 1991).

### **I.3.2. Métamorphose en anguille argentée**

La deuxième métamorphose correspond à la transformation des anguilles jaunes en anguilles argentées. En effet, en amont du cours d'eau, les anguilles jaunes arrivées au stade subadulte et ayant accumulé suffisamment de réserves commencent une migration vers l'aval tout en se métamorphosant en anguilles argentées.

Cette métamorphose se traduit par des modifications organiques préparatoires au changement de milieu :

- Changement de la coloration de la peau : acquisition d'une livrée argentée et épaissement des couches épidermiques.
- Changement de la forme de la nageoire pectorale (large et pointue).
- Développement de la ligne latérale et élargissement du diamètre de l'œil.
- Régression des organes digestifs à l'exception du foie : l'estomac et l'intestin se contractent et l'anus se rétrécit.
- Développement du réseau capillaire de la vessie natatoire.
- Variation de l'osmorégulation : les organes impliqués dans les mécanismes de l'osmorégulation (branchies, reins, intestin) subissent des modifications physiologiques permettant l'équilibre osmotique.
- Augmentation du rapport gonado-somatique et de l'activité hormonale (l'anguille demeure sexuellement immature).

### **I.3.3. Migration catadrome**

Selon Fontaine (1975), les modifications acquises lors de l'argenture conduisent l'anguille à un déséquilibre physiologique qui déclenche la migration catadrome de reproduction.

Cette étape connue sous le nom d'avalaison ou de dévalaison a généralement lieu en automne. L'énergie stockée pendant la vie continentale permet à l'anguille de disposer de suffisamment de réserves pour accomplir sa longue migration génésique. Cette quantité d'énergie serait suffisante pour que l'anguille européenne puisse parcourir ce long trajet de 6000 km vers la mer des Sargasses. Après la reproduction dans la mer des Sargasses, le devenir des adultes demeure

énigmatique étant donné que jusqu'à présent aucun géniteur n'a jamais été capturé sur l'aire de ponte.

#### **I.4. Facteurs internes contrôlant le comportement migrateur**

##### **I.4.1. Facteurs endocriniens**

Chez les poissons migrateurs, les hormones interviennent dans la régulation du développement du métabolisme énergétique, de l'adaptation physiologique au milieu (osmorégulation) et du comportement (Fontaine, 1975).

Il a été montré que l'activité de la glande thyroïde et les taux de TH s'accroissent fortement lors de la métamorphose du leptocéphale en civelle puis diminuent au stade anguille jaune pour ensuite remonter lors de l'argenture (stade anguille argenté) chez les anguilles des espèces *A. anguilla* (Callamand & Fontaine, 1942). Cela suggère que les TH jouent un rôle fondamental dans la régulation de la métamorphose de la larve en civelle et de l'anguille jaune en anguille argenté (Edeline *et al.*, 2005).

De plus, il semble que les TH puissent être impliquées dans le développement des capacités hyperosmorégulatrices. En effet, l'intestin des civelles d' *A. anguilla* se développe pour osmoréguler en eau douce (Ciccoti *et al.*, 1993) et la T4 régule le développement intestinal (Vilter, 1946). De plus, comparée à la vie en eau salée, l'acclimatation en eau douce accroît l'activité de la glande thyroïde des civelles d' *A. anguilla* (Monaco *et al.*, 1981).

En effet, les TH ont un rôle de préadaptation des poissons à l'exploitation de nouveaux milieux. En conséquence, les TH, régulant les changements morphologiques, physiologiques et comportementaux nécessaires à la colonisation des habitats de rivières, peuvent être considérées comme des médiateurs fondamentaux de la dispersion continentale chez l'anguille (Edeline *et al.*, 2005).

##### **I.4.2. Facteurs génétiques**

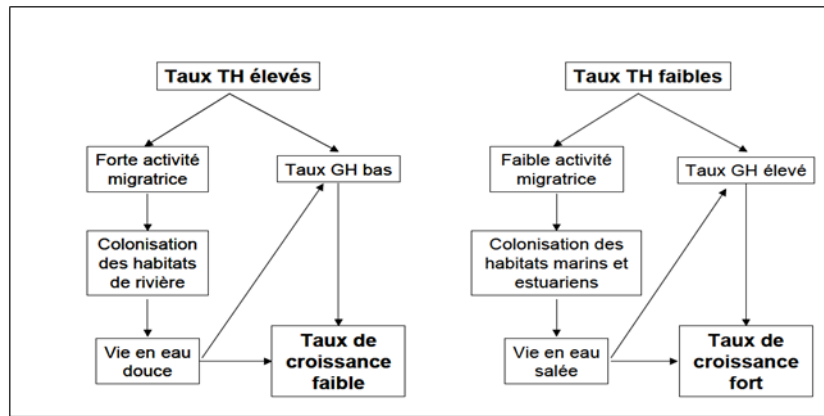
Durant les migrations de longue distance comme celle de l'anguille, des instructions génétiques

sont nécessaires pour contrôler le déclenchement, la durée et la distance de migration, et les adaptations physiologiques et comportementales de la navigation (Alerstam *et al.*, 2003). En effet, chez les insectes, les traits morphologiques (taille du corps, taille et morphologie des ailes), comportementaux (propension à la migration, durée de la migration) et physiologiques (enzymes associées directement ou indirectement à la locomotion) impliqués dans la capacité dispersive ont une forte héritabilité, indiquant que les variations du comportement migrateur ont une forte base génétique (Roff & Fairbairn, 2001). De même, chez les fauvettes *Sylvia spp.* l'influence génétique est très importante et probablement dominante sur l'influence environnementale dans l'expression des comportements migrateur ou sédentaire (Berthold, 1988). Chez les poissons, les études du déterminisme génétique du comportement migrateur sont rares. Cependant, sur une échelle micro évolutive, des études conduites sur le saumon suggèrent une forte composante génétique dans les variations interpopulationnelles du comportement migrateur et d'autres traits d'histoire de vie (Nielsen & Holdensgaard, 2001 ; Quinn *et al.*, 2001). Chez le corégone *Coregonus clupeaformis*, les variations interpopulationnelles du comportement de nage (profondeur et intensité maximale de nage) semblent avoir une base génétique (Rogers *et al.*, 2002). Chez l'anguille, la panmixie s'oppose à l'établissement de fortes différences génétiques interindividuelles, limitant probablement le contrôle génétique de la dispersion continentale. Chez *A. rostrata*, la panmixie a été récemment confirmée (Wirth & Bernatchez, 2003), et seule une sélection naturelle par le milieu a été mise en évidence (Williams *et al.*, 1973 ; Williams & Koehn, 1984). Chez *A. anguilla*, les niveaux d'hétérozygotie des civelles arrivant sur les côtes sont bas, mais parfois significatifs entre des zones géographiques différentes de l'aire de répartition (Daemen *et al.*, 2001 ; Wirth & Bernatchez, 2001 ; Maes & Volckaert, 2002), suggérant que la panmixie n'est pas totale. Cependant, il est pour l'instant inconnu si ces légères différences génétiques sont suffisantes pour induire des comportements migrateurs différents.

#### **I.4.3. Condition corporelle et taux de croissance**

La condition corporelle, traduisant le niveau des réserves énergétiques, est un facteur important influençant la dispersion chez les anguilles. En effet, il a été montré chez la civelle d'*A. anguilla* que le facteur de condition est inversement corrélé à la teneur du corps en GH (Lambert *et al.*, 2003). Cet accroissement du taux de GH avec la décroissance du facteur de condition pourrait

révéler une détresse physiologique, défavorable à l'expression d'un comportement migrateur intense et durable chez les poissons arrivant en fin de saison de migration (Figure 4).



**Figure 4 :** Relation entre mécanisme physiologique et taux d'hormones thyroïdiennes (TH) chez l'anguille.

## I. 5. Facteurs externes contrôlant le comportement migrateur

### I.5.1. Température

La température intervient surtout au niveau de l'activité alimentaire par son action sur le métabolisme général. Elie (1979) situe l'optimum thermique de la croissance des civelles autour de 25°C. De nombreuses études montrent que la température est un facteur majeur de contrôle du nombre de civelles en migration (Elie, 1979 ; Yahyaoui, 1991 ; Jessop 2003). Des seuils de température seraient liés au déclenchement de différents comportements migrateurs chez la civelle. En estuaire, les captures de civelles deviennent négligeables lorsque la température de l'eau descend à 5°C (Elie, 1979), ce qui semble indiquer que toute activité locomotrice cesse à cette température. Ce comportement pourrait indiquer l'entrée des civelles en dormance. Entre 5 et 12°C, les civelles montrent une nage exclusivement portée par les courants de marée et passent à une nage plus active (à contre-courant) à partir d'une température de 12°C. En effet, les montées de civelles sur les passes des barrages estuariens n'interviennent que si la température atteint ou dépasse 12°C (Gascuel, 1986 ; McGovern & McCarthy, 1992).

Chez les Téléostéens, la température a également des effets endocriniens. Chez l'anguille *A. anguilla*, l'élévation de la température induit un accroissement de l'activité de synthèse de la thyroïde (LeLoup, 1958). De plus, *in vitro*, la température influence la liaison des TH à leur récepteur chez l'anguille *A. anguilla* (LeLoup, 1989). La température semble aussi influencer les horloges internes des organismes ectothermes (Rensing & Ruoff, 2002).

### **I.5.2. Lumière et photopériode**

Lors de leur migration transocéanique, les larves leptocéphales effectuent des mouvements verticaux sur un rythme jour/nuit (Otake *et al.*, 1998). Les larves se tiennent en profondeur durant le jour et remontent près de la surface durant la nuit, ce qui suggère un comportement photonégatif, probablement en relation avec l'évitement des prédateurs.

Les civelles manifestent un phototactisme négatif. Le mouvement anadrome est important juste après le coucher du soleil (1 à 2 heures après celui-ci), cesse le matin (Yahyaoui, 1991). Dans les eaux continentales, les civelles en migration montrent également un fort comportement photonégatif (Bardonnat *et al.*, 2005). En captivité, l'activité de nage et d'alimentation a lieu la nuit, et les civelles restent cachées le jour (Dou & Tsukamoto, 2003). Ce comportement photonégatif des civelles se retrouve lors de la migration en estuaire (Elie, 1979 ; Elie & Rochard, 1994). Les anguilles sédentaires montrent également nettement une activité nocturne (Tesch, 2003). Bien qu'une activité diurne puisse être observée à certaines périodes de l'année (Baisez, 2001). Ce comportement lucifuge est moins marqué lors des montées d'anguillettes en rivière (Tesch, 2003) et chez les anguilles argentées en dévalaison (Durif, 2003).

### **I.5.3. Odeur de l'eau**

Chez les anguilles, l'odeur de l'eau joue un rôle à la fois de déclencheur des mouvements et de facteur orienteur de la migration. En effet, il a été montré que l'odeur des eaux douces continentales permettrait de discriminer les courants de flot et de jusant en estuaire, chez la civelle d'*A. anguilla* en migration. L'olfaction serait donc un facteur déclencheur dans l'expression du comportement de TTS.

D'autre part, lorsque les poissons sont en mouvement, les signaux olfactifs servent à l'orientation des déplacements. Les civelles d'*A. anguilla* en migration montrent une forte attraction vers l'odeur des eaux douces continentales (Creutzberg, 1961).

#### **I.5.4. Salinité**

Les gradients de salinité sont utilisés par les civelles pour s'orienter durant la migration. En effet, des civelles capturées en migration et testées expérimentalement sur leur préférence vis-à-vis d'un courant d'eau douce et d'un courant d'eau salée préfèrent l'eau douce (Yahyaoui, 1983 ; Tosi *et al.*, 1990).

La salinité serait plus importante pour l'orientation que les gradients thermiques et olfactifs (Tosi *et al.*, 1990). De plus, la salinité semble moduler la réponse des civelles vis-à-vis des composés odorants des eaux douces continentales (Sola & Tongiorgi, 1996). Selon Fontaine (1975), les civelles perdent la spécialisation à osmoréguler en eau de mer lors de la métamorphose et acquièrent des capacités hyperosmotiques. Ce changement physiologique les pousserait à préférer les eaux douces et serait un puissant moteur de la migration.

#### **I.5.5. Marée**

Les marées sont fondamentales dans leur action de synchronisation de l'horloge interne des civelles en migration exprimant le TTS (Wippelhauser & McCleave, 1988). De plus, l'ampleur des marées est positivement corrélée aux captures de civelles en estuaire (Elie, 1979 ; Yahyaoui, 1983). Cet effet est probablement mécanique puisque les marées de vives eaux, durant plus longtemps, transportant plus d'eau à des vitesses plus importantes que les marées de mortes eaux, constituent de meilleurs vecteurs de transport pour les civelles.

#### **I.5.6. Lune**

L'effet de la lune sur le comportement migrateur de l'anguille est controversé. Tzeng (1985) rapporte un rythme circalunidal d'activité chez les civelles en migration dans l'estuaire. Cependant Jellyman et Lambert (2003) et Elie et Rochard (1994) considèrent que la lune agit sur le comportement migrateur des civelles uniquement à travers ses effets tidaux et lumineux. Chez

l'anguille jaune sédentaire l'activité nocturne est la plus forte en nouvelle lune et la plus faible en pleine lune (Adam & Elie, 1994), un phénomène probablement dû à l'évitement de la lumière lunaire par les individus. Chez l'anguille argentée, Durif (2003) n'a pas observé d'effet du quartier de lune sur l'intensité des dévalaisons.

### **I.5.7. Vents et pression atmosphérique**

Les vents et la pression atmosphérique peuvent agir sur la migration des civelles par leur action sur les marées, en renforçant ou en réduisant les courants de flot (Elie & Rochard, 1994). De plus, les vents peuvent induire des courants utilisables par les civelles en migration dans des zones où les courants de marée ne sont pas disponibles.

### **I.5.8. Facteurs sociaux**

Chez les poissons, le comportement d'un individu peut être fortement influencé par le comportement de ses congénères (Magurran, 1993). Ce comportement de groupe favorise probablement un phénomène d'entraînement (émulation) favorable à la migration et, comme chez beaucoup d'autres poissons, une protection vis-à-vis des prédateurs.

La migration des civelles en formant « des cordons » est bien connue (Tesch, 2003). De même, les anguillettes migrant en rivière ont tendance à former des bancs. Cependant, en raison du déclin dramatique des recrutements, ces phénomènes (formation des bancs ou cordons) ne sont plus observés et l'entraînement de la migration par les congénères intervient probablement peu dans le contrôle du comportement migrateur chez l'anguille.

## **I.6. Facteurs de la sélection de l'habitat**

Les processus physiologiques qui déterminent un individu à rester ou à partir du milieu où il se trouve peuvent être considérés comme liés à sa plasticité phénotypique, c'est à dire sa capacité à adapter son phénotype (physiologie, morphologie et comportement) aux contraintes biotiques et abiotiques du milieu (Murren *et al.*, 2001). En effet, contrairement à un individu migrateur, un individu sédentaire restera suffisamment longtemps dans le milieu pour que son phénotype soit influencé par les conditions environnementales. On considère classiquement que l'anguille a une

grande plasticité phénotypique (Vøllestad, 1992), liée entre autre à une grande tolérance physiologique aux variations des facteurs abiotiques du milieu.

### **1.6.1. Salinité**

La salinité est un facteur environnemental d'importance majeure, qui conditionne la structure des peuplements de poissons dans les zones côtières et estuariennes. Il est classiquement admis que la civelle possède une grande tolérance aux variations brusques de la salinité du milieu (Wilson *et al.*, 2004). Cependant, lors de la migration estuarienne, une stabulation des civelles se produit à la limite de déssalure des eaux, suggérant que les civelles ont, besoin d'un délai physiologique d'adaptation à l'eau douce avant d'entamer la colonisation de ces milieux (Sorensen & Bianchini, 1986).

### **1.6.2. Odeur de l'eau**

L'olfaction chez l'anguille semble être impliquée dans le contrôle de la sélection de l'habitat lors de la dispersion continentale. En effet, comme a été souligné, les civelles sont fortement attirées par les odeurs des eaux douces continentales.

De plus, chez la civelle d'*A. anguilla*, les acides aminés (Sola & Tongiorgi, 1998) et les sels biliaires (Sola & Tosi, 1993) sont également attracteurs. Les sels biliaires pourraient être responsables de l'attrait exercé par les odeurs liées aux congénères. En effet, les civelles et les anguillettes d'*A. anguilla* en migration sont 1,4 fois plus nombreuses sur la passe du barrage estuarien d'Arzal (France) lorsque l'eau d'évacuation du piège à civelles est dirigé sur la rampe de la passe. L'attrait exercé par l'odeur des congénères sur les civelles a également été montré expérimentalement chez *A. rostrata* (Sorensen, 1986). De plus, chez l'anguille jaune *A. anguilla*, les extraits épidermiques sont hautement attractifs en milieu naturel (Saglio, 1982).

La réponse comportementale aux odeurs des congénères chez les animaux est généralement considérée comme adaptative (Sorensen, 1996). En effet, chez l'anguille, l'attrait représenté par les odeurs terrigènes et par les congénères pourrait permettre la sélection des habitats les plus productifs.

### **1.6.3. Autres facteurs abiotiques du milieu**

Chez les Téléostéens, tous les facteurs abiotiques du milieu peuvent potentiellement influencer la sélection de l'habitat (Davenport & Sayer, 1993). Nous parlerons de la température, du pH, et des teneurs en ammoniacque, nitrites et oxygène dissous.

### **1.6.4. Facteurs sociaux**

D'une façon générale, les facteurs sociaux de la dispersion densité dépendante sont la territorialité, la prédation intraspécifique (cannibalisme), l'interférence pour la prise de nourriture et la déplétion des ressources alimentaires par les concurrents (Sutherland *et al.*, 2002). L'occurrence de tous ces phénomènes a bien été montrée chez l'anguille (Edeline, 2005), confortant l'hypothèse de densité dépendance de la dispersion continentale.

### **1.6.5. Qualité de l'habitat**

D'une façon générale, la capacité d'accueil du milieu sera liée à la disponibilité en ressources. Ce terme de ressource inclut un grand nombre de variables différentes (nourriture, espace, température, oxygène...). Ainsi, les variables liées à la densité et/ou à la taille des anguilles dans le milieu sont multiples (et corrélées) : la profondeur (Lafaille *et al.*, 2003), l'altitude (Broad *et al.*, 2001), la végétation rivulaire (Broad *et al.*, 2001), la disponibilité en abris, la taille du sédiment et la vitesse du courant (Lafaille *et al.*, 2003). D'autre part, dans les milieux anthropisés, les barrages constituent un facteur très important de diminution de l'accessibilité des habitats (Lafaille *et al.*, 2005).

## **I.7. Réglementation**

- Avant 2010, aussi bien pour l'Anguille que pour la civelle, la pêche est autorisée tous les jours du 1er octobre au 30 juin (9 mois) et sans limitation du nombre ou de quantité. L'exploitation des anguilles est réservée exclusivement aux amodiataires. L'exploitation de civelles peut être autorisée uniquement aux établissements d'anguilliculture ayant réalisé les infrastructures d'élevage, prévus dans le contrat d'autorisation. Ces établissements doivent obligatoirement

disposer d'agrément en tant qu'exportateur. Les anguilles ne provenant pas d'établissements agréés et n'ayant pas été préalablement sevrées sont interdites à l'exportation.

- A partir de 2010, un projet d'arrêté, du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD), portant réglementation annuelle de la pêche dans les eaux continentales, comprend une réglementation spéciale de la pêche de la civelle et de l'anguille qui sera gérée par quotas de pêche<sup>1</sup>.

Les quotas de captures pour les oueds de Sebou, Drader et Loukkos et leurs affluents respectifs pour la saison 2010-2011 sont de 2400 kg de civelle de moins de 10 centimètres et de 40 tonnes d'anguille sauvag, mais dans la saison suivante (2011-2012) le taux des des anguilles a été réduit à 28 tonnes (Tableau I). Ces quotas sont répartis entre les trois principaux cours d'eau comme suit:

**Tableau I :** Quotas de capture de civelle et d'anguille dans les sites amodiés (2011-2012)

<b>Site</b>	<b>Quota de captures de la civelle (kg)</b>	<b>Quota de captures de l'anguille (tonnes)</b>
<b>Sebou</b>	2000	22
<b>Oued Drader</b>	150	2
<b>Oued Loukkos</b>	350	4
<b>Totaux</b>	2500	28

Les quotas de captures de chaque site sont répartis en sous-quotas entre les amodiataires du droit de pêche de cette espèce. Le sous-quota est déterminé pour chaque amodiataire en tenant compte de la moyenne des déclarations de captures pour les trois dernières années et de la capacité de production de son unité de grossissement. La quantité déclarée correspond, pour une année

<sup>1</sup> Aux fins du présent arrêté, on entend par « *quota de pêche* » : la quantité maximale de captures pouvant être réalisées sur un site donné; cette quantité est fixée par le HCEFLCD après avis de l'autorité scientifique nationale CITES ; un quota de captures est une masse mesurée en tonnes ou en kilogrammes de poids vif.

donnée, à la somme des quantités pêchées, mesurée en kilogrammes et attestée par les déclarations validées à la suite de vérifications administratives.

Une commission technique est désignée par le Haut Commissaire aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre le Désertification ou son délégué, pour évaluer la capacité des unités de grossissement et déterminer ainsi les sous-quotas correspondants.

Lorsque le sous-quota d'un amodiataire est réputé épuisé, la poursuite de la pêche de l'espèce en question est interdite. Le reliquat éventuel du sous-quota ne peut être reporté pour la saison de pêche suivante.

Pendant la période d'ouverture (Tableau II), la pêche d'Anguille et de civelle est permise tous les jours.

**Tableau II :** Dates d'ouverture et de fermeture de la pêche d'Anguille et de civelle au Maroc

<b>Date d'ouverture au lever du soleil</b>	<b>Date de fermeture au coucher du soleil</b>	<b>Nombre de poissons autorisé<sup>1</sup></b>	<b>observations</b>
14 Mars 2010	02 Mai 2010	Selon le quota attribué	Exploitation réservée exclusivement aux amodiataires
28 Novembre 2010	30 Avril 2011		
18 Mars 2011	12 Juin 2010	Selon le quota attribué	Exploitation réservée exclusivement aux amodiataires
11 Décembre 2011	10 Juin 2011		

### **I.8. Menaces naturelles sur l'anguille**

Les menaces exercées sur les populations sauvages d'anguilles sont de plusieurs ordres : la prédation, les infestations parasitaires, les infections microbiennes, les blooms algaux et les modifications hydroclimatiques (Figure 5). Elles sont comparables à celles qui s'exercent sur les autres espèces de poissons, bien que probablement amplifiées en raison des caractéristiques spatio-temporelles du cycle biologique de l'anguille : plusieurs changements de milieu (marin, estuarien, continental) grandes distances de migrations (transatlantique, anadrome, catadrome) long développement larvaire et maturation sexuelle particulièrement tardive (Bruslé, 1994).

### - La prédation

Les anguilles jaunes sont victimes de plusieurs prédateurs : des Oiseaux cormorans, mais aussi de hérons, grèbes et mouettes et de Mammifères (loutre) (Tesch, 1985). De plus, certains cas de cannibalisme ont été également relevés (Moriarty, 1975).

L'importance quantitative de ces prédateurs est difficile à apprécier. De même, les effets négatifs exercés par des prédateurs d'anguilles argentées, au cours de leur migration transatlantique et leur regroupement sur l'aire de ponte, ne sont pas appréhendés.

### -Les infestations parasitaires

L'anguille offre la particularité d'héberger un grand nombre de parasites. Ainsi, 46 espèces de parasites ont été identifiées dans les anguilles d'un lac danois (Koie, 1988). Celles du Lac de Sabaudie (Italie) sont infestées par des Protozoaires (*Myxidium*, *Myxobolus*, *Eimeria*, *Trichodina*), des Trématodes (*Deropristis*) et des Nématodes (*Contraecaecum*), les taux d'infestation étant assez élevés (Paggi *et al.*, 1988). De même, les anguilles d'une rivière irlandaise (Dunkellin) hébergent une riche helminthofaune jugée en accroissement, soit 15 espèces d'importance (prévalence, abondance, intensité moyenne) variable, parmi les genres suivants : *Piscicola*, *Sphaerostoma*, *Diplostomum*, *Botriocephalus* et *Acanthocephalus*, ces espèces étant « généralistes », « spécialistes » ou accidentelles. De même, une riche helminthofaune a été observée dans le tube digestif des anguilles du Rio Este au Portugal (Saraiva, 1992) qui présentent aussi des infestations branchiales par plusieurs espèces de Myxosporidies (*Myxidium*, *Myxobolus*, *Haferellus*). Au total, les principaux parasites relevés sur l'anguille européenne sont des :

- Protozoaires : genres *Dermocystidium*, *Eimeria*, *Ichtyobodo-Costia*, *Ichtyophthirius*, *Myxidium*, *Myxobolus*, *Plistophora*, *Trichodina*, *Trichophaga*, *Trypanosoma*...

- Trématodes : *Deropristis*, *Gyrodactylus*...

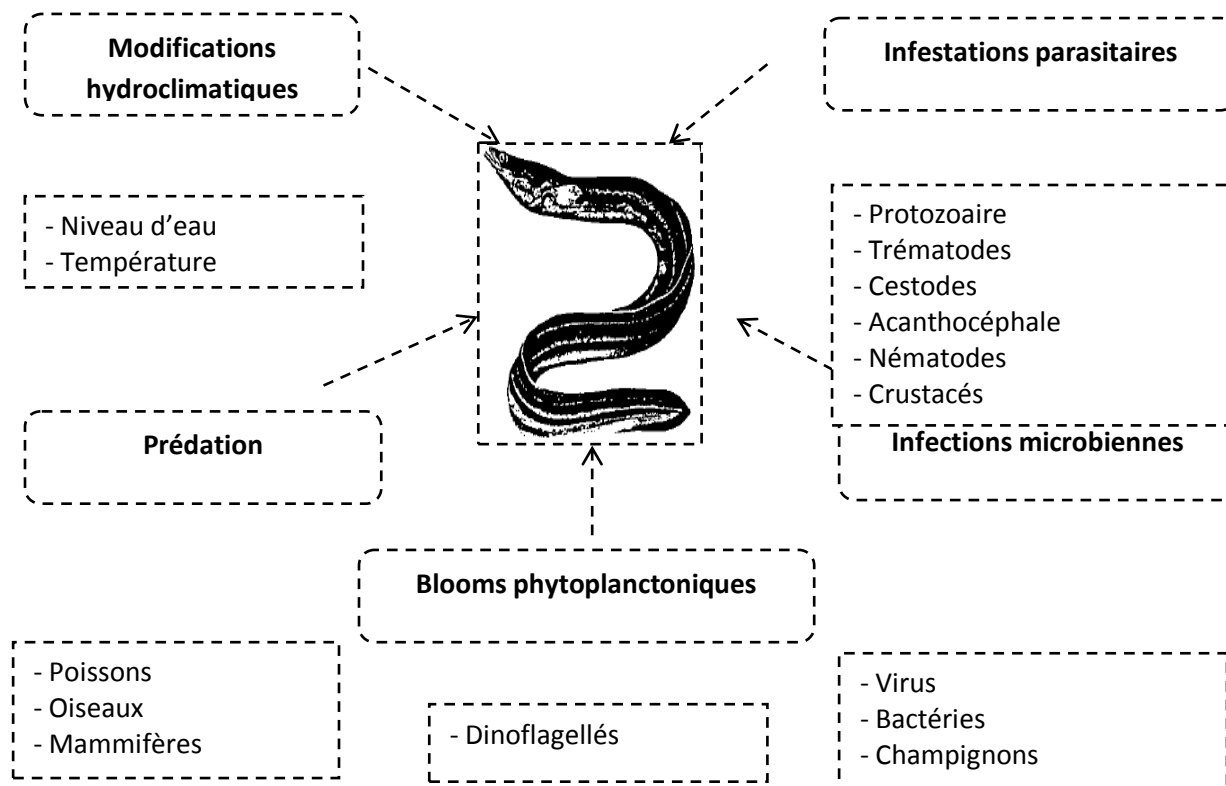
- Cestodes : *Botriocephalus*, *Proteocephalus* ...

- Acanthocéphales : *Acanthocephalus*, *Echinorhynchus*...

- Nématodes : *Cucullanus*, *Paraquinperia*, *Pseudocapillaria*

- Crustacés : *Ergasilus*, *Lerneae*, *Argulus* ...

- Acariens : *Ichtanaetus*...



**Figure 5 :** Les menaces naturelles sur l'anguille (*Anguilla anguilla*)

### **I.9. Menaces anthropiques**

Aux menaces, déjà nombreuses et sévères, imposées aux anguilles par l'environnement naturel s'ajoutent de nombreux risques induits par les activités humaines responsables de perturbations environnementales, d'ordre physique, chimique et biologique (Figure 6).

#### ***- Altération de la qualité des habitats***

L'anguille est une espèce benthique très inféodée au substrat des divers plans d'eau de son aire d'extension continentale. Tous les travaux touchant la qualité de ces substrats (dragages, extractions de granulats, remodelage des lits des rivières, drainages des zones humides ...) sont susceptibles de perturber les populations naturelles d'anguilles. Ces perturbations peuvent affecter les populations d'anguilles, soit directement, soit indirectement par modifications des faunes d'Invertébrés et de poissons qu'elles consomment.

#### ***- Limitation de colonisation des bassins versants par des barrages***

L'une des particularités de l'anguille est son cycle de vie amphihaline qui lui impose de traverser (à deux reprises : migration anadrome puis migration catadrome) les milieux littoraux estuariens, deltaïques ou lagunaires. La qualité du recrutement dans les eaux continentales dépend donc essentiellement de leur aptitude à progresser dans les bassins versants.

Les barrages et autres obstacles causent une perte et une fragmentation de l'habitat des anguilles en montaison, et une mortalité par turbinage des anguilles en avalaison.

Leur migration anadrome peut donc être non seulement gênée par toute perturbation des flux d'eau mais surtout gravement entravée par tout obstacle dressé sur leur voie : chutes, buses, déversoirs et surtout barrages (estuariens et fluviaux).

#### - Entraves à la migration d'avalaison des anguilles argentées

Les anguilles parvenues ou demeurées en amont des ouvrages (barrages) souffrent également de ces entraves lors de leur migration d'avalaison, au stade anguille argentée (Legault, 1987). Les mortalités induites par le passage dans des turbines ont été soulignées par Dekker (1987), Hadderingh *et al.* (1992). Les taux de mortalité sont variables, estimés à 100 % par Legault (1987) et à 5-25 % par Hadderingh *et al.* (1992). Ils sont d'autant plus préjudiciables qu'ils affectent le stock des géniteurs.

#### - Les polluants

Comme tout être vivant la santé de l'anguille est intimement liée à celle de son environnement. Au Maroc comme dans la plupart des autres pays qui font partie de l'aire de répartition de l'anguille européenne, les cours d'eau ainsi que la majorité des eaux de surface subissent une forte pollution générée principalement par l'activité anthropique (agriculture, industrie, etc.).

Nous pouvons résumer les différents impacts de cette pollution en deux points. Le premier point étant l'appauvrissement du milieu en oxygène, qui est causé généralement par des rejets présentant une DBO ou une DCO élevée ou comme conséquence au phénomène d'eutrophisation. Le second point est la contamination du milieu par différents micropolluants (POP, ETM...)

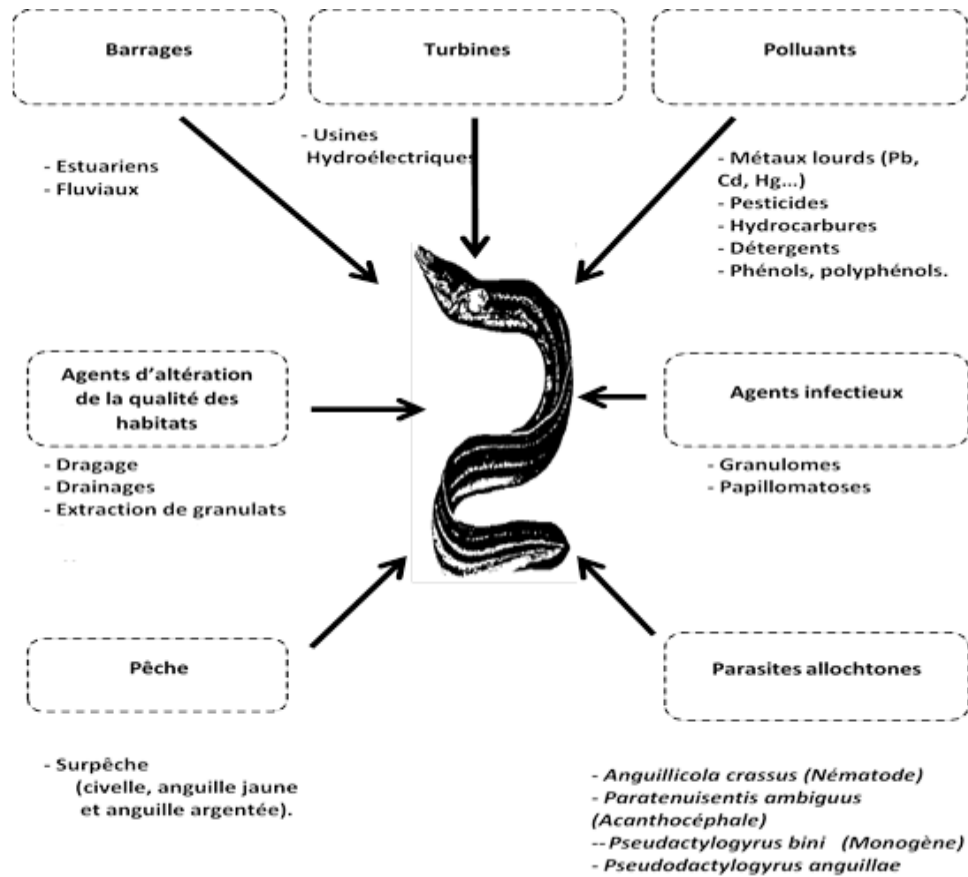
Dans les eaux eutrophes (riches en éléments nutritifs), la production de plancton peut être extrêmement abondante. Le développement intense d'algues entraîne les mêmes effets qu'une eau polluée par des matières organiques : une grande partie de l'oxygène contenu dans l'eau est consommée lorsque ces masses de plancton meurent, sédimentent puis se décomposent.

Le déficit en oxygène peut éliminer les animaux benthiques (comme l'anguille) et, dans certains cas, les poissons. Si l'oxygène disparaît totalement des zones benthiques, on observe alors la formation d'hydrogène sulfuré, composé toxique pour toute forme de vie.

Les phénomènes d'eutrophisation des eaux et principalement en milieu lagunaire (crises dystrophiques ou hyper-eutrophiques) sont susceptibles d'affecter les populations d'anguilles. Sur les plans d'eau où une pollution trophique apparaît, les poissons (dont l'anguille) recherchent des zones de refuge (zones non anoxiques). Pour les anguilles lagunaires, certains individus repartent en mer (Campton & Crivelli, 2010).

En 2007, Amilhat a identifié la contamination par les micropolluants comme l'un des principaux facteurs responsables du déclin de l'Anguille européenne. Deux voies de contamination sont possibles : la première est directe par la peau et les branchies et la deuxième par transfert trophique (ingestion de proies contaminées).

Les particularités des traits de vie de l'Anguille (pourcentage élevé de lipides, niveau trophique élevé, longue durée de vie et surtout reproduction unique) font que celle-ci peut accumuler des quantités très importantes de molécules xénobiotiques lipophiles lors de son séjour continental. Les pathologies engendrées par l'exposition aux micropolluants peuvent être différentes selon le type de contamination (Campton & Crivelli, 2010). Principalement sont perturbés, le système endocrinien, reproducteur, enzymatique, immunitaire, nerveux central, le stockage des lipides et le bon fonctionnement des organes vitaux (Amilhat, 2007). Notant que le caractère sédentaire et l'enfouissement dans les sédiments (lieu privilégié pour l'accumulation de divers polluants) augmenterait aussi le risque de contamination de l'anguille. En plus, l'anguille, au cours de sa vie continentale, constitue des réserves lipidiques qui lui sont indispensables lors de la migration vers la mer et la reproduction. Le métabolisme des lipides peut être perturbé par divers polluants (Amilhat, 2007). De plus, l'accumulation de polluants lipophiles peut jouer le rôle d'une bombe à retardement, car ces derniers sont remis en circulation dans l'organisme lors de la mobilisation des lipides pour répondre aux besoins énergétiques pendant la migration.



**Figure 6 : Menaces anthropiques**

### **I.10. Enjeux associés à l'anguille**

L'anguille, de par son originalité écologique et la situation inquiétante de son stock, se trouve au centre d'enjeux sociétaux et scientifiques qui justifient la dynamique actuelle de recherche.

En effet, l'anguille européenne fait l'objet d'une pêche importante. La diminution actuelle observée de la ressource et le risque de disparition d'un patrimoine naturel induit des conflits d'accès à la ressource au sein des instances de gestion. Dans ce contexte, toute mesure qui réduit la mortalité et donc qui augmente l'échappement d'anguilles argentées d'un bassin versant vers la Mer des Sargasses est à promouvoir (Lambert, 2003). Plus précisément, ces plans devront non seulement encadrer les pêcheries, mais également intégrer des mesures concernant la restauration de la libre circulation et la protection des habitats essentiels de l'espèce.

Pour accomplir ces politiques, les scientifiques cherchent à développer des outils d'aide à la décision publique. Ces outils nécessitent le développement d'une base de connaissance sur l'espèce et de règles d'interprétation des résultats qui s'appuient sur une expertise des processus biologiques, perturbés ou non. L'anguille, par son caractère thalassotoque, présente une originalité par rapport aux autres migrateurs fortement étudiés, salmonidés en particulier. C'est la phase de croissance et non la reproduction qui est facilement accessible à l'observation. Les processus biologiques de cette partie du cycle pourront donc être explorés de manière privilégiée.

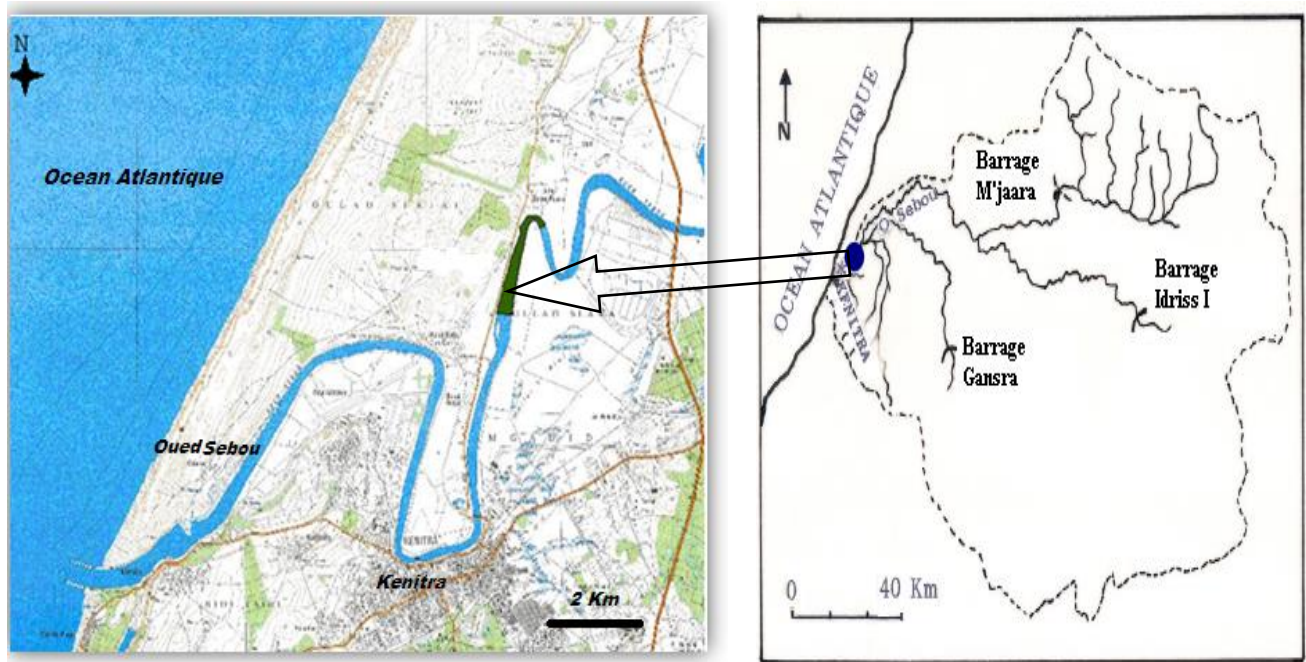
## **II. PRESENTATION DES MILIEUX D'ETUDE**

### **II.1. Estuaire du Sebou**

#### **II.1.1. Situation géographique**

Le bassin versant de Sebou se situe sur la partie Nord-Ouest du littoral atlantique marocain s'étend sur une superficie de 40 000 km<sup>2</sup> et draine les versants sud du Rif et nord-ouest du Moyen Atlas.

Pour notre étude on se limitera à l'estuaire de Sebou, situé à 40 Km au Nord de Rabat. La station de l'échantillonnage choisie est située à 30 Km de l'océan Atlantique entre les parallèles 34°13' et 34°30' Nord et les méridiens 6°22' et 6°42' Ouest (Figure 7) . Près de la zone urbaine et industrielle de la ville de Kénitra.



**Figure 7** : Localisation des sites de capture des échantillons d'anguilles dans la partie basse de Sebou

### II.1.2. Géologie

Le bassin du Sebou est intégré dans le domaine « Alpin » du Nord de l'Afrique ; il forme une cuvette entre le Rif au Nord, le moyen Atlas et la méseta au sud, le couloir Fès -Taza à l'Est et l'océan Atlantique à l'Ouest. Au niveau de l'estuaire, le terrain est constitué de grés et de sables quaternaires tandis que les formations anciennes de nature schisteuses d'âge primaire, tertiaire sont de type marno-calcaire englobant les collines et les rides pré-rifaines.

### II.1.3. Climatologie

Le climat de la plaine du Gharb est de type méditerranéen à influence océanique et à l'intérieur du bassin le climat devient plus continental. La pluviométrie moyenne annuelle du bassin est de 640 mm, avec un maximum de 1000 mm/an sur les hauteurs du Rif et un minimum de 300 mm sur le haut Sebou et les vallées du Beht.

Les températures maximales varient de 13 à 28°C et les températures minimales atteignent 12,5°C. L'écart annuel des températures est de l'ordre de 19°C. On distingue une saison humide qui s'étend entre septembre et mars et une saison sèche entre avril et août.

#### **II.1.4. Hydrologie**

L'oued prend ses sources dans cette dernière chaîne et traverse la plaine du Gharb avant d'atteindre l'océan Atlantique. L'hydrologie du bas Sebou, liée aux variations saisonnières, reflète fidèlement celles des précipitations. Les apports amont sont actuellement régularisés par les barrages de garde Lalla Aicha et El Mjara ; cependant, ce régime hydrique est confronté à la dynamique marégraphique qui le conditionne. L'estuaire de Sebou, zone de contact eau douce-eau salée, est caractérisé par une dynamique marégraphique particulière qui conditionne les différents paramètres du milieu, en particulier son hydrologie. Le marnage relevé dans l'embouchure du Sebou varie entre 0,75m à marée basse et 2,3m à marée haute.. Il s'étend sur une longueur de 614 Km en prenant naissance dans le moyen Atlas et reçoit d'importantes masses d'eau lui assurant une certaine régularité, telles que les eaux de l'oued Inaouène, Ouergha, Rdom et Beht.

Le bassin versant du Sebou est l'un des plus riches en eau et constitue l'une des régions les mieux loties en terres irriguées et en industries. Le potentiel cultivé s'élève à 1.750.000 ha.

Les superficies irrigables sont estimées à 375.000 ha, dont 316.000 sont actuellement irrigués, répartis entre : 133.620 ha de grande hydraulique et 182.380 ha de petite et moyenne hydraulique et d'irrigation privée.

#### **II.1.5. Sources de pollution**

##### **II.1.5.1. Origine industrielle**

Le bassin de Sebou connaît une activité industrielle très développée. Les unités importantes à l'échelle du bassin sont : les sucreries, les papeteries, les huileries, les tanneries, les cimenteries, l'industrie du textile et la raffinerie de pétrole (Tableau III).

**Tableau III :** Production annuelle en tonne des principales unités de production au bassin de Sebou (<http://www.water.gov.ma/>)

<b>Produit industriel</b>	<b>Production annuelle (tonne)</b>
Papier	209.000
Huile d'olive	80.000 (65% de la production nationale)
Cuir	12.000 (60% de la production nationale)
Pétrole raffiné	3.300
Sucre	1845 (50% de la production nationale)

La principale source de pollution d'origines industrielle est focalisée dans les huileries. Ce secteur est d'activité saisonnière s'étalant de décembre à Février mais répartie sur l'ensemble du bassin (avec des concentrations marquées à Aïn Taoujdate, Fès, Taounate). Elle entraîne de ce fait une forte concentration en matières organiques, grandes consommatrices de l'oxygène dissous de l'eau (<http://www.water.gov.ma/>).

L'activité industrielle est concentrée à l'intérieur des grandes villes du bassin. Les charges totales de la pollution organique d'origine industrielle dans le bassin sont estimées à 2.750.000 équivalent-habitants, dont près de 70% proviennent des sucreries, des papeteries et des huileries.

La pollution industrielle est responsable de 40% de la pollution organique, de 20% de la pollution azotée et phosphorée et de 100% des rejets en métaux lourds.

#### **II.1.5.2. Origine domestique**

Les rejets des eaux usées sont estimés à plus de 200.000 m<sup>3</sup>/jour, une grande partie de ses eaux sont rejetées dans les cours d'eau, tandis que la partie restante est déversée en milieu et les 2% restantes sont épandues sur les sols.

Il faut noter qu'il n'existe pas de station d'épuration fonctionnelle, ce qui augmente l'effet de la pollution organique, azotée et phosphorée par ces eaux usées et cause le phénomène d'eutrophisation des retenues de barrages. La réutilisation des eaux usées brutes dans l'irrigation qui peuvent augmenter les risques sanitaires pour les agriculteurs et les consommateurs.

### **II.1.5.3. Origine agricole**

Le bassin du Sebou connaît une intensification du secteur agricole par le recours d'une part, à l'irrigation afin de pallier aux aléas climatiques, et d'autre part à l'utilisation des engrais chimiques, de produits phytosanitaires, des fumiers naturels et artificiels. Ce sont particulièrement les eaux souterraines qui sont exposées à ce type de pollution suite à l'infiltration des produits agro-chimiques.

Les charges polluantes sont constituées essentiellement des nitrates et des phosphates et sont estimées à 6294 tonnes par an de l'azote total et 1 499 tonnes par an des phosphates (<http://www.water.gov.ma/>).

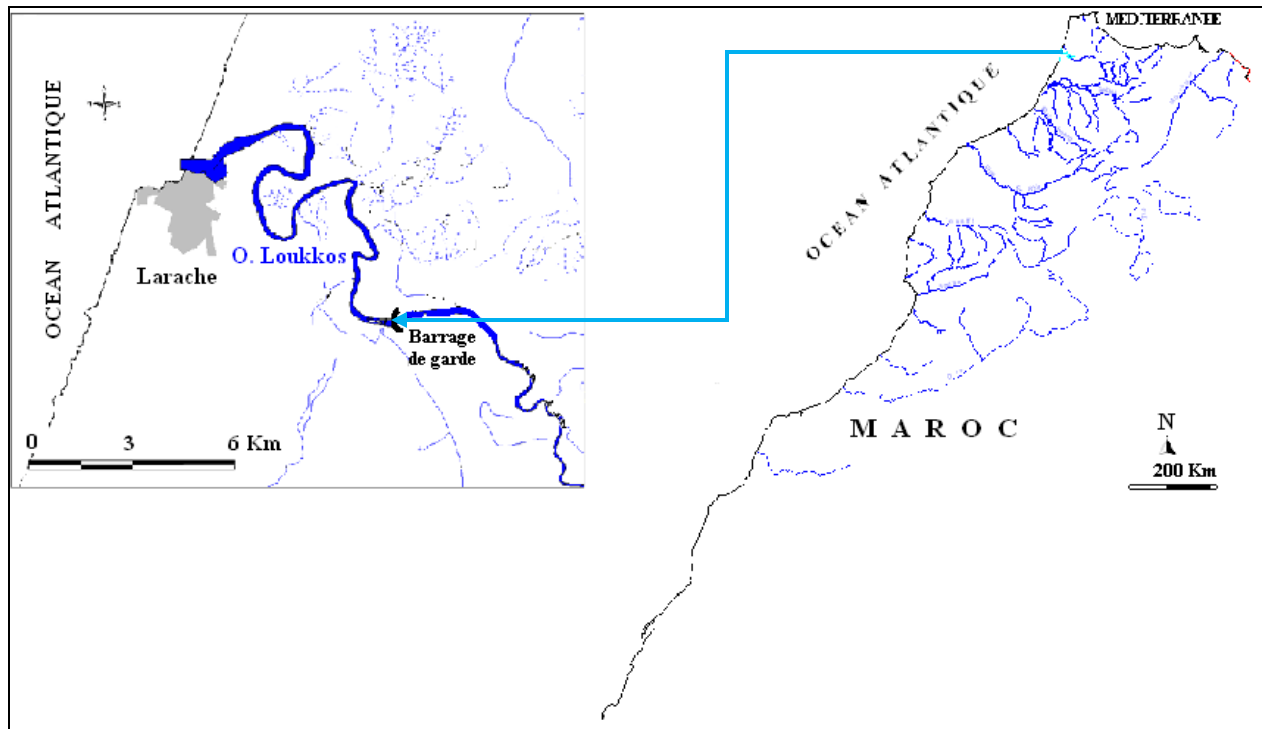
## **II.2. Estuaire de Loukkos**

### **II.2.1. Situation géographique**

Le bassin versant du Loukkos et de ses affluents s'étend sur une superficie de 3750 km<sup>2</sup> incluant les oueds Loukkos, Ouarour et Oued Makhazine.

Le cours d'eau Oued Loukkos, prend sa source dans les montagnes du Rif, au Nord et coule ensuite sur le bord de la plaine du Gharb.

Notre zone d'étude se situe sur la partie NW du littoral atlantique marocain entre les parallèles 35°9' et 35° 14' de latitude Nord et entre 06°5' et 06°30' de longitude Ouest (Figure 8).



**Figure 8:** Localisation des sites de pêche des anguilles à l'estuaire du Loukkos

### II.2.2. Climatologie

Le climat de l'ensemble du complexe de zones humides du Bas Loukkos est rattaché à la région biogéographique du Rharb au bioclimat Thermoméditerranéen sous influences océaniques. Il se caractérise par une saison humide, de novembre à avril et une saison sèche, de mai à octobre. Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 660 mm/an auxquelles s'ajoutent les précipitations occultes (55 mm/an). L'insolation est forte, le vent d'Est chaud « Chergui » est fréquent et l'évaporation est importante (746 mm/an). De plus, le régime pluviométrique est à fort contraste saisonnier, torrentiel en hiver et déficitaire en été. Et, depuis la construction du barrage El Makhazine en 1979, l'apport de cette rivière est sévèrement contrôlé.

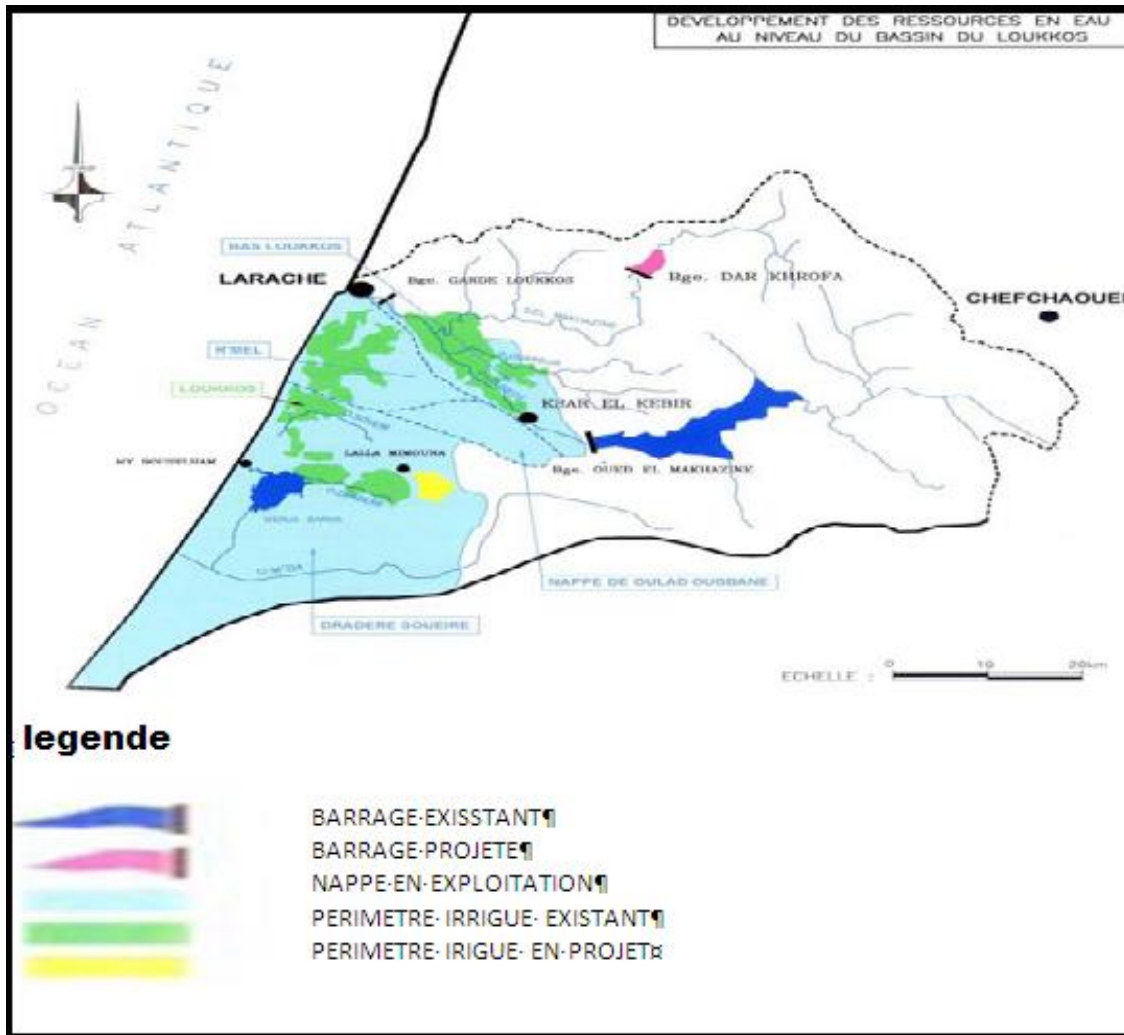
Quant au cycle annuel des températures, il peut être subdivisé en deux principales périodes thermiques de durées inégales : 1) une période chaude, de juin à septembre, où les températures moyennes avoisinent les 23°C avec un maximum dépassant souvent les 35°C ; 2) une période

relativement froide et pluvieuse, de décembre à février, où les températures moyennes sont de 11°C, avec un minimum ne descendant jamais en dessous de 0°C.

### **II.2.3. Hydrologie**

Le bilan hydrologique global dépend donc du flux hydrologique entrant (Figure 9) tels que les précipitations, eaux d'irrigation, eaux usées urbaines et industrielles) et du flux sortant (évaporation, drainage et pompages en surface ou dans la nappe).

Le régime de leurs apports est caractérisé par une forte irrégularité interannuelle. Les débits d'étiage sont généralement nuls, à l'exception des cours d'eau qui drainent la nappe de Rmel (Sakh-Sokh, Smid El Ma et El Kihel) avec un débit moyen d'environ 500 l/s et ceux drainant la nappe de Dradère- Souiere.



**Figure 9 :** Carte représentant les importantes ressources en eau du bassin du Loukkos

## II.2.4. Sources de pollution

### II.2.4.1. Origine industrielle

Les industries polluantes dans le bassin sont : les deux sucreries (Sunabel à Ksar El Kbir et Sucral à Larache), la tannerie et l'abattoir. Le flux de pollution industriel est estimé en 1994 à 1180 T de DBO<sub>5</sub>/an.

### II.2.4.2. Origine agricole

L'activité agricole constitue une source de pollution pour la qualité des ressources en eau, du fait de l'irrationalisation des produits phytosanitaires et des engrais ainsi que les mauvaises pratiques agricoles en matière d'irrigation. On note ainsi l'utilisation des motopompes par des riverains

pour l'irrigation ce qui a causé plusieurs fois l'apparition de flaques d'huile au niveau de la prise d'alimentation en eau potable suite aux vidanges des motopompes qui sont effectuées directement dans l'Oued Loukkos

Au niveau du périmètre irrigué du Loukkos, l'application moyenne annuelle des engrais à l'hectare est estimée à 120 kg pour les produits fertilisants et à 80 kg pour les produits phytosanitaires.

#### **II.2.4.3. Origine domestique**

Les principales villes du bassin versant de Loukkos sont Larache et Ksar El Kebir. Leurs rejets sont déversés respectivement en mer et dans l'oued loukkos et atteignent respectivement 15 900 m<sup>3</sup>/j et 12 000 m<sup>3</sup>/j.

#### **II.2.4.4. Pollution accidentelle**

Durant l'année 2001, 3 cas de pollution accidentelle ont été enregistrés au niveau de la région. Les accidents du 22-05-2001 et 28-12-2001, étaient dus au renversement de deux camions citernes transportant du carburant. Le 11/09/2001, un accident est survenu suite au déversement d'un rejet industriel au niveau du réseau d'irrigation de l'ORMVA du Loukkos.

L'impact du rejet industriel dans le réseau d'irrigation, s'est manifesté par une mortalité massive de poissons de différentes espèces : Mulets, Carpe commune, Anguille, Perche soleil.

### **III. PÊCHE ET EXAMENS D'ECHANTILLONS**

#### **III.1. Pêche**

L'anguille est exploitée dans toute son aire de répartition, en eau douce, dans les milieux saumâtres et en zones côtières, à toutes les phases de son cycle biologique et particulièrement celle de la civelle et des anguilles argentées (El Hilali, 2007 ; Campton et Crivelli, 2010). La pêche représente une source de prélèvement majeure qui constitue une cause à double effet (prélèvement des géniteurs et des larves).

Au Maroc, l'anguille est présente dans la plupart des eaux continentales marocaines, elle devient plus rare au sud d'Agadir (EL Hilali, 2007). De ce fait, la pêche de l'anguille est surtout localisée dans la partie nord du pays et réglementé par un système de quotas (HCEFLCD, 2010).

Des mesures de gestion de ce secteur halieutique ont été placées pour limiter et diminuer le taux des captures d'anguilles.

Considérant les estuaires, la pêche concerne essentiellement l'anguille et la civelle dont l'exploitation est pratiquée principalement dans les estuaires de Sebou et du Loukkos. Ces sites recèlent d'importantes ressources halieutiques dont les principales sont l'anguille et la civelle qui représentent une activité économique non négligeable.

Actuellement, la pêche commerciale d'anguille et de civelle reste aléatoire face à des conditions climatiques défavorables et des pénuries de la ressource aigües obligeant les sociétés amodiataires à y renoncer. C'est d'ailleurs le cas de la majorité des amodiations. En outre, les statistiques de pêche dans les parties basses des rivières sont assez difficiles à obtenir étant donné le caractère très individuel de cette activité.

### **III.1.1. Technique de pêche**

#### **a. Anguille**

Comme d'autres types de poissons les anguilles peuvent être capturées en utilisant divers engins de pêche adaptés à ce genre de poisson et en relation avec les conditions hydrologiques locales.

Pour ce qui des engins de pêches, qu'elle soit côtière, fluviale ou en pisciculture, les filets de pêche sont différenciés selon leur méthode de maniement en deux groupes principaux, à savoir les filets passifs ou fixes et les filets actifs ou mobiles. On distingue ainsi :

#### *Nasse (fyke nets)*

Cet engin fixe déposé sur le fond dans les endroits propice au passage des anguilles. L'engin est une succession de filets en forme d'entonnoirs. Les anguilles passent d'un entonnoir à l'autre en quête d'une sortie et se trouvent piégés dans le fond de la nasse.



**Figure 10 :** Nasse utilisée dans la pêche des anguilles

Au Sebou, les nasses (Figure 10) sont liées entre elles en longueur par groupe de 8 à 10 nasses et elles sont placées à proximité des bords de l'oued où le courant est plus faible. Ces nasses sont souvent utilisées entre le barrage de garde et Moghrane. Dans la partie avale, elles sont utilisées sous forme de verveux.

Dans l'estuaire du Loukkos, l'effort de pêche est concentré surtout au pied du barrage de garde qui est équipé d'une passe à poissons mais, celle-ci reste inefficace et constitue plutôt un piège à poissons.

En effet, cette passe à poissons sans courant d'attrait, elle est souvent à sec et l'eau ne s'écoule que par gravité et dépend du niveau de remplissage du barrage (Figure 11) et donc, les civelles en migration anadrome se trouvent bloquées au pied du barrage où elles se concentrent et sont facilement accessibles.



**Figure 11** : Photo du barrage de garde au bas Loukkos (à droite) muni d'une passe à poissons (à gauche).

### **b. Civelle**

#### *Filets de barrage*

Ces filets ont une poche de forme triangulaire de 9m de largeur et de 6 à 7 m de longueur. L'ouverture est de 9 m et la maille est de moins d'un millimètre. Cet engin est tenu fixe au milieu de la rivière à l'aide de deux cordes tendues et fixées sur les deux rives. Ces filets sont utilisés seulement à Sebou pour la pêche des civelles (Figure 12).



**Figure 12 :** Filets à civelle (Estuaire de sebou)

### *Épuisette*

Utilisée dans les deux sites (Sebou et Loukkos). C'est un engin simple (Figure 13) formé d'une manche de 2 à 3 m de longueur et d'un cerceau cylindrique de 0,75 à 1m de diamètre, le filet utilisé a une maille de 1mm. La pêche à l'épuisette est utilisé seulement la nuit, à marrée haute.



**Figure 13 :** Epuisette utilisée pour capturer les civelles à l'estuaire de Loukkos

Il est à signaler que le type d'engin de pêche, le plus utilisé, diffère d'un site à un autre. En effet, au moment où la nasse est le moyen le plus employé à Merja Zerga (61,7%), c'est l'épuisette qui est utilisée au Loukkos (88%) et le filet de barrage au Sebou (79,2%). Cette sélectivité d'engin reste tributaire de quelques critères, dont l'aspect morphométrique des sites, l'espèce et le stade capturé et parfois le coût d'acquisition. Sous certaines conditions, le pêcheur se voit contraint d'utiliser plus d'un engin de pêche, question d'efficacité et de rentabilité et de diversité des ressources.

### III.1.2. Moyens de production et analyse comparée des engins de pêche

Les principaux moyens de production utilisés dans la grande pêche commerciale sont les barques et les filets, de plusieurs catégories. Quant aux moteurs hors-bords, ils ne sont utilisés qu'en pêche marine. Le détail de ces barques figure dans le tableau IV ci-dessous.

**Tableau IV** : Principales caractéristiques des barques de pêche (Al Amouri 2006)

Site	Caractéristiques des barques					
	Nombre de barques	Longueur (m)	Largeur (m)	Prix (DH)	Entretien (DH/an)	Âge moyen (an)
Merja Zerga	100	4,24	1,44	3500	600	5
Loukkos	6	4,00	1,50	2000	-	13
Sebou	240	4,07	1,54	3416	550	6
<b>Moyenne</b>	115	4,1	1,5	2972	575	8

Ces différents types d'embarcations ne possèdent pas de moteur hors-bord. Leur âge, relativement avancé, est en moyenne de 5 ans à Merja Zerga, 6 ans au Sebou et 13 ans au Loukkos. La durée de vie de telles barques peut aller jusqu'à 20 ans, suivant la qualité et la quantité de leurs entretiens.

Elles appartiennent aux pêcheurs. Cependant, en été, à Merja Zerga et au Loukkos, quelques pêcheurs se transforment en colporteurs de gens entre les deux rives, avec utilisation, parfois, de moteur hors-bord, notamment à Merja Zerga.

Pour ce qui des engins de pêches, qu'elle soit côtière, fluviale ou en pisciculture, les filets de pêche sont différenciés selon leur méthode de maniement en deux groupes principaux, à savoir les filets passifs ou fixes et les filets actifs ou mobiles.

Concernant l'anguille, elle est convoitée aussi bien par la pêche professionnelle que par quelques pêcheurs amateurs. Seuls les méthodes et le matériel employé qui diffèrent. De leur part, les pêcheurs professionnels utilisent des engins, comme les verveux, les nasses, les chaluts et les

installations fixes des pêcheries complexes, au moment où les amateurs pêchent l'anguille à la canne ou tout autre moyen rudimentaire.

La qualité et la quantité des captures doivent être conformes et légale, conformément aux articles et aux obligations liés au programme de conservation de l'espèce.

Pour une gestion rationnelle de la pêche des anguilles, il faudrait mettre en œuvre un programme de sensibilisation et d'apprentissage par l'action de la cogestion des ressources halieutiques qui vise l'amélioration des moyens d'existence durables des communautés de pêcheurs par le biais de l'organisation de ces dernières, la mise en place et le fonctionnement des plates-formes locales de rencontre, de négociation et de partenariat entre toutes les parties prenantes à la gestion des pêcheries.

#### **IV. INTERET ECONOMIQUE DE L'ANGUILLE**

Poisson très prisé pour sa chair, l'anguille est exploitée à tous ses stades biologiques continentaux. Tous les types de pêcheurs s'y intéressent, tels que les professionnels fluviaux (les amodiataires), les professionnels aux engins et aux filets et les amateurs aux lignes.

Les pêcheurs vendent leurs captures aux amodiataires ou à des mareyeurs qui la vendent à leur tour aux sociétés d'anguilliculture. La production est destinée à l'export directement ou au grossissement puis à l'export.

Mais, en parallèle à ce circuit légal, il existe le commerce illégal (braconnage). Mais, la production nationale en anguilles est destinée presque exclusivement à l'exportation, à la fois, pour la consommation et pour l'anguilliculture.

##### **IV.1. Communautés des pêcheurs**

Plusieurs douars se partagent les activités de pêches qui sont réparties sur les différents sites d'étude. L'importance de cette communauté se caractérise par une représentativité très variable (Tableau V ). La pêche de l'anguille et de la civelle est pratiquée régulièrement par une communauté de plus de 783 pêcheurs, dont 93,6% dans la région du Sebou et 6,4% dans celle du Loukkos. Cette étude a été réalisée à l'aide des enquêtes.

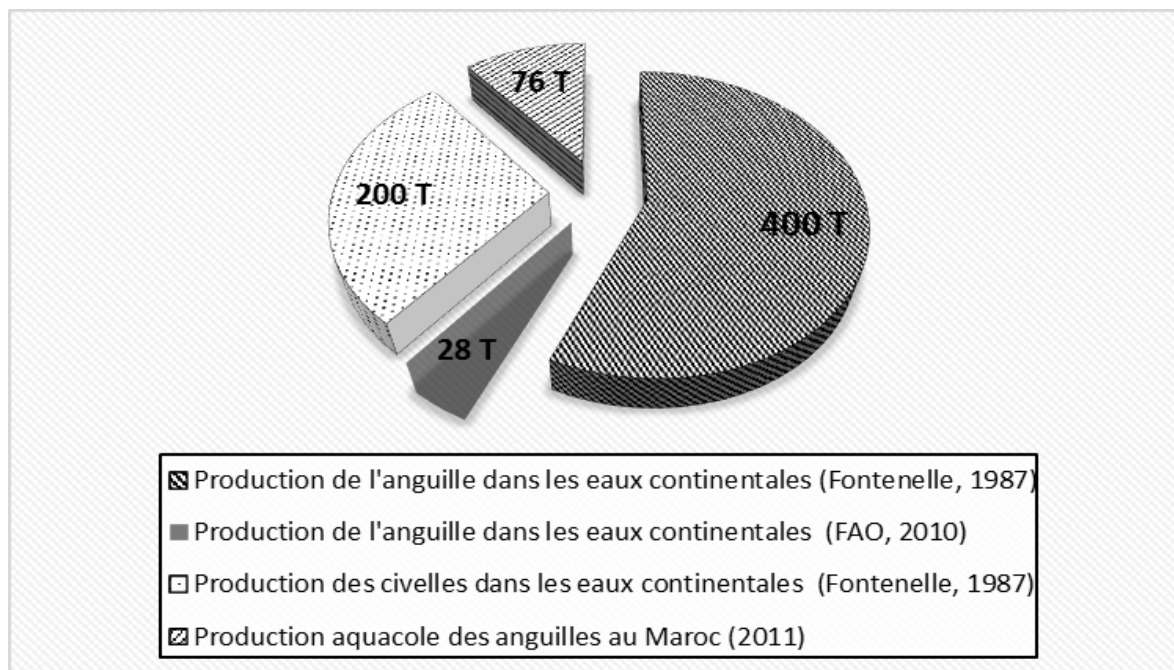
**Tableau V** : Effectifs des pêcheurs dans les sites de pêche des anguilles au Maroc

Site	Al Amouri (2006)		Rapport HCEFLCD (2011)	
	Nombre	%	Nombre	%
<b>Sebou</b>	400	53	507	64,5
<b>Loukkos</b>	50	7	50	7
<b>Lagune de Moulay Bouselham</b>	300	40	226	28,5

En effet, au niveau de la Merja Zerga, la pêche d'anguille est pratiquée par 62% des pêcheurs. Au Sebou, seulement 12% des pêcheurs pratiquent cette activité, alors qu'au Loukkos, seul un pêcheur, employé par la société amodiataire du droit de pêche "Morocco Pêcherie Ibérique", pratique ce type de pêche.

Par ailleurs, ces enquêtes réalisées ont permis également de ressortir que la population active du secteur halieutique se caractérise par un niveau d'instruction peu élevé ; seulement 26,5% des personnes interrogées à Merja Zerga ont fréquenté l'école primaire, contre 36,6% au Sebou et 26,7% au Loukkos. Cette catégorie est constituée dans sa majorité par des jeunes de moins de 29 ans, au moment où 5 à 20% des personnes les plus âgées (40-49 ans) ont déclaré avoir fréquenté l'école coranique. Il est à noter cependant que, c'est seulement à Merja Zerga où on trouve des pêcheurs ayant un niveau supérieur à raison de 1,5%, au moment où, au niveau national, ce taux est de 1,1% en milieu rural et 8% en milieu urbain. (Al Amouri, 2006).

Le niveau d'organisation des professionnels de la pêche continentale est relativement faible. Les pêcheurs n'intègrent aucun cadre réglementaire ou associatif et ne bénéficient, d'ailleurs, d'aucun encadrement en ce sens. La sécurité sociale est également quasi inexistante dans l'ensemble des sites visités.



**Figure 14 :** Production des anguilles (*Anguilla anguilla*) dans les eaux continentales marocaines

Nous considérons, cependant, qu'il est temps de faire profiter le secteur de la pêche continentale, en général, et celui de l'anguille, en particulier, de la mise à niveau actuelle initiée par le Plan Halieutis qui prévoit une nouvelle stratégie de développement intégré du secteur halieutique au Maroc. Et ceci par le renforcement de la compétitivité, le réaménagement des pêcheries, la reconstitution des stocks et le développement de l'aquaculture, la maîtrise de la traçabilité...

#### IV.2. Efforts de pêche et de captures

Fontenelle (1987) a estimé la production de l'anguille dans les eaux continentales du Maroc à 400 tonnes dont 200 tonnes de civelles. Alors que la FAO (2010) ne l'a évalué qu'à 28 tonnes (Figure 14).

L'effort de pêche total estimé au niveau des différents sites étudiés, durant toute l'année, est présenté sur le tableau VI suivant :

**Tableau VI : Effort de pêche dans les trois sites (Al Amouri, 2006)**

	Nombre de jours de pêche/an	Nombre de sorties/jour	Nombre de pêcheurs	Nombre de sorties	Nombre d'heures de travail/pêcheur
<b>Merja Zerga</b>	304	1	300	91200	1160
<b>Loukkos</b>	117	1	50	5850	351
<b>Sebou</b>	264	1,7	400	179520	628

Il n'y a pas de grande différence de l'effort de pêche entre les sites les plus propices à la pêche de l'anguille, sa variation est lié plutôt à l'engin de pêche utilisé. La durée reste plus longue pour la nasse, de l'ordre de 24 heures ou plus. Alors que pour l'épuisette, elle est de l'ordre de 3 heures.

Les captures par unité d'effort de pêche (CPUE), qui représentent un indice d'abondance du stock exploitable et utilisées comme une estimation de l'abondance relative des anguilles dans les différents sites, permettent donc de suivre la disponibilité de la ressource indépendamment des variations du nombre de pêcheurs. Au niveau de sites étudiés (lagune de Merja Zerga et les estuaires du Loukkos et du Sebou), la variation des CPUE a été déterminée comme suit (Tableau VII).

**Tableau VII : CPUE des anguilles argentées et jaunes (Wariaghli *et al.*, 2010 et 2011)**

Année	Site	Capture (Kg)	Effort total (jours)	CPUE (Kg/jours)
<b>2003</b>	Merja zerga	13500	-	-
	Sebou	420 000	-	-
	Loukkos	-	-	-
<b>2006</b>	Merja Zerga	16 000	304	52,63
	Sebou	10 000	264	37,87
	Loukkos	200	117	1,70
<b>2011</b>	Merja Zerga	2700	304	8,88
	Sebou	12340	264	46,74
	Loukkos	120	117	1,02

Cette pêche commerciale des civelles au niveau des trois sites atlantiques a connu une augmentation des captures entre 2009 et 2011, à raison de 8,4% [2009-2010] et 50% [2010-

2011]. Pour le site méditerranéen, d'une manière générale, la tendance était à l'augmentation des quantités pêchées de civelles et une diminution de celles des anguilles (4,6 et 167 Kg pour les civelles et entre 15 et 233 Kg pour les anguilles) jusqu'en 2002 où elle a connu un déclin poussé pour les deux stades, ce qui a d'ailleurs encouragé l'amodiataire à renoncer à son activité.

Dans l'estuaire du Sebou, les captures annuelles de civelles sont les plus élevées (5 tonnes), suivie par l'estuaire du Loukkos (0,75 tonnes) (Tableau VIII). Les quantités de captures de Loukkos sont considérablement en baisse.

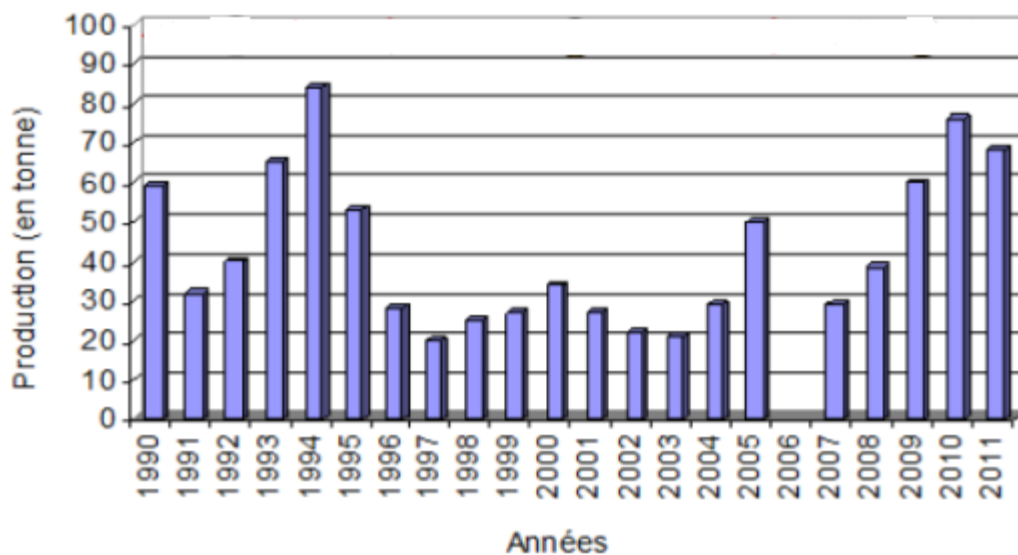
**Tableau VIII :** Quantités de civelles capturées (T/an) dans les différents sites de pêches marocains

	Quantité de civelles (tonne)		
	Merja Zerga	Sebou	Loukkos
<b>Fontenelle (1987); Sabatié &amp; Fontenelle (2003)</b>	-	150	40
<b>Al Amouri (2006)</b>	-	5	0.75
<b>2007</b>			0.11
<b>2008</b>			0.10
<b>2009</b>			0.14
<b>2010*</b>		0.21	0.05
<b>2011*</b>		0.36	0.03

\* Rapport National du Groupe de Travail sur l'Anguille (WGEEL)

## V. ANGUILLICULTURE

Au Maroc, l'anguilliculture a commencé comme étant un secteur productif dans les années quatre-vingt-dix (Figure 15). En effet, en 1992 l'Administration des Eaux et Forêts a pris l'initiative à subordonner les amodiations du droit de pêche des anguilles dans les oueds.



**Figure 15 :** Evolution de la production aquacole de l’anguille (HCEFLCD)

La production aquacole des anguilles n’a connu son amélioration qu’en 2007, après l’installation de la société Nouné maroc, à Kénitra. En effet, les quantités produites au cours des deux dernières années proviennent exclusivement de cette unité.

Les captures réalisées sur la partie Atlantique sont soit exportées vers les marchés extérieurs, notamment en Espagne, soit vendues vivantes aux sociétés privées de grossissement qui étaient au nombre de 4 (Pêcherie Marocco Ibérique, Aquastar, Aqua- Gruppen et NounéMaroc) mais qui ne sont plus que trois (Pêcherie Marocco Ibérique, Aquastar et NounéMaroc).

Actuellement, le droit de pêche de la civelle et de l’anguille est amodié aux sociétés NounéMaroc, Pêcherie Marocco Ibérique et Aquastar. Toutefois, après la fermeture des sociétés Marost et Aqua-Gruppen, NounéMaroc est devenue la société la plus active en anguilliculture, non seulement à Kenitra mais au niveau national. Durant les 13 dernières années, la production a varié entre 0 et 76 tonnes d’anguilles d’élevage (Tableau IX).

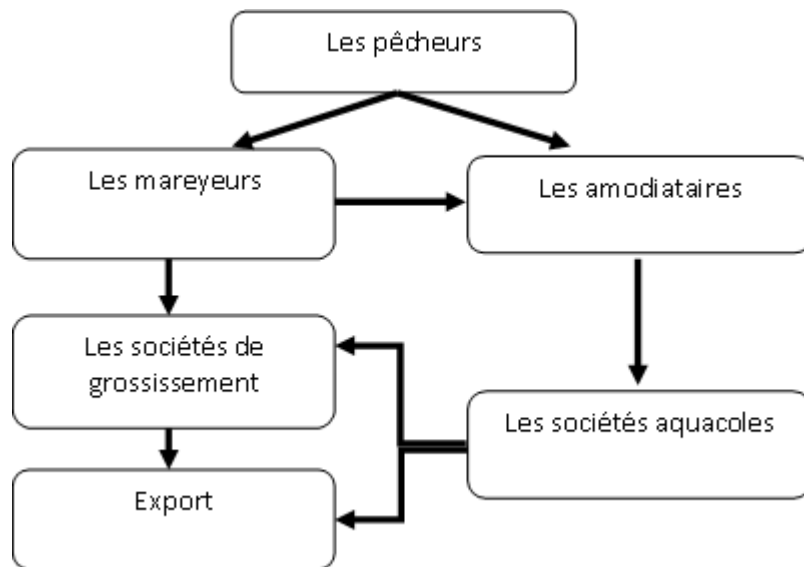
**Tableau IX :** Evolution de la production des anguilles par anguilliculture (1999-2011).

<b>Société aquacole</b>	<b>Aquastar (Merja Zerga)</b>	<b>AquaGruppen (Sebou)</b>	<b>NouneMaroc (Sebou)</b>	<b>Total (Tonne)</b>
<b>Production (en Tonne)</b>				
1999-2000	13	13	-	26
2000-2001	12	-	-	12
2001-2002	23	-	-	23
2002-2003	40	-	-	40
2003-2004	-	-	-	-
2004-2005	34,5	10	-	44,5
2005-2006	40	3	-	43
2006-2007	16	3	-	19
2007-2008	16	3	10	29
2008-2009	13-	6	19,5	38,5
2009-2010	-	-	60	60
2010-2011	-	-	76	76

Depuis l'installation de ces sociétés, les pêcheurs qui ne visaient auparavant que les anguilles de moyenne et grande taille, commençaient à s'intéresser plus aux anguillettes, de 10 à 15 cm de taille, ainsi qu'aux civelles dont la valeur économique est grande, ce qui pourrait compromettre, à moyen terme, l'avenir de ce secteur.

La commercialisation dans les estuaires du Loukkos et du Sebou, où les captures les plus importantes sont celles des anguilles et des civelles, est assurée par les employés des sociétés de grossissement d'anguilles. Les autres captures sont négligeables, surtout au Sebou.

D'une manière générale, le circuit de commercialisation des captures se déroule conformément au schéma ci-dessous (Figure 16).



**Figure 16 :** Circuit de commercialisation des anguilles au Maroc

Cette commercialisation est dominée par une vente d’une grande partie des prises directement aux mareyeurs qui les transportent dans des camionnettes équipées de viviers, en vue de les vendre aux sociétés aquacoles amodiataires du droit de pêche de civelles et d’anguilles et disposant d’unités d’élevage (cas de Moulay Bouselham et le Sebou).

Par ailleurs, les anguilles destinées au grossissement sont mises dans des bassins aquacoles spécifiques pour la première phase d’acclimatation. Tandis que celles destinées à l’export, sont surgelées à une température de l’ordre de  $-18^{\circ}\text{C}$  à  $-20^{\circ}\text{C}$ . Au Loukkos, la société Pêcheurie Morocco Ibérique utilise la même technique de surgélation. (Rapport HCEFLCD, 2011).

# Chapitre II

**ETUDE DE LA CROISSANCE ET DE  
L'OTOLITHOMETRIE DE L'ANGUILLE  
(*A. ANGUILLA*)**

## **INTRODUCTION**

L'anguille est un poisson très intéressant sur le plan biologique et écologique. En effet, c'est un très bon modèle pour caractériser l'influence de l'environnement sur ses populations.

Pour une gestion adaptée aux populations d'anguilles, une étude de leur croissance et d'âge s'avèrent nécessaire. Même si cette connaissance est largement utilisée, la validation de la précision de l'estimation n'est pas toujours satisfaisante.

L'estimation de l'âge et de la croissance des anguilles concerne la plupart du temps la phase de la vie en milieu continental. Etant donné que l'apparition des écailles chez l'anguille est tardive, la méthode de la sclarimétrie reste non fiable (Jellyman, 2003), du coup l'otolithométrie reste la seule méthode.

En effet, l'étude microstructurale de l'otolithe est considérée comme l'une des meilleures méthodes pour appréhender les premières étapes du développement larvaire du poisson. Ainsi, Lecomte-Finiger et Yahyaoui (1989) rapportent l'existence de microstructures correspondant à des stries journalières sur l'otolithe d' *Anguilla anguilla*.

Les études de croissance ont mis l'accent sur la particularité de l'anguille européenne de présenter une forte variabilité individuelle. Cette variabilité est liée à plusieurs facteurs (âge, sexe, saisonnalité, particularité du milieu...). La nature des stries des otolithes pouvait refléter de façon précise la qualité du milieu où vivent ces anguilles.

Les buts de ce chapitre est donc de déterminer l'âge des anguilles capturées et leur croissance dans les différents sites étudiés (estuaire du Loukkos et du Sebou). Il s'agit également d'établir la relation entre la taille et le poids des anguilles (croissance linéaire et pondérale), la détermination du sex-ratio.

### **I. OTOLITHE ET OTOLITHOMETRIE**

Les otolithes (du grec *oto* : l'oreille et *lithos* : la pierre), au nombre de trois paires par individu (*Lapillus*, *Sagitta* et *Asteriscus*) sont des concrétions calcaires enfermées dans les trois sacs de l'oreille interne des poissons téléostéens.

Chaque otolithe possède une forme et des dimensions caractéristiques et spécifiques pour chaque espèce, variable selon les stades de développement d'une même espèce. Chez l'anguille, au stade

civelle, la Sagitta la plus volumineuse est de forme plus ou moins arrondie présente deux faces : une proximale interne plate et une distale externe qui est convexe ; chez l'adulte, elle est généralement elliptique, latéralement comprimée.

Les otolithes sont composés d'une matrice organique dans laquelle sont sertis des cristaux de carbonates de calcium. Chez les Téléostéens, le cristal de carbonate de calcium se trouve sous la forme d'aragonite. La disposition et l'importance relative des fractions organiques et minérales varient au cours de la vie du poisson, en relation avec les étapes de son cycle biologique d'une part, avec les phases périodiques (journalière ou saisonnière) de sa croissance, d'une autre part.

La partie antérieure se caractérise par de légers avancements : le plus long correspond au rostre, le plus court à l'antirostre (Figure 17). La face proximale est entaillée longitudinalement par un sillon dont la forme et la largeur par rapport à l'axe antéro-postérieur, peuvent être utilisées comme critères différentiels de spéciation.

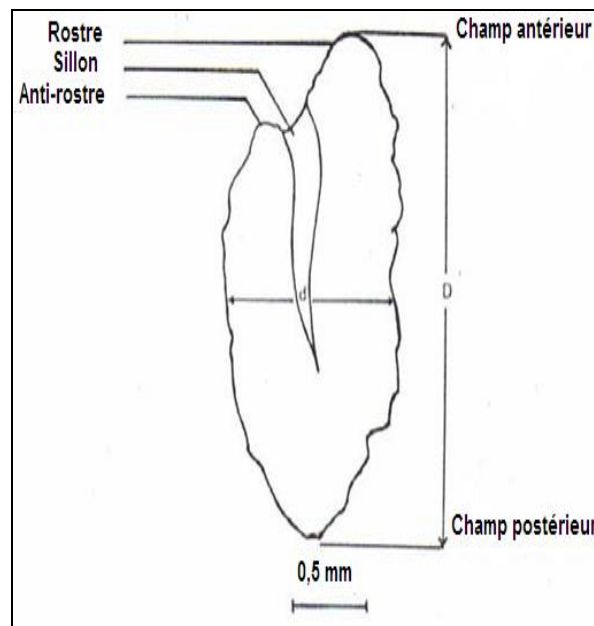
Les otolithes peuvent aussi être utilisé comme un critère de traçabilité chez les anguilles par la différenciation entre les anguilles d'élevage et les anguilles du milieu naturel (Benyahkoub, 2011).

Lecomte-Finiger (1992) donne une description de la structure de l'otolithe chez *A. anguilla*, qui a été employée dans la plupart des études antérieures à celle d'Antunes & Tesch (1997). Le nucleus comprend une cavité (= primordium) d'environ 7,5 µm encerclée par une couronne cristalline de 18.5 µm et un sillon (= sillon coronal). Ce dernier marquerait le début de l'alimentation exogène du leptocéphale. La zone adjacente au nucleus constitue la zone de croissance et présente des incréments distinctifs. La « zone de métamorphose » (= zone diffuse) débiterait avec l'apparition des marques diffuses et se terminerait avec la formation d'un double « anneau de transition » (= zone de transition).

Une alternance de marques saisonnières est en général visible sur les otolithes observés en entier : des zones opaques (zones hypercalcifiées et d'aspect blanc en lumière réfléchi) alternent avec des zones hyalines (zones de calcification moins denses et d'aspect sombre). En climat tempéré, la zone opaque est généralement assimilée à une période de croissance rapide (printemps, été) et la zone hyaline à une période de croissance ralentie (hiver). En conditions défavorables, un ou plusieurs arrest totaux des accroissements linéaire et pondéral peuvent survenir. Ils entraînent un

net ralentissement du dépôt sur l'otolithe ; à leur niveau, la calcification est très faible, voir absente.

L'interprétation des marques de croissance est basée sur l'identification d'un rythme au sein des zones opaques et hyalines. Il procède aussi de la distinction des "arrêts" de croissance annuels par opposition à toutes les perturbations accidentelles de la croissance liées aux évènements aléatoires de la vie du poisson (stress, jeûne, etc...). Généralement, chez l'Anguille européenne, l'annuli est formé de l'association d'une zone opaque et d'une ou plusieurs zones hyalines, et l'arrêt de croissance annuel se situe en limite externe de la zone opaque.



**Figure 17 :** Otolithe de l'anguille «Sagitta » face ventrale. D=diamètre dorsoventral, d=diamètre antéropostérieur. (Yahyaoui, 1991).

Sur les otolithes d'anguille, on distingue deux parties principales :

- Le centre ou nucleus, correspondant au stade "civelle" ; il est délimité par la marque de transition qui indique l'arrivée des civelles en zone continentale et la transformation en anguillette.
- La zone périphérique, correspondant à la croissance des anguilles en milieu continental avant la migration d'avalaison et leur départ des bassins versants. Son interprétation se fait par observation à la loupe binoculaire des annuli ou des marques d'arrêt de croissance.

## **II. MATERIEL ET METHODES**

### **II.1. Récolte des échantillons**

Les échantillons d'anguilles ont été recueillis auprès des pêcheurs locaux qui les avaient capturés en utilisant des nasses (de maille de 5mm). Un nombre total de 333 d'anguilles jaunes et argentés ont été collectés en 2008 et 2009. 203 d'anguilles du Sebou et 130 du Loukkos et transportées dans des glacières au laboratoire. Ces échantillons ont été conservés dans un congélateur à une température de  $-10^{\circ}\text{C}$  environ.

### **II.2. Morphométrie**

Après décongélation des sujets, les paramètres suivants ont été mesurés à savoir : leur longueur totale (L) a été mesurée au 0,5mm près et leur poids frais (W) évalué au milligramme près par une balance électronique «Sartorius» de précision 1/1000 g.

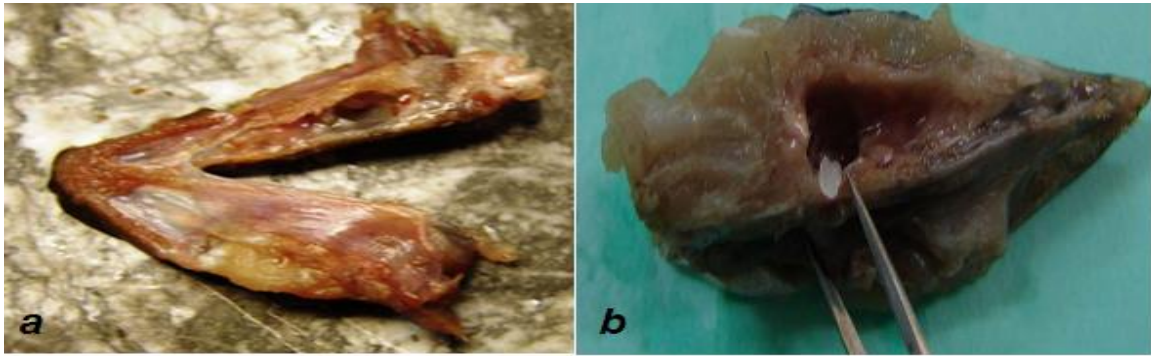
Ces mesures permettent d'apprécier l'évolution dans le temps de ses deux paramètres et de calculer le coefficient d'allométrie permettant d'apprécier l'évolution pondérale en fonction de la taille (L) à partir de la fonction suivante :  $\text{Log } W = \text{Log } a + b \text{ Log } L$  ; où b=coefficient d'allométrie et le coefficient de condition  $Kc = 1000(W_B/L^b)$ , avec L=longueur totale en cm et W est le poids frais en g (Ricker, 1975).

### **II.3. Détermination du sexe**

Après ouverture de la cavité générale (en partant de l'anus jusqu'au niveau des nageoires pectorales), le sexe est déterminé par l'examen macroscopique des gonades. La gonade femelle est élargie, épaissie et "rubanée" ; la gonade mâle est dite "en lobules" ; lorsque le sexe n'est pas encore déterminé, les gonades se présentent comme deux filaments translucides et sans structure particulière visible à l'œil nu. Il convient de rappeler que les appellations "mâle" et "femelle" ainsi définies ne correspondent pas à des états de maturation sexuelle. La maturation sexuelle des anguilles n'intervient que lors du trajet de migration vers les Sargasses.

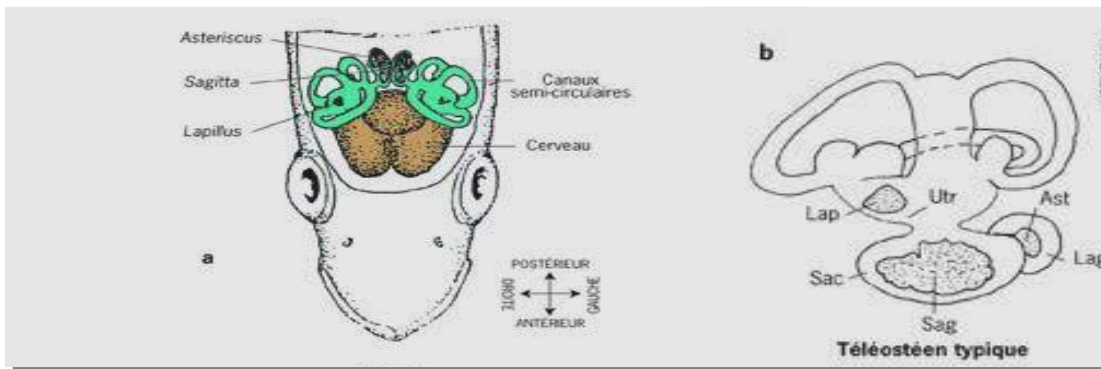
### **II.4. Extraction des otolithes**

Les Sagitta sont prélevées par incision pratiquée au niveau de la partie postérieure de la boîte crânienne (Figure 18), ces otolithes sont extraits à l'aide de pinces fines, afin d'éviter toute cassure, lavés avec de l'eau puis conservés à sec dans des enveloppes de papier après avoir être remués et frottés entre les doigts pour enlever le mucus.



**Figure 18** : Extraction des sagittas à l'aide de pinces fines par une coupe transversale

La structure et l'emplacement de ces otolithes sont présentés dans la figure suivante :



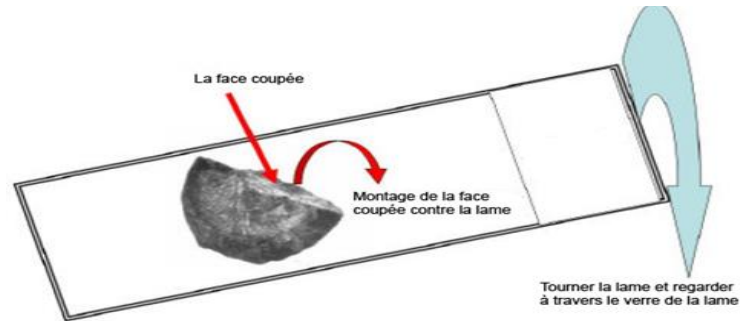
**Figure 19** : Position des otolithes à l'intérieur de l'oreille interne des poissons téléostéens  
(Secor *et al.*, 1992, modifié).

### II.5.Lecture d'âge par otolithométrie

Christensen (1964) a déterminé l'âge des otolithes des anguilles par la méthode de brûlage par flamme suivi de leur clivage. Par la suite, les stries de croissance des anguilles se révèlent.

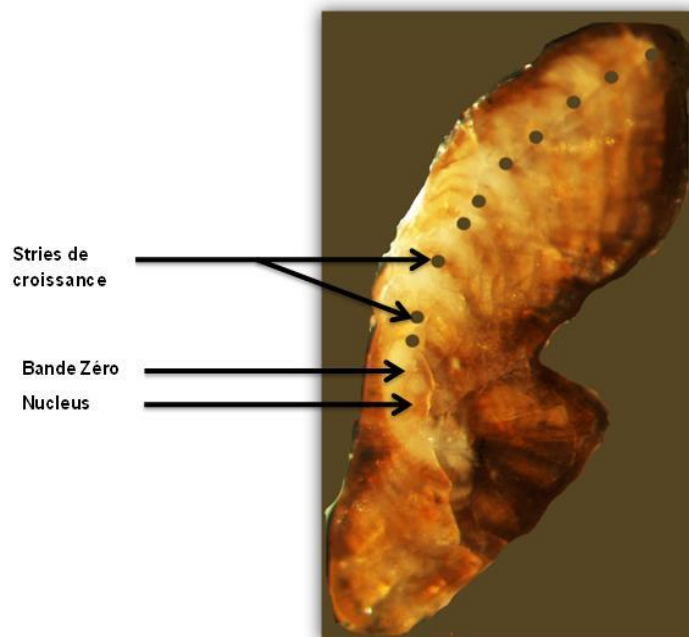
En 1973, Moriarty a décrit la préparation des otolithes d'anguilles (Clivage suivi de brûlage). en vue de la détermination de leur âge Sa méthode a été développée par Hu and Todd (1981). Ces chercheurs ont placé l'otolite dans une goutte de silicone appliquée contre la lame. Dans ce cas les otolithes sont brûlées soit avant ou après leur clivage. Dans notre étude nous avons adopté cette technique de clivage et de brûlage de l'otolithe. On commence par la réalisation d'une coupe transversale (d) de la sagitta à travers son nucleus. Chaque partie est brûlée par flamme pendant 20 à 30 secondes. Les moitiés otolithes sont captées par un pointeur, puis trempées doucement dans une petite quantité de silicone (préalablement appliquée sur une lame de microscope). Le silicone est laissé au repos pendant environ 45-60 minutes. La face coupée de

l'otolithe brûlée est montée en silicone contre le verre de la lame puis la lame est retournée. La lumière réfléchie traverse l'otolithe et les stries de croissance apparaissent pour déterminer l'âge. (Figure 20).



**Figure 20:** Montage des otolithes après brûlage en vue de la lecture d'âge

La lecture des stries de croissance est effectuée à travers le verre de la lame inversée sous un microscope en utilisant la lumière réfléchie. L'objectif de grossissement choisi est entre x20 et x50 (Figure 20).



**Figure 21 :** Otolithe d'une anguille argentée de 10 ans (10+) capturée à Loukkos en 2009, préparée par la méthode de clivage et brûlage.

### **III. RESULTATS**

#### **III.1. Répartition des classes de taille et de poids des anguilles**

##### **III.1.1. Classe de taille**

Les variations annuelles des histogrammes de taille sont regroupées par classes de 5 cm pour les anguilles capturées du Sebou et de 10 cm pour celles du Loukkos (Figure 22). Les distributions de la longueur totale pour toutes ces anguilles ont une allure unimodale.

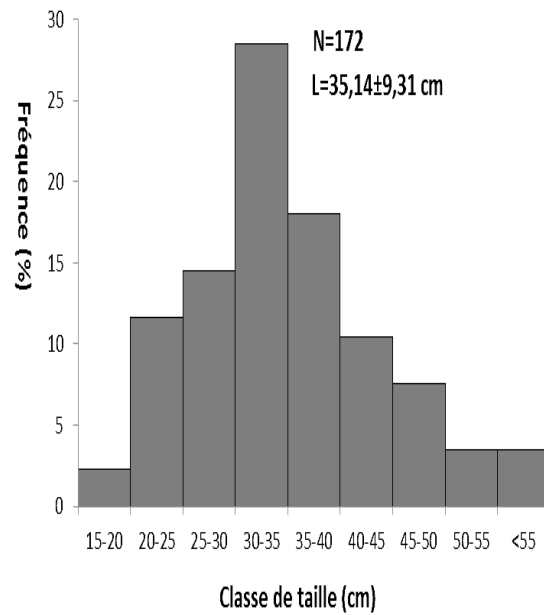
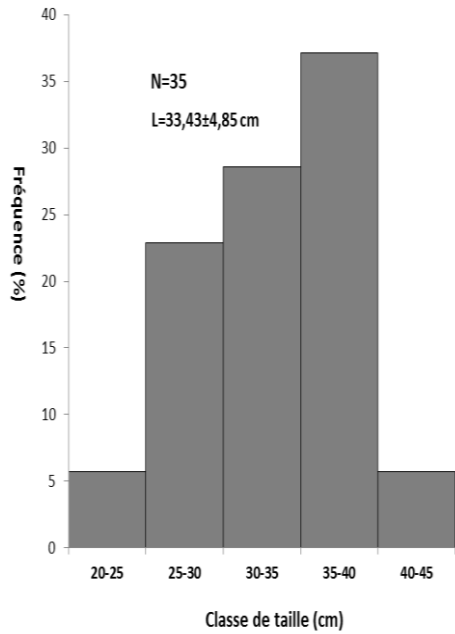
Toutes les classes de taille sont représentées des anguilletes aux anguilles sub-adultes.

Pour homogénéiser nos calculs et pouvoir comparer les différentes mensurations, nous avons regroupé les mesures de la longueur totale en 10 classes de tailles (classes de 5 cm) pour celles du Loukkos (Figure 23 ) et en 11 classes de taille (classe de 5 cm) pour celles du Sebou (Figure 24).

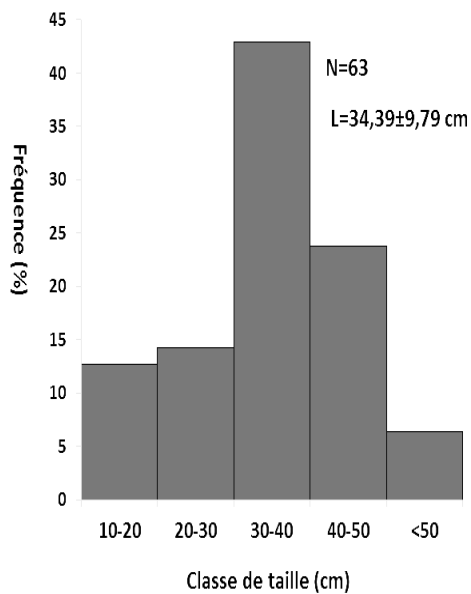
L'analyse des histogrammes (Figure 23 et 24) et du tableau X montre que les anguilles étudiées peuvent être subdivisé en trois groupes.

- Un premier groupe est constitué de petites anguilles dont la taille est inférieure ou égale à 20 cm. Au niveau du Loukkos ce groupe représente respectivement 12,69% en 2008 et 1,49% en 2009. L'estuaire du Sebou, représente respectivement 2,85% (2008) et 2,41% (2009).
- Le deuxième groupe constitué d'individus de taille moyenne, comprise entre 20 et 40 cm. Ce groupe représente respectivement 57,14% en 2008 et 59,70% en 2009 pour les anguilles du Loukkos. Alors qu'il représente 94,28% (2008) et 72,67% (2009) pour celles du Sebou.
- Le troisième groupe formé par des anguilles de grande taille, supérieure à 40 cm. Ce groupe d'individus représente 30,17% (2008) et 30,81% (2009) pour les anguilles du Loukkos. Alors qu'il constitue seulement 2,87% (2008) et 24,92% (2009) des individus capturés à Sebou.

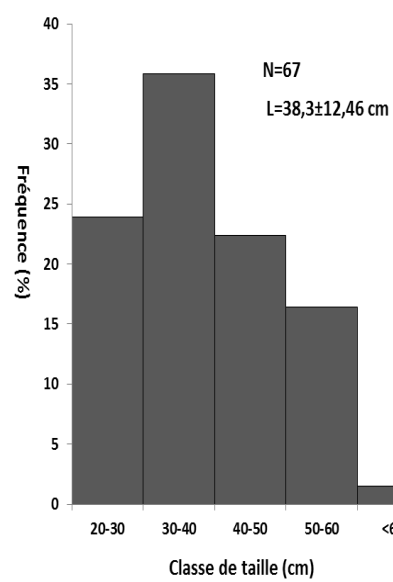
On remarque que la majorité des populations d'anguilles du Sebou et du Loukkos ont une taille moyenne comprise entre 20 et 40cm.



### Sebou 2008



### Sebou 2009



### Loukkos 2008

### Loukkos 2009

**Figure 22 :** Variation annuelle des classes de taille (cm) des anguilles du Sebou et du Loukkos (2008-2009)

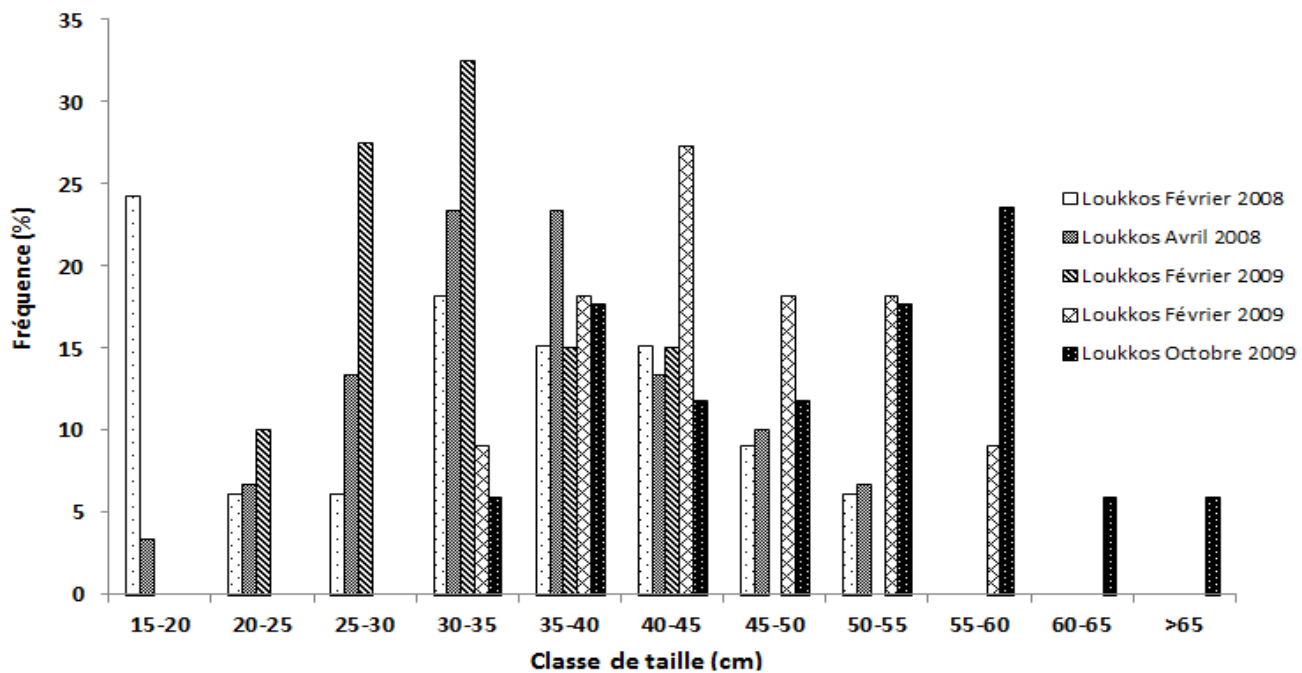


Figure 23 : Distribution des tailles des anguilles du Loukkos (2008-2009)

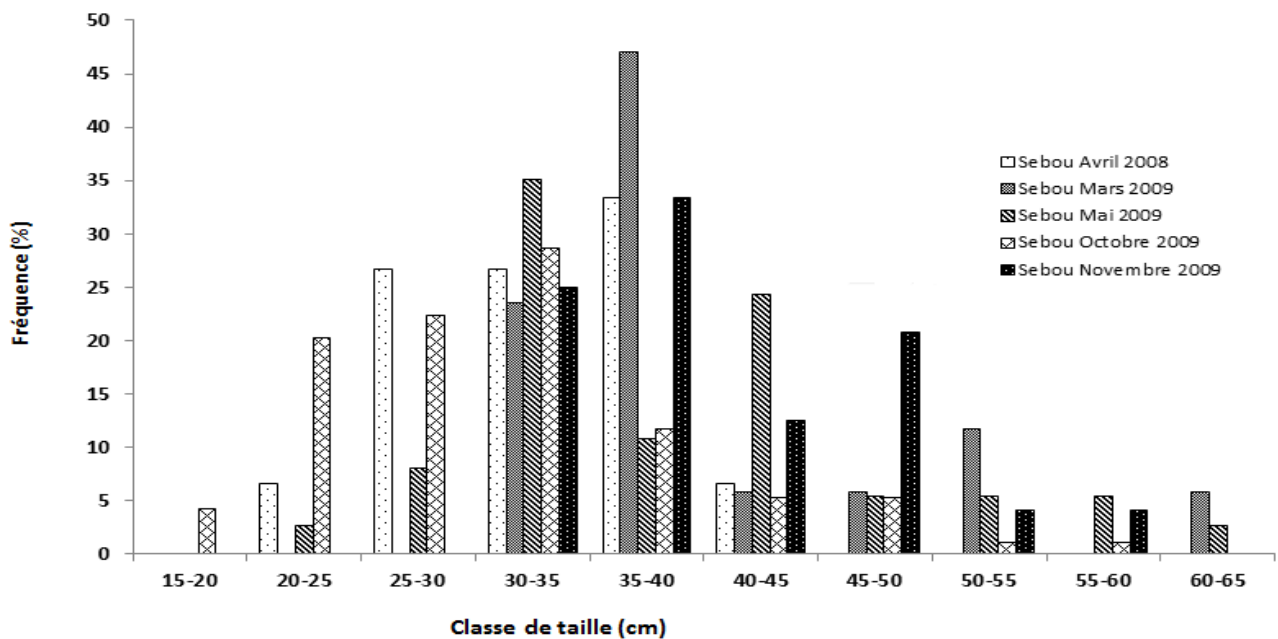


Figure 24 : Distribution des tailles des anguilles du Sebou (2008-2009)

**Tableau X:** Distribution des longueurs des populations d'anguilles étudiées.

Groupe de taille	Populations du Loukkos		Populations du Sebou	
	2008 N=63	2009 N=67	2008 N=35	2009 N=172
(I) L≤20 cm (%)	12,69	1,49	2,85	2,41
(II) 20<L≤40 cm (%)	57,14	59,70	94,28	72,67
(III) L>40cm (%)	30,17	30,81	2,87	24,92

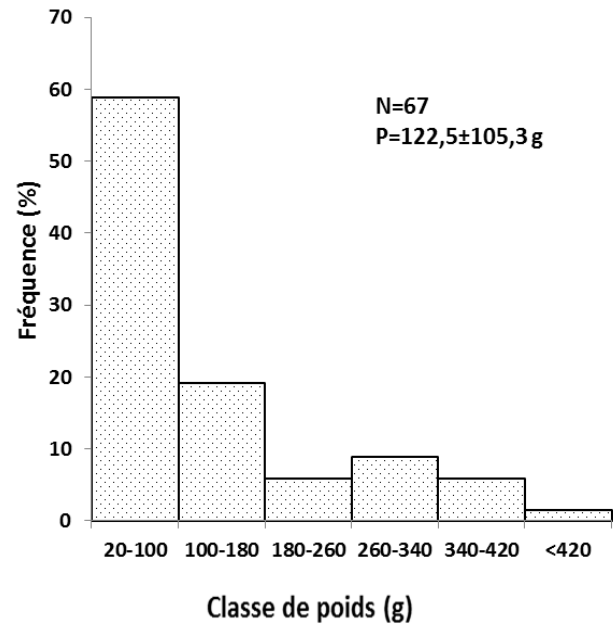
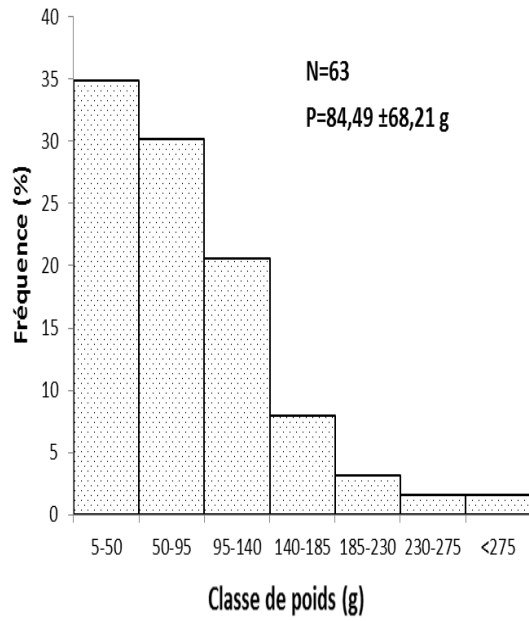
### III.1.2. Classe de poids

La distribution des classes de poids des anguilles du Sebou et Loukkos avec leurs moyennes, écart-types sont présentés dans la figure 25. Selon cette figure, nous pouvons remarquer une très nette dispersion des poids des anguilles des deux sites étudiés.

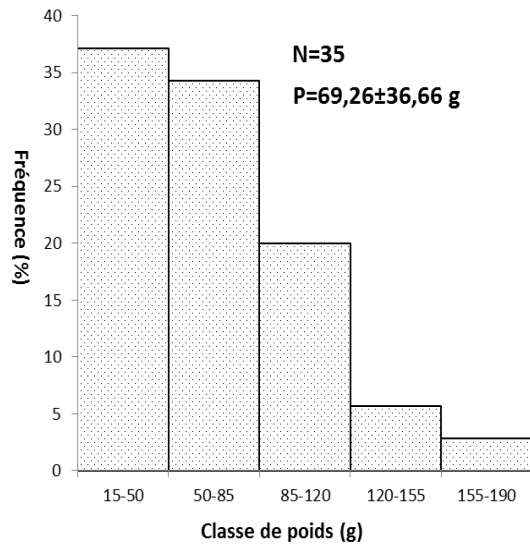
Les histogrammes de poids sont établis après regroupement des mensurations en classes de poids de 5g pour les populations d'anguilles du Sebou et du Loukkos (Figure 26 et 27). L'analyse des histogrammes nous permet de subdiviser les anguilles en cinq groupes. Le tableau X montre une prédominance du groupe II des anguilles de poids entre 20 et 150g.

Ce groupe constitue 38,20% (2009) des anguilles du Sebou et 36,50% des anguilles récoltées du Loukkos (2009).

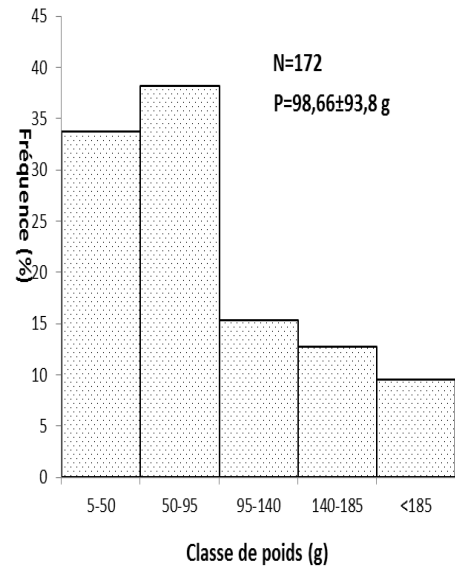
Le poids de l'anguille la plus petite est de 4,35 g de la population du Loukkos et celle du poids le plus grand est trouvée chez les individus du Loukkos avec 556,42 g pour la population du Sebou est de 550,85 g. le poids moyen de la population du Sebou est de 93,69 g alors que celui du Loukkos est de l'ordre de 104,82g. Nous notons pas de différence significative entre les deux moyennes. Les deux populations sont caractérisées par la dominance des individus de poids moyen.



**Loukkos 2008**



**Loukko 2009**



**Figure 25:** Variation annuelle des classes de poids (g) des anguilles du Loukkos et du Sebou (2008-2009).

**Sebou 2008**

**Sebou 2009**

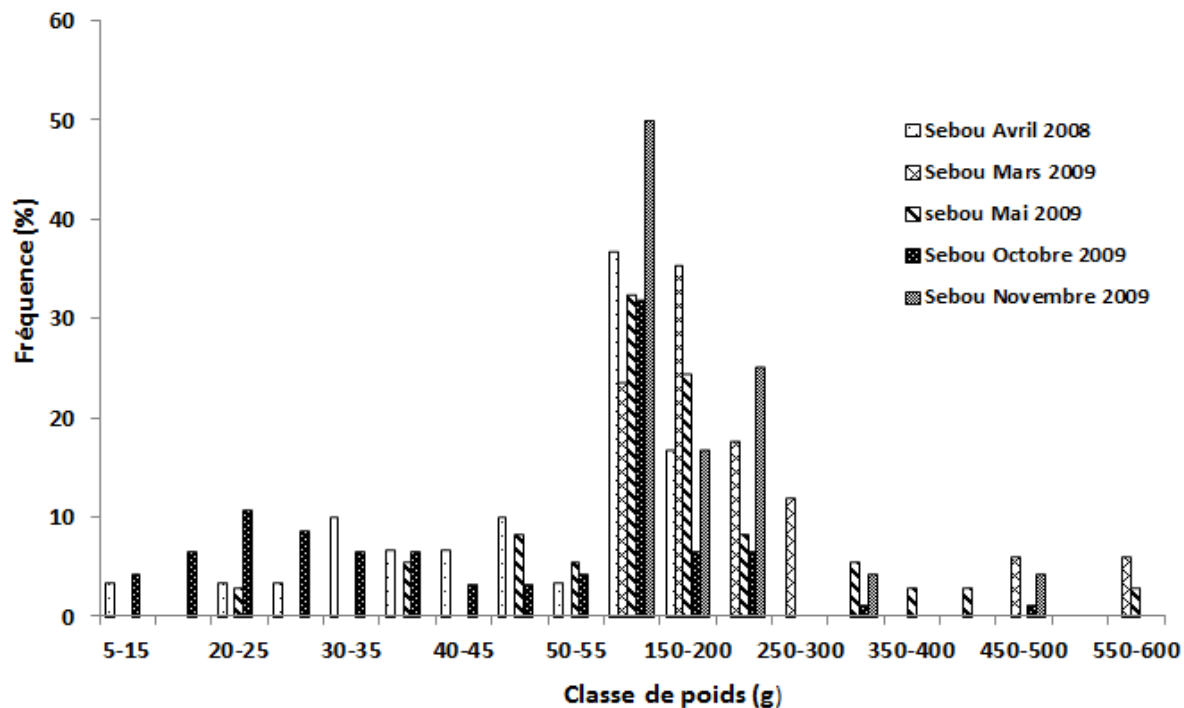


Figure 26 : Distributions des classes de poids des anguilles du Sebou 2009.

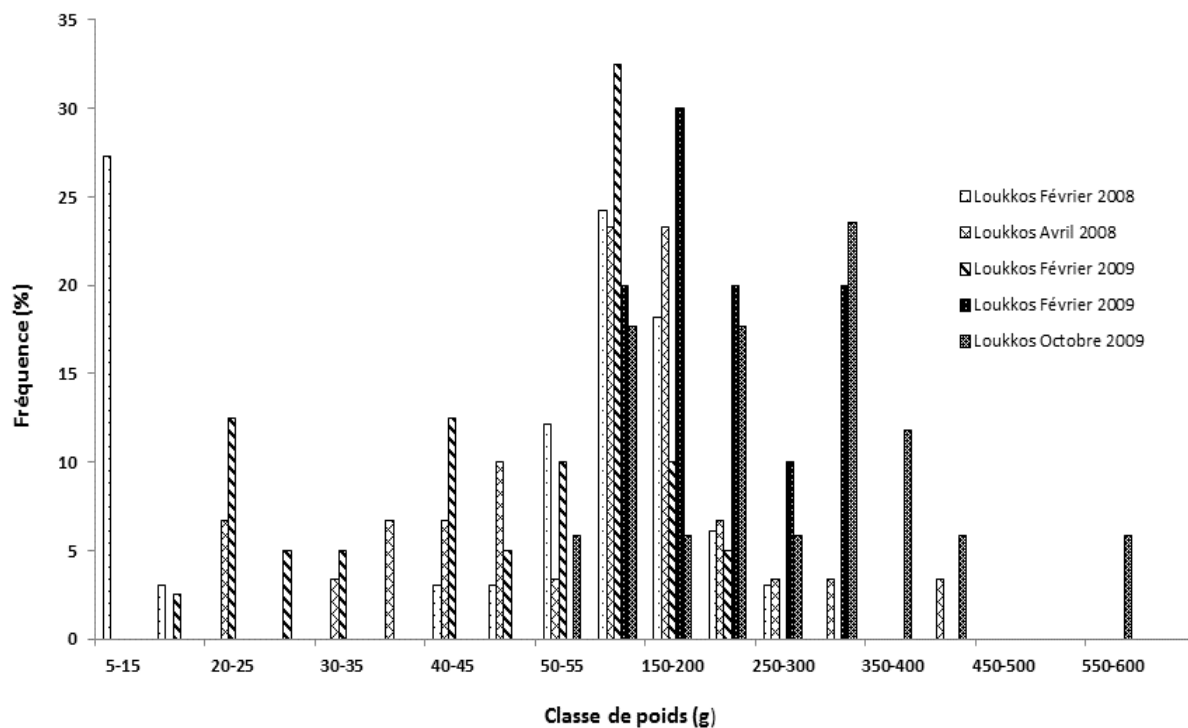


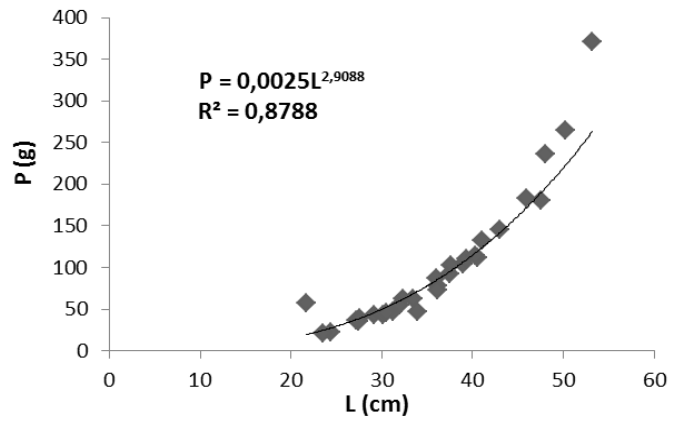
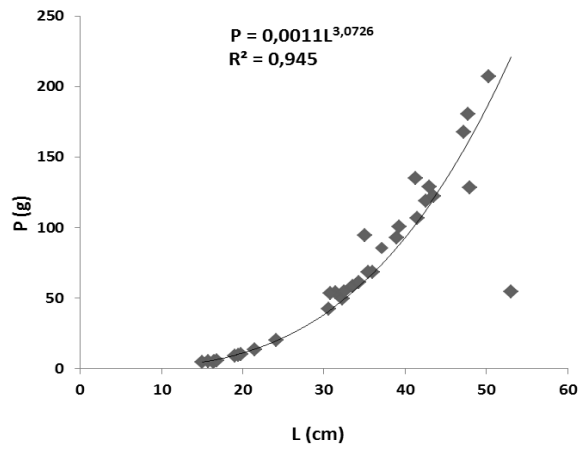
Figure 27 : Distributions des classes de poids des anguilles du Loukkos

**Tableau XI** : Distribution des poids d'anguilles étudiées.

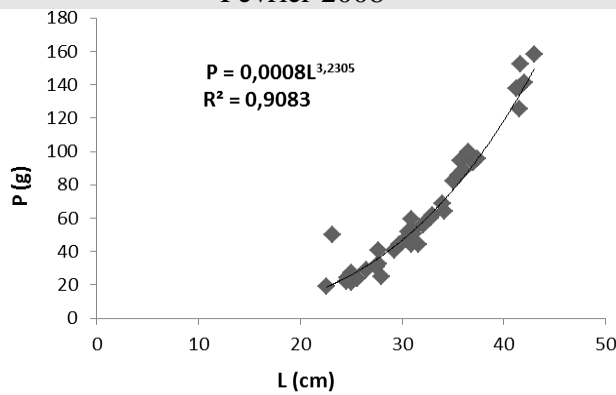
Groupe de poids	Populations du Loukkos		Populations du Sebou	
	2008 N=63	2009 N=67	2008 N=35	2009 N=172
(I) P≤50 g (%)	34,92	25,37	37,14	26,74
(II) 50<P≤100 g (%)	31,74	36,50	48,58	38,20
(III) 100<P≤200 g (%)	26,98	22,38	14,28	26,52
(IV) 200<P≤300 g (%)	4,78	9,78	0,00	3,48
(V) P>300 g (%)	1,58	5,97	0,00	5,06

### III.1.3. Relation taille-poids

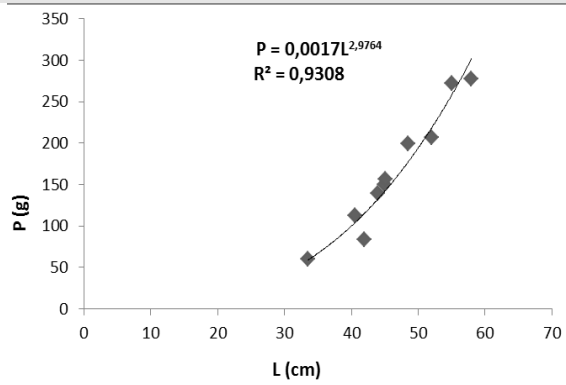
Les variations du poids en fonction de la longueur sont exprimées le plus souvent par l'équation:  $W = a L^b$  où W: le poids et L: longueur, a et b: constantes. La constante «a» représente la condition ou l'embonpoint du poisson et la constante «b» traduit le taux d'allométrie. Les figures (28 et 29). La distribution du poids en fonction de la longueur s'exprime de façon exponentielle. Le taux d'allométrie :  $b > 3$ , ce qui signifie que le poids augmente plus vite que le cube de la longueur, la population étudiée a une allométrie majorante. Le poids croit proportionnellement plus vite que le cube de la longueur. Ceci est noté pour les deux populations.



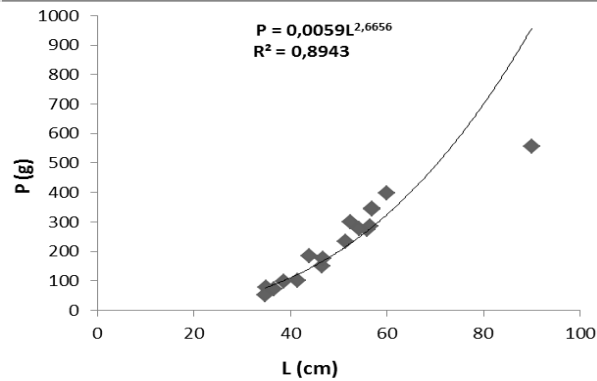
Février 2008



Avril 2008



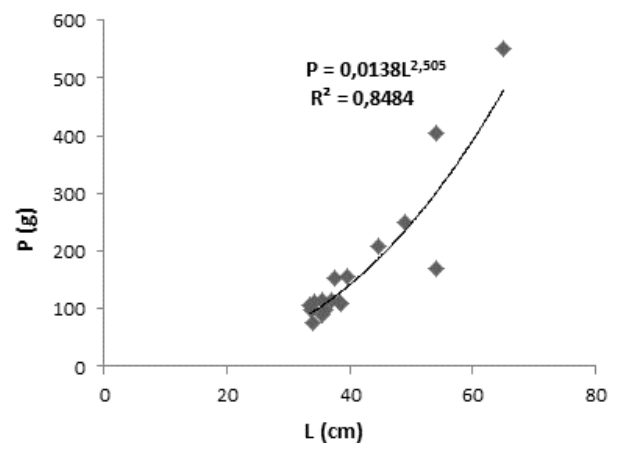
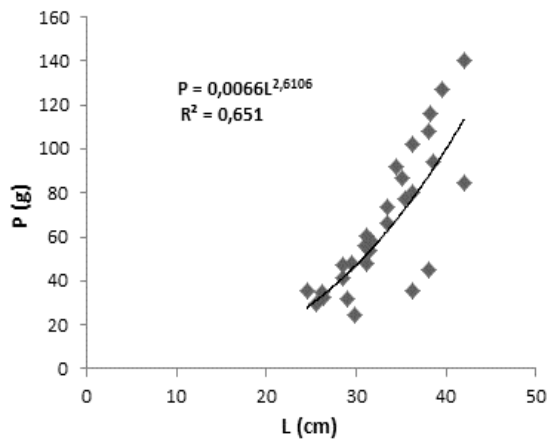
Février 2009



Mai 2009

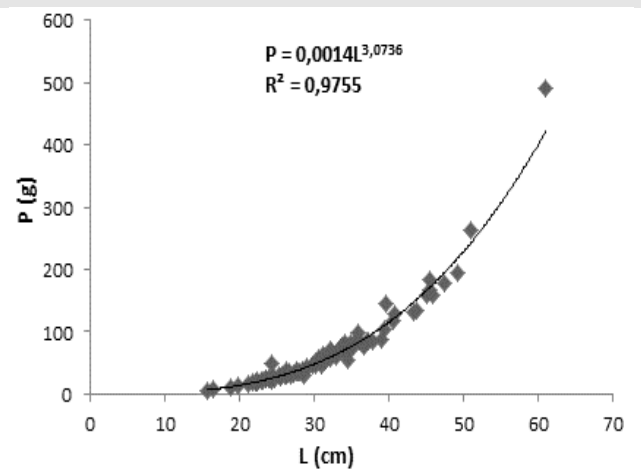
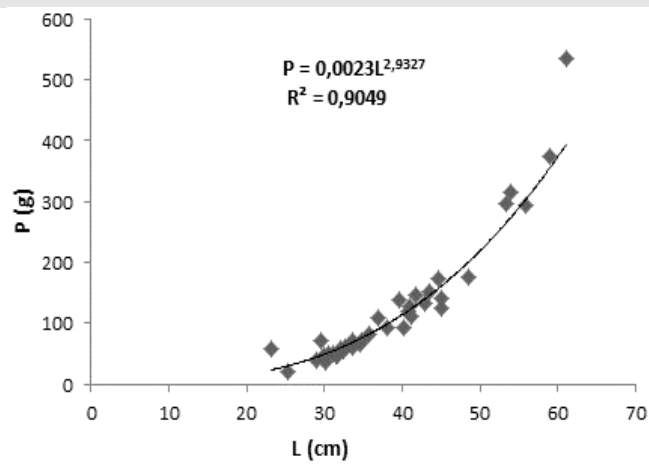
Octobre 2009

**Figure 28** : Variation saisonnière de la corrélation entre la longueur (L) et le poids (P) des anguilles capturées à l'estuaire du Loukkos.



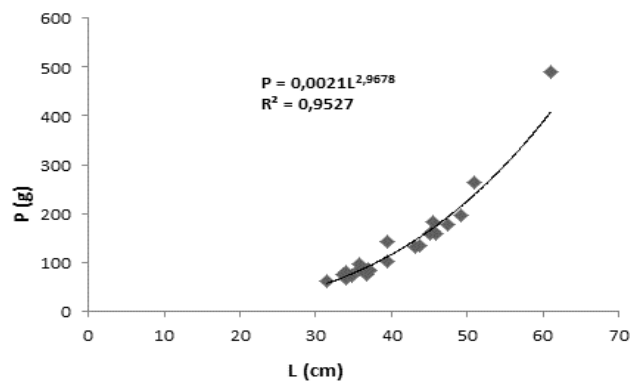
Avril 2008

Mars 2009



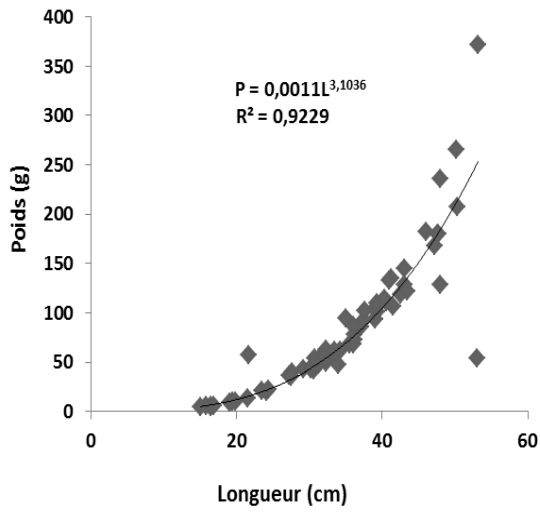
Mai 2009

Octobre 2009

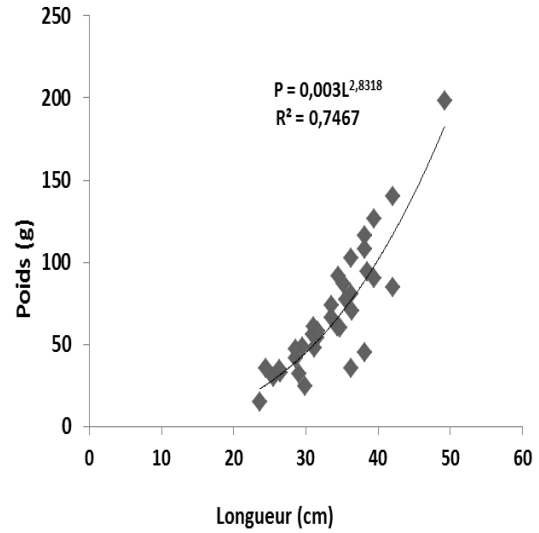


Novembre 2009

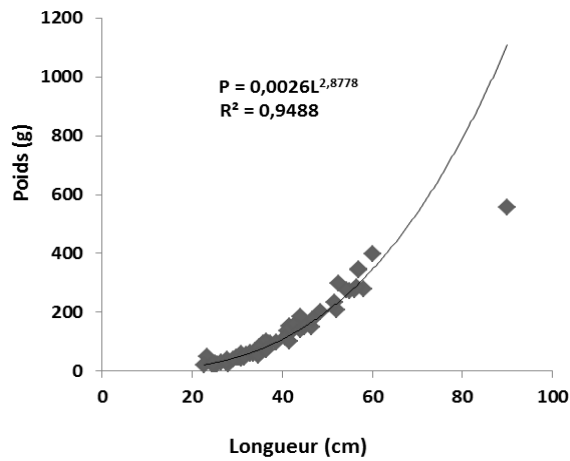
**Figure 29** : Variation saisonnière de la corrélation entre la longueur (L) et le poids (P) des anguilles capturées à l'estuaire du Sebou.



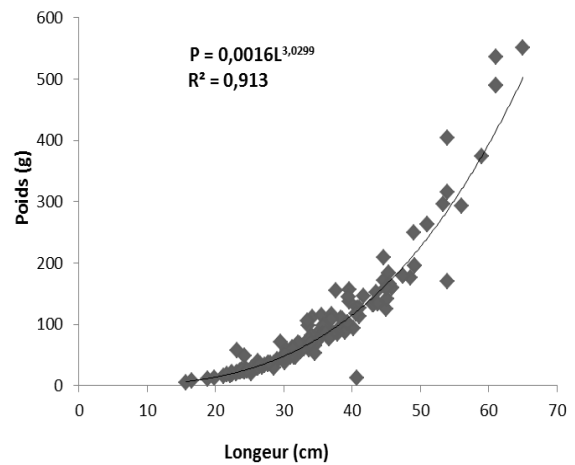
**Loukkos 2008**



**Sebou 2008**



**Loukkos 2009**



**Sebou 2009**

**Figure 30 :** Variation annuelle de la corrélation entre la longueur (L) en cm et le poids (P) en gramme des anguilles capturées à l'estuaire du Loukkos et du Sebou.

### III.2.Variation du coefficient de condition (Kc)

Le facteur ou coefficient de condition Kc est défini par le rapport entre le poids et la taille du poisson. Il est donné par la formule de Postel (1973) :

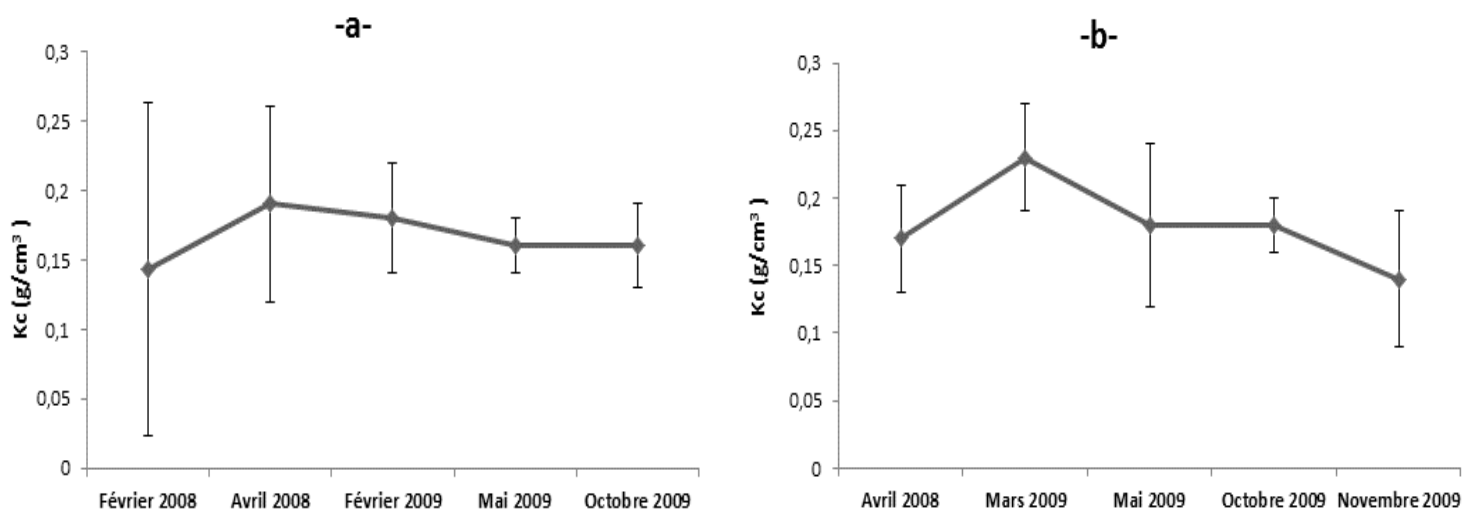
$$Kc = 100 W/L^3 \text{ où } W : \text{ Poids en gramme ; } L : \text{ Longueur en centimètre.}$$

Ce coefficient de condition ou d'embonpoint permet d'apprécier les variations morphologiques en rapport avec l'état physiologique des individus et les conditions écologiques (température, salinité, ...) aux quelles les populations sont soumises.

La variation des coefficients de condition des différentes anguilles pêchées dans les deux estuaires est illustrée dans les graphes suivants (Figure 31).

Chez les anguilles du Sebou le coefficient kc évolue entre 0,14 et 0,23 avec une moyenne de  $0,18 \pm 0,02$ . Alors que chez celles du Loukkos, Kc est entre 0,14 et 0,19 avec une moyenne de  $0,17 \pm 0,01$ .

La moyenne de Kc est presque la même chez les deux populations (Loukkos et Sebou). Cependant en Mai, on note une diminution de ce facteur chez les populations des deux sites.



**Figure 31** : Variation du coefficient de condition Kc des échantillons d'anguilles du Loukkos (a) et du Sebou (b).

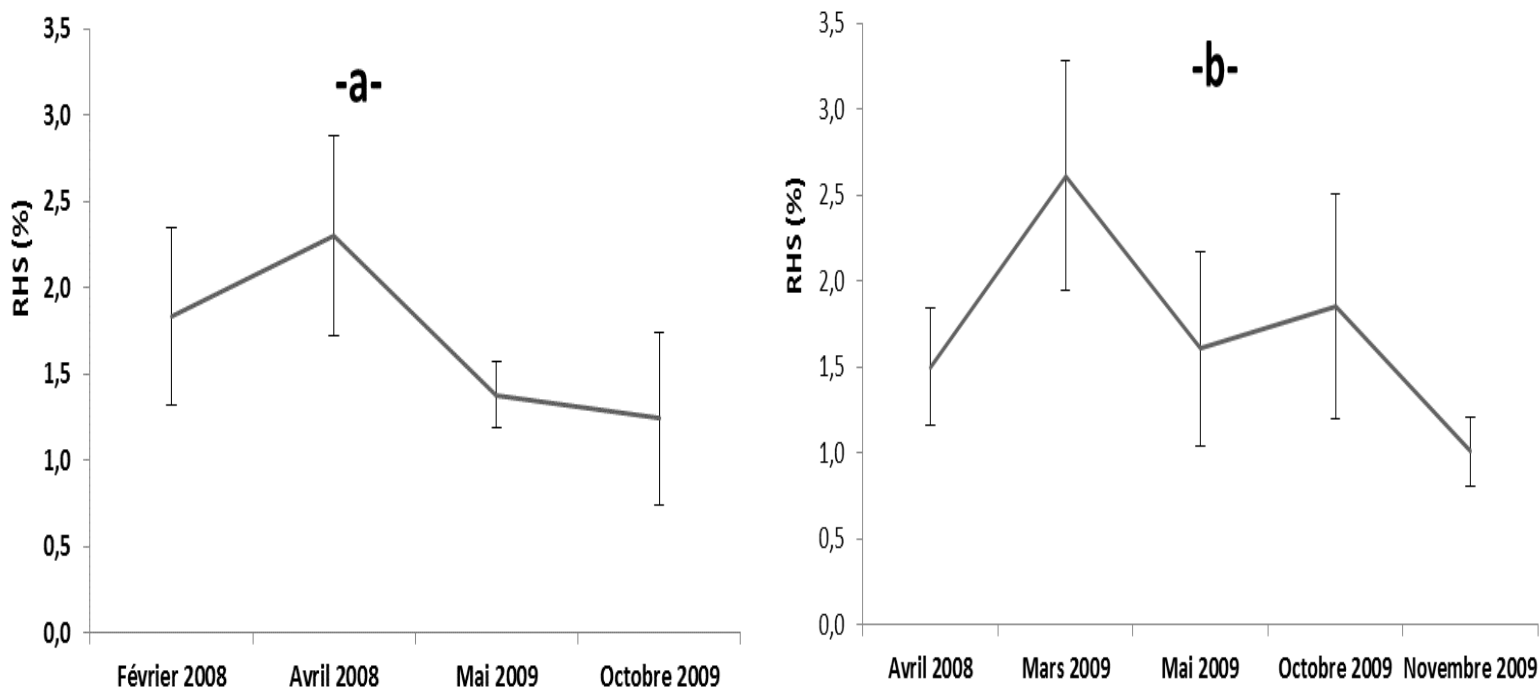
### III.3.Variation du coefficient hépatosomatique (RHS)

Le poids hépatique (F) de chaque anguille a été pesé, au mg près, à l'aide d'une balance électronique de précision "SARTORIUS". A partir du poids hépatique (F en g) et du poids corporel (W en g) on calcule le rapport hépatosomatique, en pourcentage, qui s'écrit:

$$\text{RHS} = \text{F/W} \times 100.$$

Les variations de ce paramètre est présenté dans la figure 32 (a et b) selon les sites et les saisons de pêche.

D'après ces résultats, on constate que le coefficient hépatosomatique fluctue légèrement selon les saisons. Avec une valeur maximale de 2,61% détectée à Sebou en Mars, alors qu'à Loukkos le RHS le plus élevé est de 2,30% calculé en Avril 2008. La valeur minimale est observée chez les anguilles du Sebou avec un RHS de 1,01%. Lorsque le poids du foie augmente le RHS diminue.



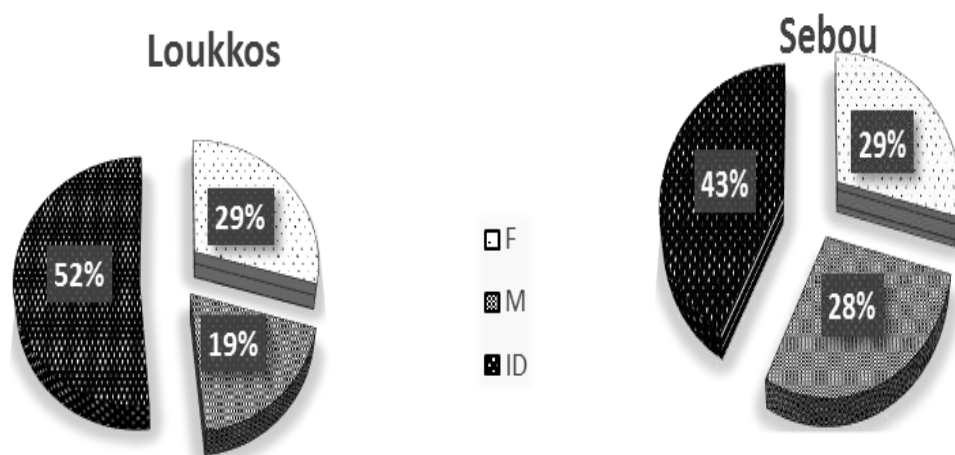
**Figure 32 :** Variation du facteur hépatosomatique (RHS en %) des anguilles du Loukkos (a) et du Sebou (b)

### III.4. Sex-ratio des populations d'anguilles

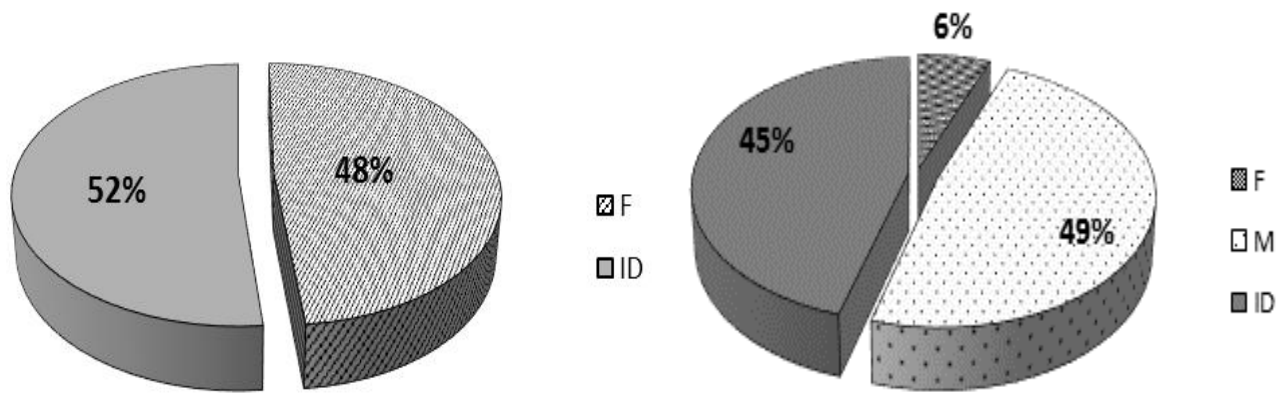
La différenciation sexuelle chez les anguilles est tardive, elle ne se produit qu'à partir d'un âge de deux à trois ans selon les sites. Cette détermination du sexe n'est possible qu'à partir d'une taille de 30 cm pour l'ensemble de ces populations. La figure 33 présente les différents pourcentages des anguilles selon leur sexe (en cas de leur différenciation).

Chez les anguilles du Loukkos (Figure 33), sur les 130 individus, nous avons distingués 38 femelles soit un pourcentage de 29,23% et 25 mâles (19,23%) soit un sex-ratio de 0,65 et le reste des individus soit 52% sont encore indifférenciés. Alors que pour les anguilles du Sebou, sur les 207 anguilles, nous avons trouvé 60 femelles (29%) et 59 mâles (28%) soit un sex-ratio de 0,98 et le reste des anguilles indifférenciées présentent 43%.

Les populations des anguilles du Loukkos est caractérisée par la prédominance des femelles alors que celles du Sebou est caractérisée par un sex-ratio équilibré.

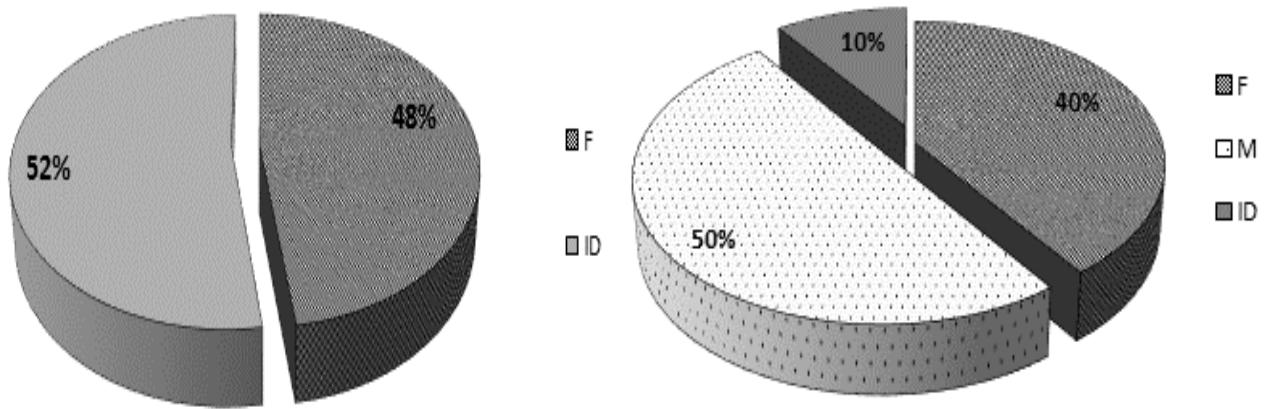


**Figure 33** : Pourcentage total des anguilles indifférenciées (ID), mâles (M) et femelles (F) dans les estuaires du Loukkos et Sebou.



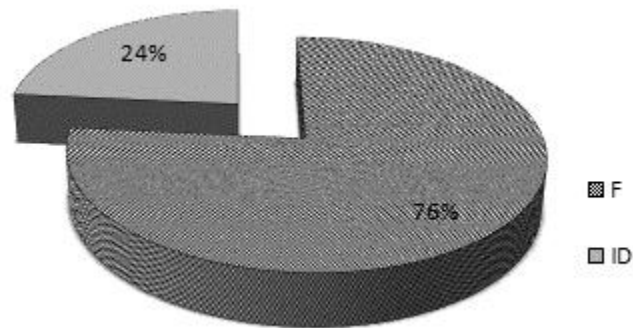
Février 2008

Avril 2008



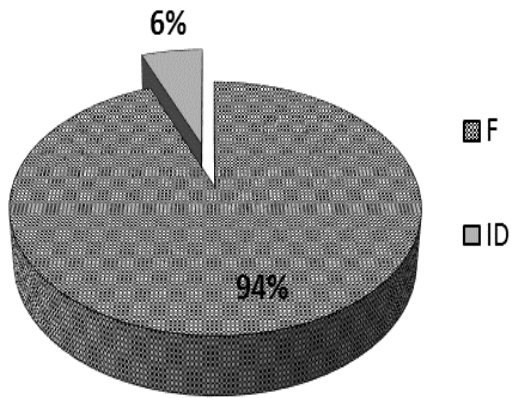
Février 2009

Mai 2009

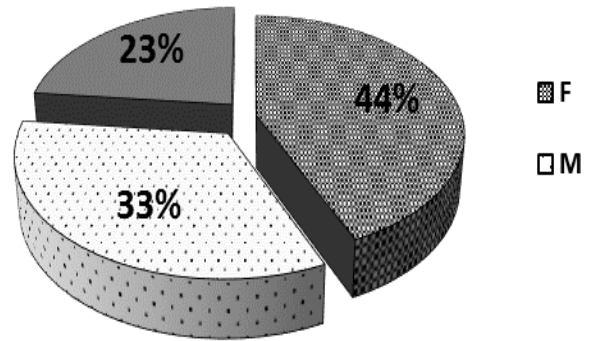


Octobre 2009

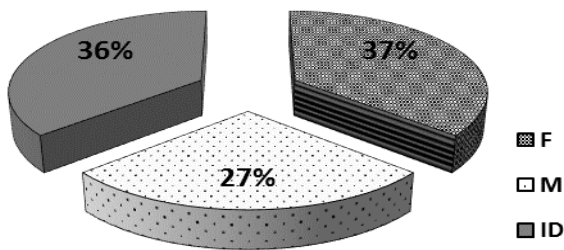
**Figure 34 :** Pourcentage des anguilles indifférenciées (ID), mâles (M) et femelles (F) du Loukkos (2008-2009)



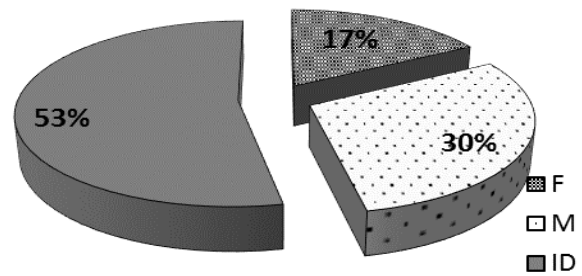
Mars 2009



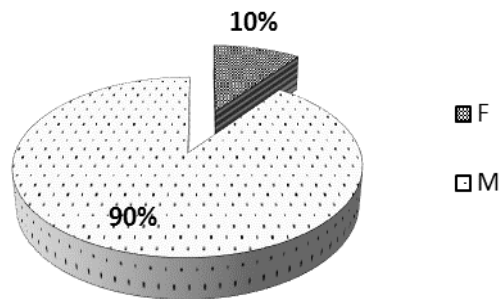
Avril 2008



Mai 2009



Octobre 2009



Novembre 2009

**Figure 35 :** Pourcentage des anguilles indifférenciées (ID), mâles (M) et femelles (F) du Sebou (2008-2009)

### III.5. Âge des populations d'anguilles

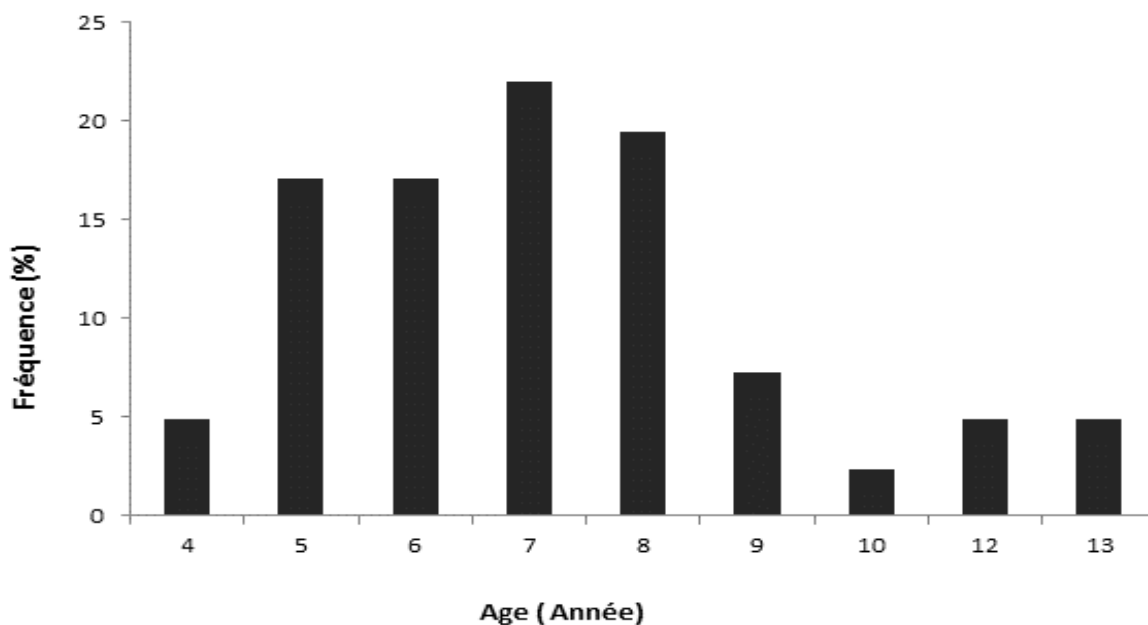
Les otolithes de 202 anguilles prélevées ont été extraits. Puis ils ont été préparés suivant la méthode décrite auparavant (clivage et brûlage des sagitta).

La détermination de l'âge repose sur la lecture des otolithes et l'interprétation des stries observées. Néanmoins, l'apparition de discontinuité dans la structure de l'otolithe, stries surnuméraires, rend parfois cette lecture difficile.

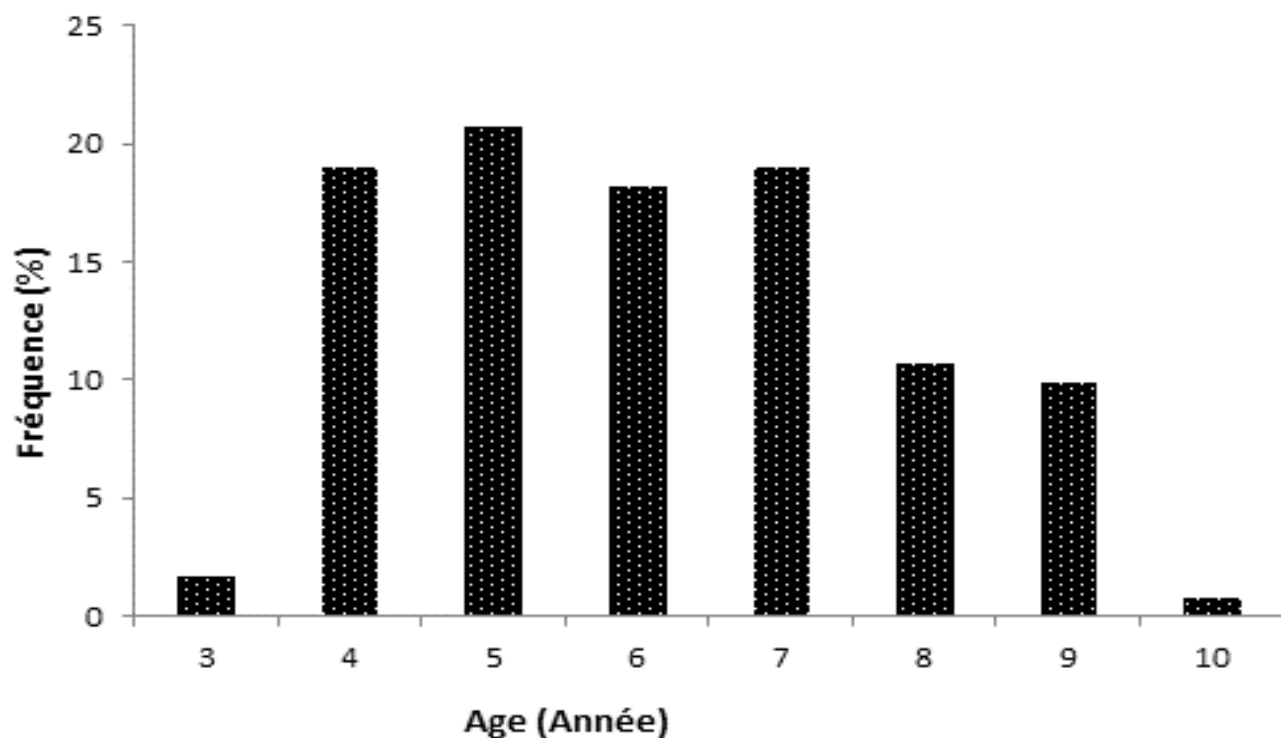
Les résultats obtenus montrent que l'âge des anguilles des deux sites étudiés varie entre 3+ et 13+ ans.

Chez les anguilles du Sebou, l'âge varie entre 3 et 10 ans avec une moyenne de  $6 \pm 1,66$  ans. Alors que pour celles du Loukkos, l'âge varie entre 4 et 13 ans avec une moyenne de  $7 \pm 2,21$  ans.

A partir des données (Figure 36 et 37), nous remarquons que les anguilles du Loukkos âgées de 8 ans sont les plus représentées avec un pourcentage de 19,5%, alors que chez celles du Sebou, la classe la plus représentée est âgée de 5 ans avec un pourcentage de 20,7%.



**Figure 36 :** Distribution de l'âge chez les anguilles du Loukkos



**Figure 37** : Distribution de l'âge chez les anguilles du Sebou

### III.6. Relation âge-longueur totale des anguilles

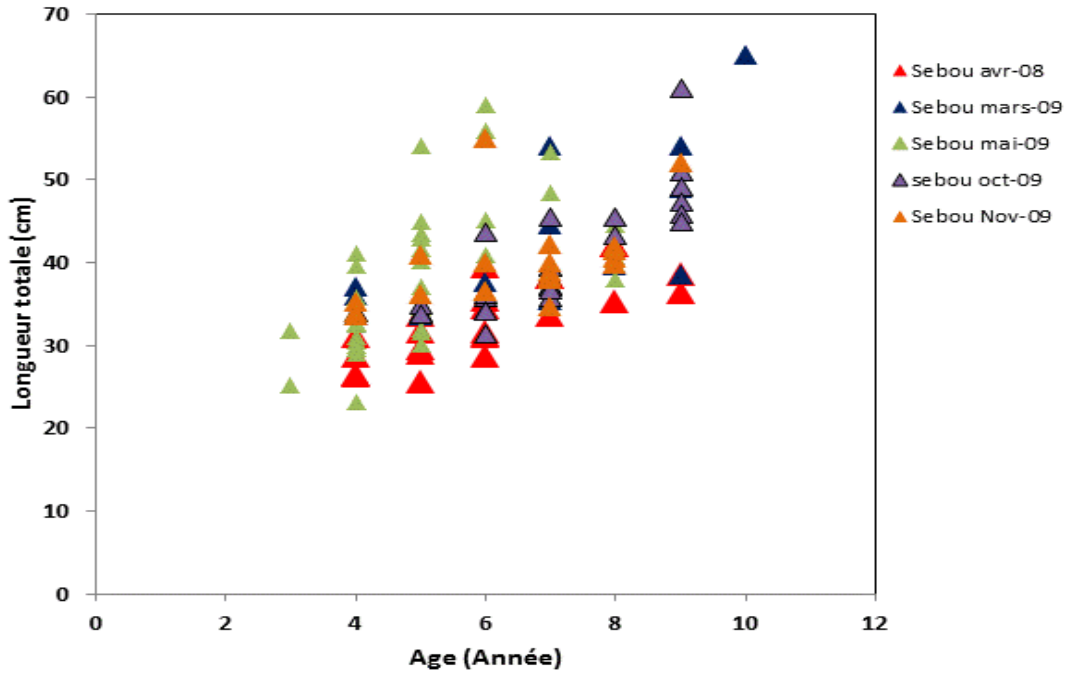
Pour toute caractérisation biologique d'une espèce de poisson, il est utile d'analyser la croissance des anguilles en fonction de l'âge.

D'après les données des figures (38, 39, 40), nous remarquons que la longueur totale des anguilles évolue avec l'âge des populations d'anguilles de chaque site. Cependant, cette évolution n'est pas toujours croissante. Nous trouvons des anguilles de grand âge avec une faible croissance en longueur.

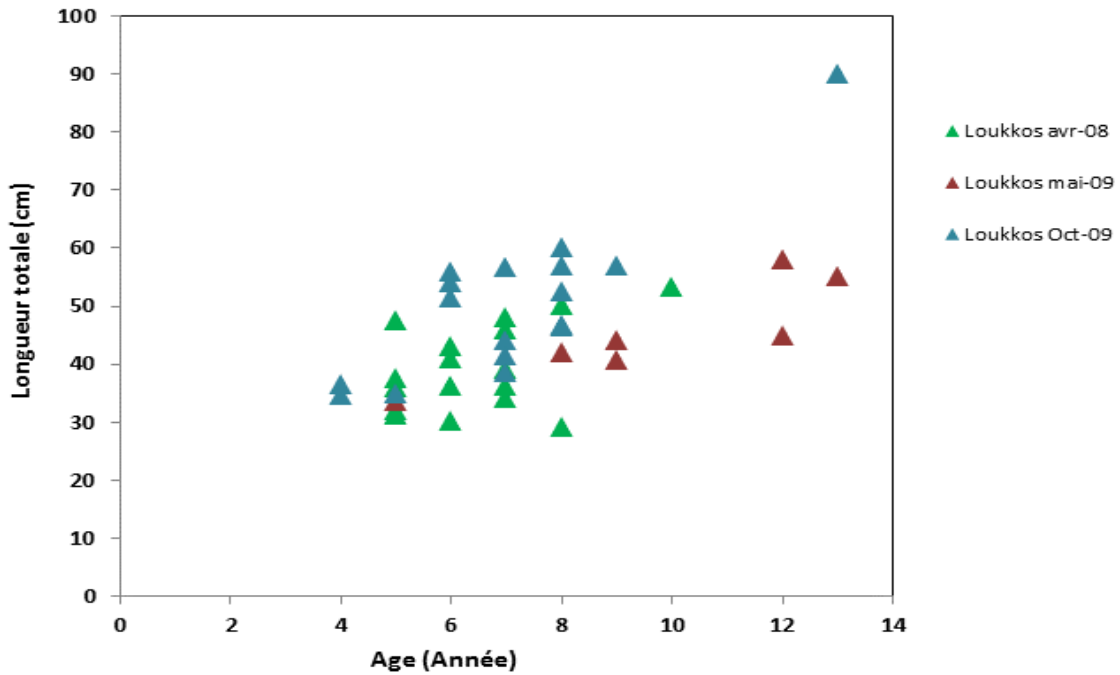
Cependant la corrélation entre la longueur et l'âge était faible (Figure 41) avec un facteur de corrélation  $r$  de 0,42.

Selon les années (Figure 42), nous constatons que les anguilles du Loukkos présentent une variation annuelle. En 2008, les anguilles de ce site sont d'un âge moyen de 6 ans alors que celles pêchées en 2009, elles sont d'un âge moyen de 8 ans.

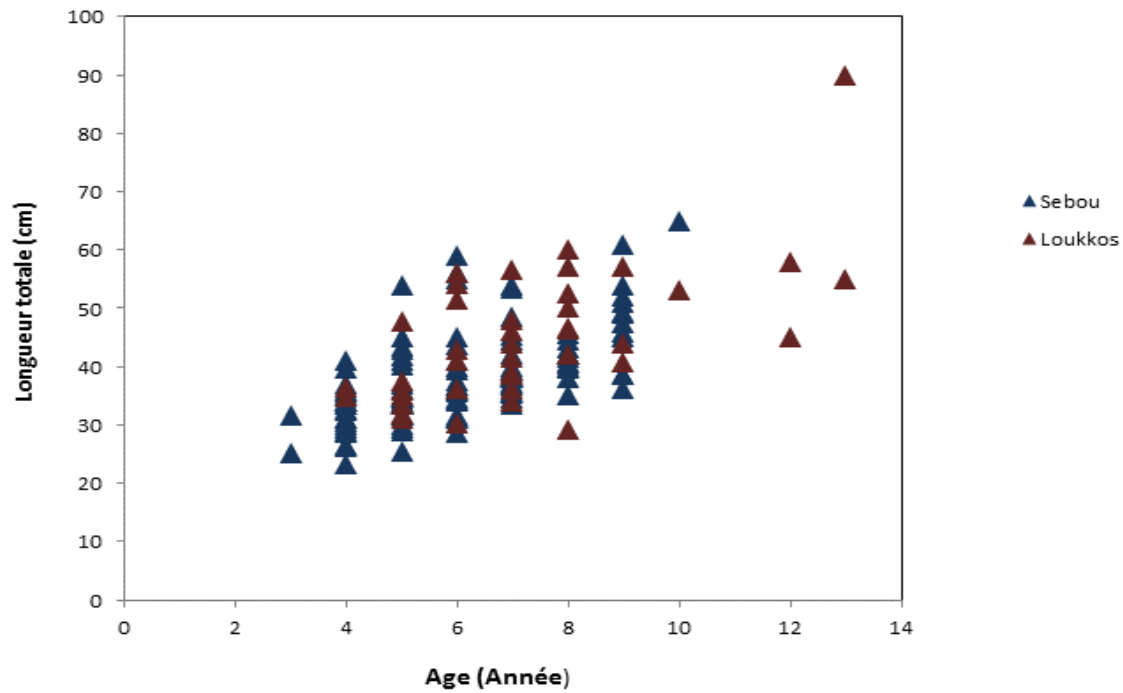
Cependant, pour les anguilles du Sebou, nous remarquons qu'il n'y a pas de différence interannuelle. En effet, l'âge moyen calculé est de l'ordre de 6 ans. Les anguilles du Loukkos sont plus âgées que celle du Sebou.



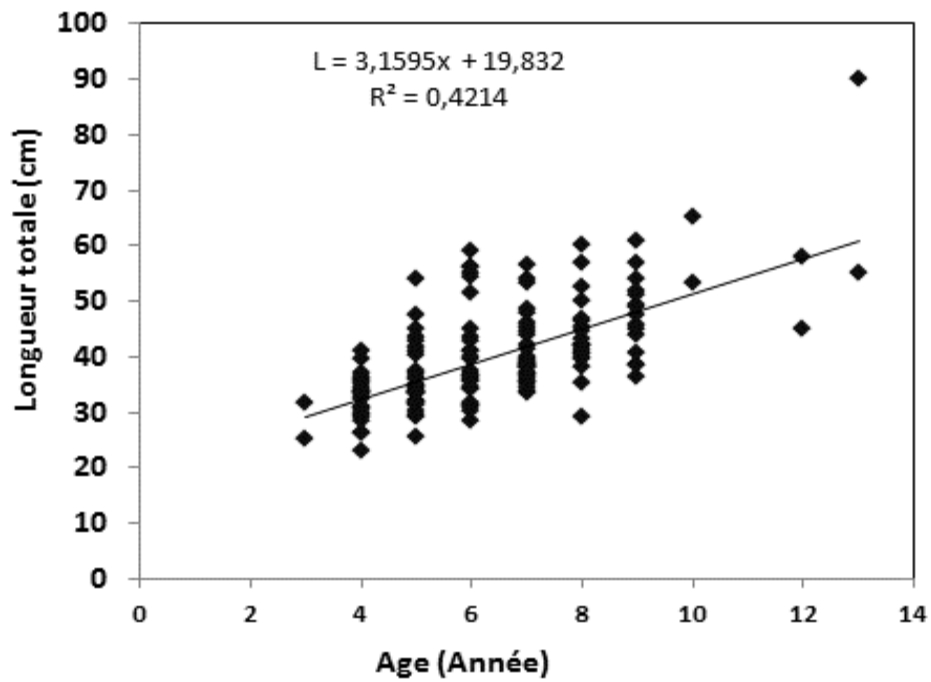
**Figure 38:** Variation de la longueur totale à l'âge des anguilles selon les campagnes à Sebou



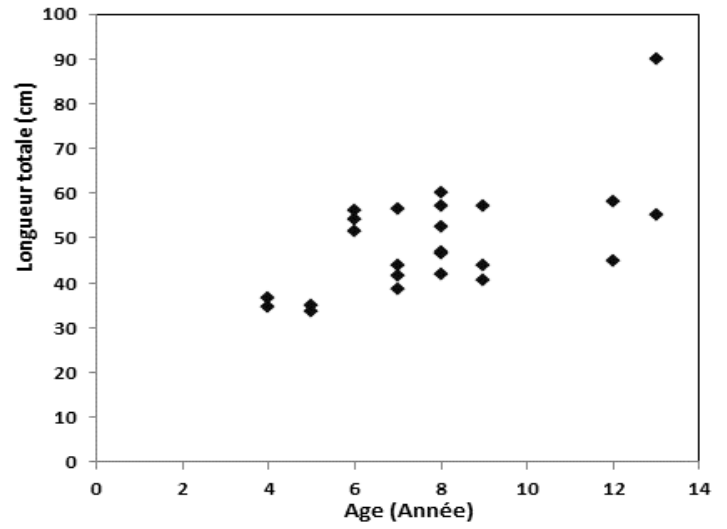
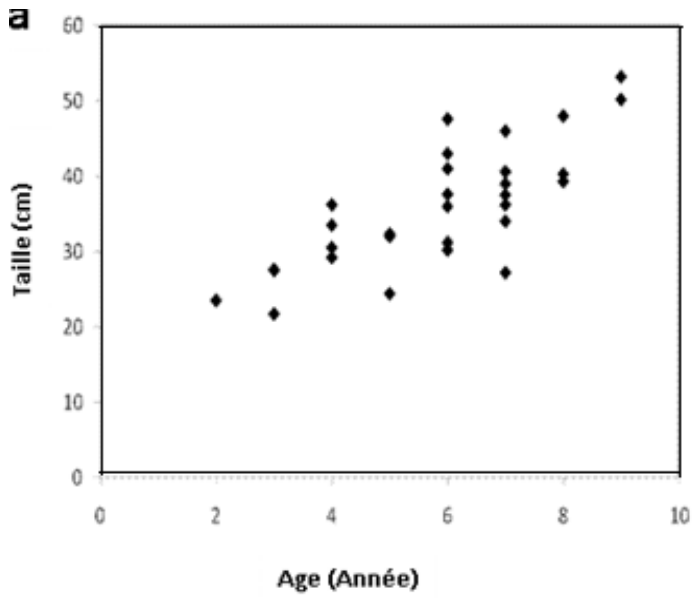
**Figure 39 :** Variation de la longueur totale à l'âge des anguilles selon les campagnes au Loukkos



**Figure 40:** Longueur totale (cm) aux âges en fonction du site d'échantillonnage

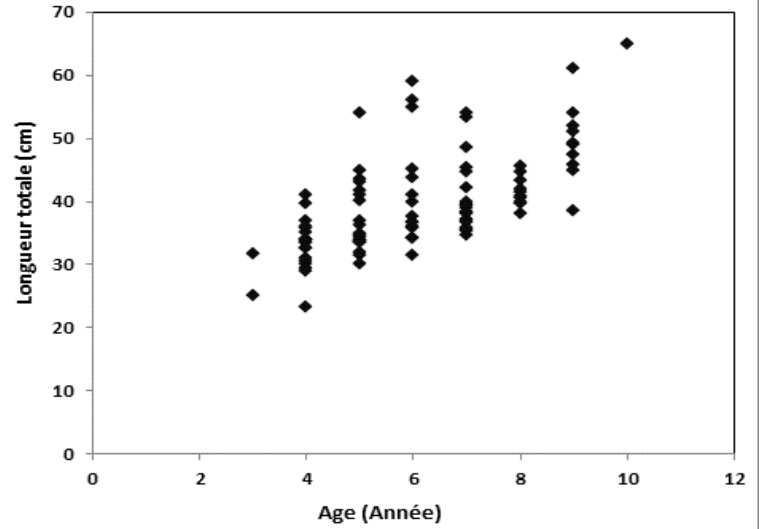
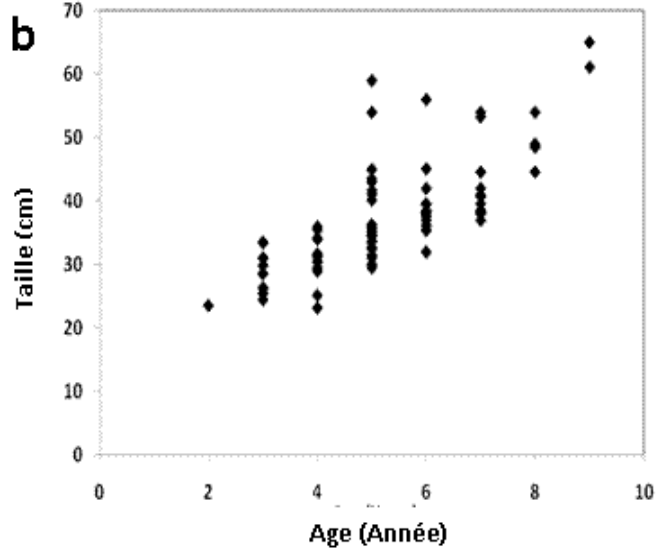


**Figure 41 :** Variation de la longueur au total d'anguilles en fonction de leur âge (N=202)



2008

2009



2008

2009

**Figure 42** : Variation de l'âge des anguilles selon leur longueur (cm) dans les estuaires du Loukkos (a) et du Sebou (b) en 2008 et 2009

## **IV. DISCUSSION ET CONCLUSION**

### **IV.1. Biométrie et sex-ratio**

Les populations des anguilles du Sebou et du Loukkos sont constituées par des individus appartenant à la classe des tailles moyennes entre 20 et 40 cm.

Concernant le poids, il n'y a pas de différence significative entre les deux sites. Nous remarquons la prédominance des anguilles de poids moyen, de 50 à 200g. Et l'âge correspondant à cette classe varie entre 3 et 9 ans.

En 1991, Yahyaoui a trouvé que les populations des anguilles du Sebou sont représentées surtout par les individus de petite taille. Ceci, montre que la dynamique de la population des anguilles dans cet estuaire a changé.

Dans les milieux estuariens et côtiers, la croissance est forte. Ceci implique que la taille de l'argenture est rapidement atteinte dans les eaux douces.

La croissance des anguilles des deux sites est exponentielle et majorante. Elle est traduite par un taux d'allométrie supérieur à 3. Le poids croit plus vite que la longueur. Ces résultats sont en accord avec ceux de Yahyaoui (1991) ; Zouhir (2006) et El Hilali (2007).

Dans nos échantillons, les anguilles femelles sont dominantes dans l'estuaire du Loukkos, alors que dans l'estuaire du Sebou, nous constatons une égalité entre les deux sites.

### **IV.2. Facteur de condition (Kc) et rapport hépatosomatique (RHS)**

#### Facteur Kc

Le facteur de condition est un indicateur de la qualité de la croissance des populations des poissons. Il décrit la qualité de croissance selon les conditions du milieu. Pour les anguilles cet indice est de 0,16 dans les bonnes normes (Bauchot, 1978).

Le facteur de condition Kc est presque le même dans les deux sites. Il est en moyenne de 0,18 à Sebou et de 0,17 à Loukkos.

De même on note une diminution de ce facteur chez ces deux populations en Mai, qui présente le début de la saison estivale (sèche) et qui est traduite par une croissance plus faible. Yahyaoui (1991) a trouvé un Kc de l'ordre de 0,18 chez les anguilles du Sebou. Même valeur trouvée dans ce travail. Ce qui suggère que les conditions de croissance des anguilles n'ont pas subi une grande fluctuation.

#### Facteur RHS

Concernant ce facteur lié au poids du foie des anguilles. Nous remarquons que les anguilles du Sebou présentent un RHS plus élevé que celle du Loukkos. Cependant, il n'y a pas de différence significative entre les deux sites.

### **IV.3. Relation âge-croissance des anguilles**

La croissance est certainement l'aspect de la biologie des poissons qui est le mieux connu, la variabilité de la croissance (individuelle ou annuelle) à l'intérieur des populations est également considérable (Philippart, 1975).

Chez les anguilles, la croissance présente une grande irrégularité. En effet, des anguilles de même taille et de poids peuvent appartenir à des groupes d'âge différents.

Ainsi, différents groupes d'âge se recouvrent les uns sur les autres (Mallawa, 1987 ; Yahyaoui, 1991).

Comme il est bien connu, les écailles de l'anguille apparaissent tardivement et d'une manière asynchrone (Lecomte-Finiger, 1983), aussi leur utilisation reste un critère non fiable. La lecture des otolithes, reste l'ultime possibilité pour la détermination de l'âge des anguilles. Mais, à cause de l'apparition de stries surnuméraires (dûes à des mauvaises conditions de croissance), la lecture devient difficile quelque soit la méthode utilisée (brûlage ou ponçage).

L'erreur de lecture devient grande, ce qui suggère de faire plusieurs lectures afin de minimiser le risque d'erreur. Les mauvaises conditions de croissance peuvent être de plusieurs types : conditions de stress (Campana et Nielson, 1985), fluctuations anormales de la température (Liew, 1974)...

En conclusion, l'étude de la dynamique des anguilles du Sebou et du Loukkos ne montre aucune différence significative. La croissance est exponentielle et majorante.

La classe moyenne des tailles et des poids est la plus représentée chez les populations des deux sites. L'âge des anguilles est variable de 3 à 13 ans selon les sites. L'âge moyen est de 6 ans pour tous les échantillons d'anguilles étudiées.

# Chapitre III

**CONTAMINATION ET BIOACCUMULATION**

**METALLIQUE CHEZ L'ANGUILLE (*A. ANGUILLA*)**

## INTRODUCTION

Les écosystèmes aquatiques sont susceptibles de recevoir et d'accumuler des contaminants (Ahmad *et al.*, 2006). En particulier les métaux lourds qui ont été identifiés comme une cause générale de la détérioration des écosystèmes aquatiques au cours des dernières décennies (Benasser *et al.*, 1996; Tahiri *et al.*; 2005 ; Dehn *et al.*, 2006 ; Sivaperumal *et al.*, 2007). Les organismes aquatiques comme les poissons peuplent ces écosystèmes et sont donc constamment exposés à des contaminations métalliques (Devez, 2004).

Les espèces de poissons comme l'anguille commune (*Anguilla anguilla*), passent leur phase de croissance au stade juvénile dans des habitats d'eaux douces et d'estuaires. Les principales voies d'exposition aux contaminants pour ce poisson sont l'eau, l'alimentation, les sédiments et la matière en suspension (Hardersen et Wratten, 1998 ; Fernandes *et al.*, 2007). L'impact de la pollution par les métaux lourds et d'autres composés chimiques dues aux activités anthropiques est d'un intérêt considérable et peut-être l'une des principales causes du déclin de l'espèce (Maes *et al.*, 2005).

L'anguille européenne est actuellement inscrite sur la liste rouge Helcom des espèces menacées et en déclin dans la mer Baltique (HELCOM, 2007). En outre, elle est classée comme une espèce menacée par la convention du commerce international des espèces menacées d'extinction (CITES) des espèces de faune et de flore dans la nature (FAO 2007 ; CITES 2008). Le recrutement de jeunes anguilles avait chuté à 1% de son niveau antérieur à la fin des années 1970 (ICES, 2003).

Cette espèce est devenue hors de la limite biologique depuis 1998. De ce fait, les mesures de sauvegarde doivent immédiatement être prises (Feunteun, 2002 ; Dekker, 2003 ; Maes, 2005 ; Boera, 2010 ; Geeraerts et Belpaire, 2010).

Du fait de son caractère benthique, ce poisson passe toute sa phase de croissance dans les eaux douces et saumâtres. En effet, c'est un bon modèle d'étude écotoxicologique. Il est utilisé pour évaluer l'impact des polluants, dans les écosystèmes aquatiques, y compris les métaux lourds (Barak et Mason, 1990 ; Bruslé, 1994 ; Gunkel, 1994 ; Sures *et al.*, 1994 ; Robinet et Feunteun, 2002 ; Zimmermann *et al.*, 2004 ; Klavins *et al.*, 2009).

Les anguilles sont également intéressantes pour la surveillance de la qualité de l'eau. Car, ces poissons sont tolérants à une large gamme de conditions environnementales. Telles que les variations de la disponibilité de l'oxygène, les déchets et la salinité (Tesch, 1977).

Le Maroc est la limite sud de répartition de l'anguille, celle-ci est située à 28 ° N, à la rivière D'raa (Qninba *et al.*, 2011). Ce qui signifie que cette source encourt des dangers qui la rend extrêmement vulnérable. En l'absence de mesures de protection des anguilles au Maroc, cette espèce de poisson pourrait probablement disparaître comme la grande alose (*Alosa alosa*) des eaux continentales marocaines.

Dans les écosystèmes aquatiques marocains, l'anguille a une grande importance, en particulier les estuaires du Sebou et du Loukkos. Ces sites sont parmi les écosystèmes les plus pollués au pays (Koukal *et al.*, 2004 ; Yahyaoui *et al.*, 2006).

La chair du poisson *Anguilla anguilla* est très appréciée en Europe et certaines régions d'Asie de l'Est. Tandis qu'au Maroc, la consommation de ce poisson (anguille jaune et argentée) est faible et le coût est estimé à 30 DH/kg. Les civelles et les anguillettes sont strictement destinées à l'exportation. En effet, presque toute la production de la chair d'anguille est basée sur l'aquaculture des civelles et des jeunes anguilles sauvages capturées.

Au Maroc, les civelles sont moins valorisées par comparaison avec l'Europe. En effet, la valeur des prises de civelles est de 4000 DH/Kg dans notre pays. Alors qu'elle est très élevée dans le marché européen et peut atteindre 1000 € / Kg, soit 11000 DH/Kg.

Le travail de cette thèse vise l'évaluation du degré de contamination des anguilles par les métaux lourds au niveau des estuaires du Sebou (amont et aval) et du Loukkos.

Cette étude est réalisée pour la première fois au Maroc par Wariaghli *et al.* (2006, 2013) sur les anguilles à tous les stades (civelle, anguille jaune et argentée) suivi par El Morhit *et al.*, (2009).

L'analyse des concentrations en métaux lourds (cuivre, cadmium, chrome, plomb et le mercure) a été effectuée dans le foie, les branchies et le muscle des anguilles.

Par la suite nous avons comparé les concentrations trouvées dans les tissus chez ces poissons dans les deux sites d'étude. Nous avons réalisé ensuite, une corrélation entre la taille de l'anguille et le degré d'accumulation des métaux lourds dans les organes cibles.

## **I. GENERALITES SUR LA CONTAMINATION PAR LES METAUX LOURDS**

### **I. 1. Définition**

Les métaux sont des substances chimiques stables rémanentes peu ou pas biodégradables, ce qui explique leur persistance dans les écosystèmes, leur bioaccumulation ainsi que leur bioamplification ou biomagnification le long de la chaîne alimentaire (Ramade, 1992).

### **I. 2. Classification des métaux**

Les métaux peuvent être classés selon plusieurs critères :

#### **I. 2. 1. Densité**

Les métaux dits lourds ont une densité qui dépasse les 5 cm<sup>3</sup>/l. Les métaux dits légers ont une densité qui ne dépasse pas les 5 cm<sup>3</sup>/l.

Selon «The State Environmental Agency», le Béryllium (métal léger) et le Mercure (métal lourd) sont des métaux dangereux pour la santé humaine à faibles concentrations.

Cependant le Baryum, le Calcium, le Cuivre, le Plomb, le Manganèse, le Nickel, l'Etain, le Vanadium et le Zinc sont considérés, au moins à forte dose pour certains d'entre eux, comme nuisibles à la santé humaine et dont la présence dans le milieu environnant nécessite une surveillance (Duffus, 1980).

#### **I. 2. 2. Effet biologique**

Nous distinguons dans ce cas les oligoéléments essentiels et les métaux toxiques. La distinction entre les éléments des deux catégories est difficile.

La notion de toxicité est intimement liée à la dose limite. En effet, tous les métaux peuvent devenir toxiques s'ils sont incorporés à des concentrations supérieures à des seuils critiques spécifiques.

##### **I. 2. 2. 1. Métaux traces essentiels ou oligoéléments**

Ce sont des éléments essentiels à la vie à des concentrations moyennes ou faibles tels que : le Fer, le Zinc, le Cuivre, ...

Ils sont habituellement subdivisés en macro et micronutriments ; les premiers sont nécessaires à une concentration de l'ordre de 1 mg/l, par contre les autres le sont à une concentration très faible.

### **I. 2. 2. Métaux toxiques**

Ce sont des éléments chimiques de masses atomiques relativement élevées qui sont toxiques même à de faibles doses, surtout s'il y a un effet cumulatif par ingestion répétée de l'aliment parmi ces éléments : le Mercure, le Chrome, le Plomb, le Cadmium...

Chez les organismes aquatiques et notamment les poissons qui sont situés en haut de la chaîne alimentaire, leur contamination est plus importante en raison du processus de la bioaccumulation et la biomagnification. En effet, la pollution, par les métaux toxiques gêne les mécanismes respiratoires intervenant lors des échanges gazeux le long de la chaîne respiratoire. D'autre part, au niveau des branchies (premier organe filtreur en contact direct avec l'eau), la pénétration des métaux peut, non seulement réduire le transfert de l'oxygène vers le sang mais ; aussi provoquer des lésions au niveau de ces organes (Fekhaoui *et al.* 1986).

Le phénomène de concentration de certains métaux est favorisé par l'existence chez tous les organismes de protéines spécialisées dans la chélation des métaux (les métallothionéines).

### **I. 3. Sources des métaux lourds dans les écosystèmes**

Les sources des métaux lourds dans l'environnement sont nombreuses. Elles sont issues, soit de phénomènes naturels géologiques et pédogénétiques, soit de phénomènes anthropogéniques liés à l'exploitation des ressources et à l'industrialisation.

#### **I. 3. 1. Sources industrielles**

Les sources industrielles des métaux tels que les pétroles fossilifères relâchant plusieurs produits toxicologiquement dangereux tels que l'Arsenic, le Béryllium, le Plomb, Nickel...

Le Mercure est utilisé dans plusieurs produits industriels : batteries, tubes fluorescents, peintures, produits agricoles, préparations dentaires et pharmaceutiques.

#### **I. 3. 2. Sources agricoles**

Plusieurs métaux entrent dans la composition de certains produits agricoles, notamment dans la fabrication des fertilisants chimiques, des pesticides, des herbicides et des fongicides.

### **I. 3. 3. Sources naturelles**

Dans les écosystèmes non perturbés, la teneur en métaux des sols est en fonction d'une part de la nature de la roche mère et des minéraux qui la constituent et d'autre part, de l'altération qu'elle subit lors de la pédogenèse.

Parmi les autres sources naturelles, l'émission de particules solides et de gaz provenant de volcans, de feux de forêts ou de poussières continentales contribuent en grande partie à l'augmentation de certains éléments toxiques dans le sol.

### **I. 3. 4. Sources anthropiques**

Parmi les sources anthropiques, il y a les industries d'extraction des minerais et le traitement des métaux par les fonderies qui constituent une source de pollution en métaux lourds très importante.

Les effluents d'eaux usées domestiques et de ruissellement urbain ainsi que le lessivage des décharges d'ordures ménagères peuvent provoquer des dégâts importants sur la faune aquatique.

Les rejets industriels notamment ceux provenant des tanneries (Cadmium, Chrome), des papeteries (Mercure), d'usines de fabrication de chlore (Mercure) et d'usages métallurgiques, additionnés aux retombées des poussières atmosphériques émises lors de l'incinération de déchets (Mercure) ou de la combustion d'essence automobile (Plomb) sont des sources très importantes de la pollution par les métaux lourds toxiques.

## **I. 4. Métaux lourds étudiés et leurs origines**

### **I. 4. 1. Cuivre (Cu)**

#### **a. Source**

Le cuivre n'est présent qu'à l'état de traces dans les eaux naturelles de surface (50 µg/l), les eaux souterraines peuvent en contenir jusqu'à 12 mg/l.

La composition moyenne de la croûte terrestre en cuivre serait comprise entre 45 et 70 mg/l.

Le cuivre est un contaminant qui accompagne le zinc, le plomb et le cadmium dans les activités métallurgiques des métaux non ferreux, traitements agricoles, corrosion des tuyaux.

La contamination en cuivre peut également provenir des sources urbaines : boues des stations d'épuration et des composts d'ordures ménagères.

### **b. Toxicité**

Le cuivre est un élément important dans la vie cellulaire, il est impliqué dans plusieurs processus métaboliques dans la cellule. Cet élément se trouve dans l'organisme à des doses d'environ 1 mg/l dans le sérum, reste que l'intoxication n'est prouvée que par la présence de doses importantes.

Il provoque une altération des branchies de poissons et retarde la ponte des poissons. Ce métal est plus toxique sous la forme ionique qu'en étant lié à la matière organique ou sous forme de précipité avec les carbonates.

## **I. 4. 2. Chrome (Cr)**

### **a. Source**

Le chrome est un élément qui se trouve dans la croûte terrestre à des teneurs de 100 µg/g. La chromite est l'un des plus importants minerais du chrome.

Les principales sources du chrome sont la fabrication d'acier, pigments de peintures et plus spécialement du tanin qui est un produit très prépondérant au Maroc et largement utilisé dans les produits artisanaux de cuir.

La présence du chrome dans le milieu marin est le résultat des intempéries, des pluies, du drainage fluvial et du ruissellement des rivières.

### **b. Toxicité**

La toxicité aiguë du chrome sous sa forme hexavalente, pour les organismes aquatiques, notamment les poissons et l'utilisation importante de ses composés particulièrement dans l'industrie textile, en traitement de surfaces (chromage) pouvant entraîner des mortalités des poissons (Fekhaoui *et al.* 1986).

## **I. 4. 3. Cadmium (Cd)**

### **a. Source**

Le cadmium (Cd) est un métal lourd (numéro atomique : 48), découvert en 1809 par Magnus Martin Pontin et préparé pour la première fois en 1817 par l'allemand Friedrich Stromeyer. Il tire

son nom du latin « *cadmia* » qui signifie calamine, ancien nom donné au carbonate de zinc dont il est extrait. Le cadmium est ductile, malléable et résiste à la corrosion atmosphérique, ce qui en fait un revêtement de protection de choix pour les métaux ferreux.

Le cadmium n'existe pas à l'état natif. Son minerai, la greenockite (CdS), est très rare et inexploité. Par contre, il est présent dans presque tous les minerais de zinc, où sa teneur varie de 0,01 à 0,05%, et est obtenu industriellement comme sous-produit de la métallurgie du zinc. Sa production dépend donc de celle du zinc, dans une proportion variable de 1,8 à 6 kg de cadmium/tonne de Zn élaboré (3 kg/tonne de Zn en moyenne). Le cadmium est également présent dans des minerais de plomb et de cuivre, ainsi que dans des phosphates naturels. Il apparaît que le cadmium est très présent dans les eaux superficielles et les sédiments

### **b. Toxicité**

La toxicité du cadmium est connue depuis les années 1950 au Japon, où une intoxication aiguë au cadmium a donné naissance à une maladie des reins et des os, nommée « *itai-itai* » (qui signifie « j'ai mal, j'ai mal », cette phrase étant souvent répétée par les malades). Très toxique sous toutes ses formes (solide, vapeur, sels, composés organiques), ce métal est l'un des rares éléments n'ayant aucune fonction connue dans le corps humain ou chez l'animal. La dose journalière tolérable (DJT) temporaire chez l'homme a été fixée à 1µg/kg.j. Dans le respect de cette dose journalière, des limites de concentrations de cadmium dans les produits destinés à la consommation humaine ont été fixées.

Ainsi, les concentrations maximales de cadmium admises pour la chair de poisson sont limitées 0,05 ppm (pf) pour la plupart des espèces, à l'exception de l'anguille et de l'espadon pour lesquelles 0,10 et 0,30 ppm (pf) sont respectivement admis.

## **I. 4. 4. Plomb (Pb)**

### **a. Source**

Le plomb représente 0,002% de la croûte terrestre. Son principal minerai est la galène (PbS), mais on le rencontre sous forme d'angéliste (PbSO<sub>4</sub>).

La principale source du plomb est liée à son utilisation dans les composés organométalliques comme antidétonants dans les moteurs à explosion.

Le métal est rejeté par les gaz d'échappement sous forme d'aérosols ou de poussières associant le plomb, le brome et le chlore.

### **b. Toxicité**

Le plomb n'est ni essentiel ni bénéfique pour les êtres vivants. Chez l'homme le plomb est un poison cumulatif, il est responsable du saturnisme manifesté par une atteinte neurophysiologique, des troubles rénaux, cardiovasculaires et hématopoïétiques.

L'union européenne, par le règlement sur les contaminants dans les denrées alimentaires, impose des concentrations en plomb inférieures ou égales à 0,30 µg/g (pf) dans la chair musculaire des poissons.

## **I. 4. 5. Mercure (Hg)**

### **a. Source**

Le mercure (Hg) est un métal lourd (numéro atomique : 80), qui tire son nom du grec *hydrargyrum* qui signifie « argent liquide ». En effet, ce métal se présente généralement sous forme d'un liquide blanc argenté, brillant et très dense dans des conditions de température et de pression normales (INRS, 1997).

Connu depuis l'antiquité par les alchimistes puis le corps médical, il est présent dans l'écorce terrestre à une concentration moyenne d'environ 0,02 ppm. Dans les écosystèmes, le mercure est présent sous différentes formes chimiques : le mercure élémentaire (Hg<sup>0</sup>) (complètement insoluble) ; le mercure divalent (HgII) libre ou complexé à des ligands organiques ou inorganiques (de solubilité variable) ; et le mercure mono ou diméthylé (MeHg). Le cinabre (HgS) est le minéral mercuriel le plus largement répandu et exploité, et provient de gisements souterrains.

Dans l'environnement, 20% des émissions de mercure dans l'environnement proviennent de sources naturelles, 40% proviennent des retombées à l'échelle mondiale des émissions produites par les activités anthropiques passées et 40% proviennent des activités anthropiques actuelles (US EPA).

Les sources naturelles sont principalement le dégazage de l'écorce terrestre, les activités volcaniques, les feux de forêts, les réactions chimiques naturelles et les sources hydrothermales.

## **b. Toxicité**

Dans les écosystèmes aquatiques contaminés par le mercure, le mercure inorganique ( $\text{HgCl}_2$ ) est peu biodisponible pour les poissons. Néanmoins, il peut subir des réactions de métabolisation microbienne ou des processus chimiques entraînant sa transformation en mercure organique (mono ou diméthylmercure) qui devient bio-assimilable et surtout beaucoup plus toxique, notamment chez les espèces les plus élevées du réseau trophique. Les impacts du mercure chez les poissons sont très variés. Néanmoins, ses effets sur le métabolisme mitochondrial ainsi que sur l'homéostasie du calcium sont à l'origine, comme chez l'humain, de graves perturbations du système neuronal. Chez les poissons, la toxicité du mercure se traduit par des effets de stress, des nécroses et des hyperplasies branchiales, des nécroses de l'intestin, des dégénérescences hépatocytaires, des inhibitions enzymatiques, une diminution des fonctions immunitaires et une augmentation de la virulence des pathogènes (Elie et Girard, 2009).

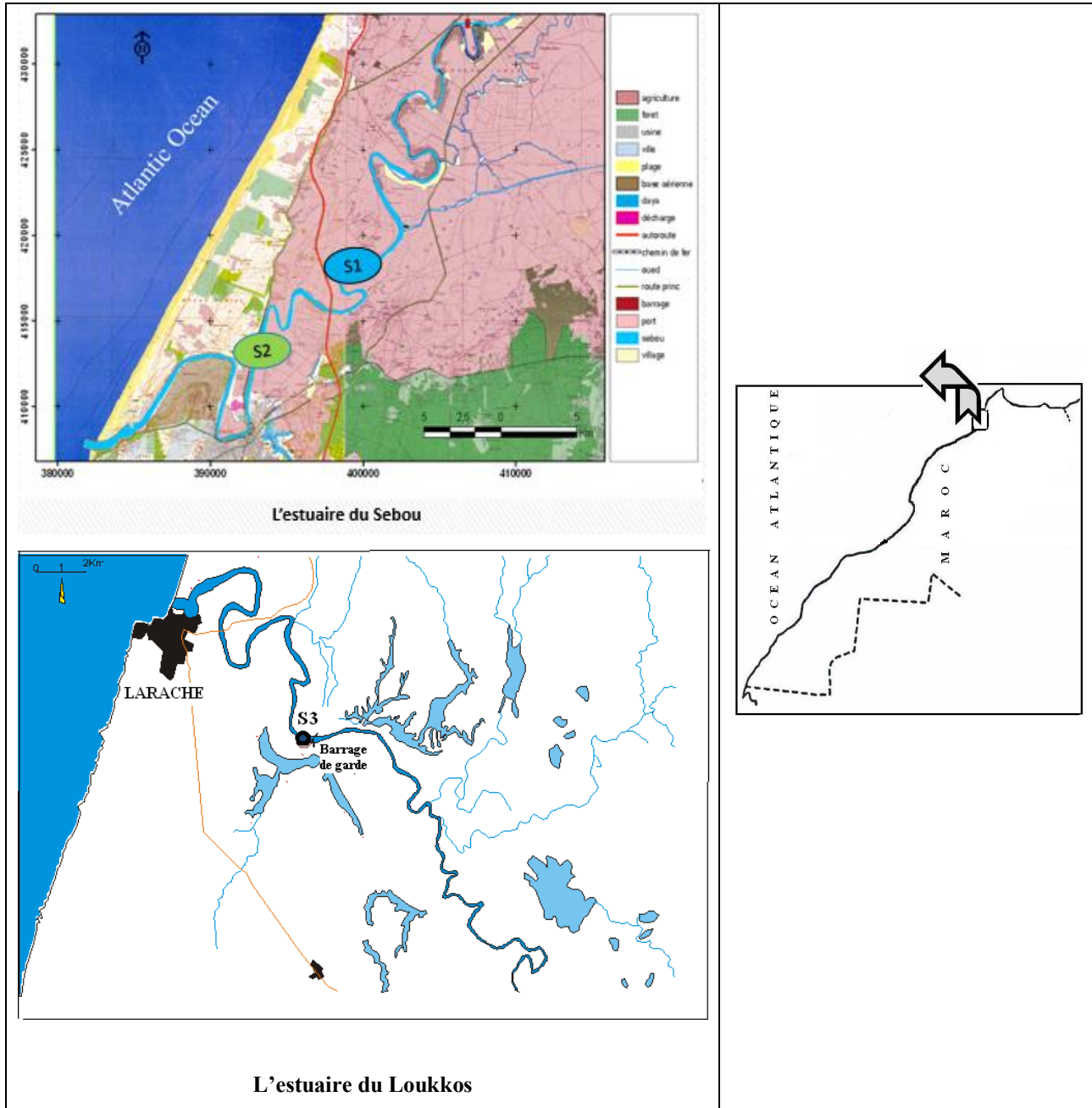
Chez l'anguille européenne, l'exposition au chlorure de mercure ( $\text{HgCl}_2$ ) altère les fonctions respiratoires et osmorégulatrices. Elles sont également responsables de troubles enzymatiques et des lésions branchiales (Bruslé, 1990).

## **II. MATERIEL ET METHODES**

### **I. 1. Echantillonnage**

L'évaluation des éléments métalliques (Cu, Cd, Cr et Pb) a été effectuée au niveau des anguilles au stade jaune dans le bas Sebou (S2) et le bas Loukkos (S3).

Alors que pour le mercure, les analyses ont été effectuées chez les anguilles de l'amont du Sebou (S1), S2 et S3 (Figure 43).



**Figure 43** : Sites d'échantillonnage des anguilles en 2009 (S1 : Amont de l'estuaire du Sebou, S2, Bas de l'estuaire du Sebou et S3 : Bas de l'estuaire du Loukkos).

## I. 2. Procédure analytique

### Préparation des échantillons biologiques pour les dosages d'éléments métalliques

Les techniques de dosage des métaux lourds nécessitent l'utilisation d'échantillon sous forme liquide.

Après le prélèvement des organes (foie, branchies et muscle) des anguilles jaunes, nous les plaçons dans des tubes à propylène neufs.

### **Protocole expérimental**

Après lyophilisation des échantillons. Une masse de 100 mg de l'échantillon est transférée dans des tubes en quartz. Auxquels on ajoute 2 ml d'acide nitrique ultra-pure (65%).

Ces tubes en quartz sont placés dans des bombes en téflon appropriés pour la digestion sous haute pression. Afin d'assurer une digestion complète, un mélange de : 2 ml d'eau ultra pure de 1,6 ml d' $H_2O_2$  et de 4 ml d' $HNO_3$  est ajouté dans les bombes en téflon. Afin d'assurer une digestion optimale. Après la fermeture des bombes, elles sont placées dans un four à micro-onde à une température de 230°C pendant 2 heures. Pour chaque série de digestion un matériel de référence certifié (DORM-3 cf. ANNEXES) est placé avec les autres échantillons pour assurer la fiabilité des résultats (DIN 1994 ; DOERFFEL, 1994).

### **Extraction pour le dosage du Cu, Cd et Pb**

Une fois la digestion est terminée. L'ouverture des bombes s'effectue sous une hotte. Le résidu sec est ensuite repris dans 2 ml de  $HNO_3$ . La solution est mélangée avec 1 ml d'un agent complexant. Les tubes d'échantillons sont placés dans un dessiccateur où est environ 100 ml d'une solution d'ammoniaque (dans un bécher de 250 ml) permanent. Le tout est laissé environ plus d'une heure. Ainsi, la diffusion de l'ammoniac isotherme est possible dans la solution d'essai, jusqu'à ce que la gamme de pH souhaitée entre 6 et 8 soit atteinte (changement visible de couleur de la solution d'indicateur rose de jaune /bleu). Si le pH souhaité est atteint, 1 ml de l'agent complexant et 2 ml du DIBK sont placés dans la solution d'échantillon et mélangés pendant 30 min avec une agitation secouée.

Puis, les échantillons sont centrifugés (5 min à 2000 tr/min). De la phase organique surnageante un volume de 1,5 ml est transféré avec une pipette dans un tube à essai. Puis on ajoute 1 ml de  $HNO_3$ , le mélange de nouveau agité pendant 30 min dans l'agitateur pour extraire les ions métalliques du complexe dans l'acide nitrique. Après séparation complète des phases (5 min de centrifugation à 2000 tr/min). La phase organique surnageante est éliminée et la phase aqueuse acide (solution d'essai) est récupérée. Cette dernière est destinée au dosage des éléments métalliques quantitatifs à savoir le plomb, le cadmium et le cuivre. Le dosage se fait à four par la spectrométrie d'absorption atomique : SAA.

Pour le dosage du chrome, après la digestion la dilution est réalisée et la phase est directement destinée au dosage sans le faire complexer.

Les échantillons de tissus sont digérés à l'aide de l'acide nitrique (Ultra pur 65%) et du micro-onde. Après la dilution, pour le dosage du Cu, Cd, Cr, Pb, ils sont dosés par SAA (Figure 43), alors que pour le dosage du mercure l'appareil utilisé est le FIMS (Figure 44).



**Figure 44** : Photographie du spectromètre d'absorption atomique Perkin Elmer GFAAS SIMAA

Après la minéralisation, la dilution se fait avec de l'eau ultra-pure (MilliQ). Afin de contrôler la fiabilité de cette méthode. Dans chaque série d'analyse des échantillons blancs (acide pur) et certifiés (DORM) subissent les mêmes étapes de préparation et d'analyse. Puis on effectue les dosages des métaux lourds (cuivre, cadmium, chrome et plomb) avec l'appareil SAA de type Perkin Elmer GFAAS SIMAA.

Pour le mercure un autre appareil est destiné pour l'analyse des échantillons : FIMS.(Flow Injection Mercury System) (Figure 45).



**Figure 45 :** FIMS Flow Injection Mercury System

### III. RESULTATS

#### III.1. Concentration métallique

##### III.1.1. Teneurs en Cu, Cr, Cd et Pb

Les concentrations en cadmium, chrome, cuivre, plomb dans les branchies, le foie, le muscle des anguilles sont présentées dans le Tableau XII.

**Tableau XII** : Teneurs en métaux ( $\mu\text{g/Kg}$  poids frais: pf) des anguilles pêchées dans les estuaires du Sebou et du Loukkos. (Moyennes, écart-type).

Sites	Organe ( $\mu\text{g/Kg}$ pf)	Cadmium ( $\mu\text{g/Kg}$ pf)	Plomb ( $\mu\text{g/Kg}$ pf)	Cuivre ( $\mu\text{g/Kg}$ pf)	Chrome ( $\mu\text{g/Kg}$ pf)
Sebou	Muscle (M)	23,72 $\pm$ 9,43	61,41 $\pm$ 34,80	818,83 $\pm$ 181,08	113,39 $\pm$ 90,86
	Foie (F)	164,89 $\pm$ 80,34	130,16 $\pm$ 67,82	16283,72 $\pm$ 679,58	164,46 $\pm$ 52,67
	Branchies (B)	16,30 $\pm$ 8,47	510,86 $\pm$ 228,71	1602,57 $\pm$ 293,03	588,31 $\pm$ 190,67
Loukkos	Muscle (M)	14,22 $\pm$ 9,70	45,04 $\pm$ 14,57	590,02 $\pm$ 147,97	214,27 $\pm$ 98,78
	Foie (F)	131,84 $\pm$ 60,80	114,51 $\pm$ 57,13	14812,66 $\pm$ 1679,58	190,86 $\pm$ 76,56
	Branchies (B)	23,42 $\pm$ 10,12	145,80 $\pm$ 97,15	3355,90 $\pm$ 298,40	433,94 $\pm$ 174,35

Les concentrations des métaux les plus élevés sont celles du cuivre avec une moyenne maximale de 16 283  $\mu\text{g/Kg}$  pf soit 16,28  $\mu\text{g/g}$  pf. (Sebou) suivi par le chrome avec une moyenne de 588,31 $\mu\text{g/Kg}$  pf soit 0,58  $\mu\text{g/g}$  pf. (Sebou), suivi du plomb avec une moyenne maximale de

0,51 µg/g pf. (Sebou) et pour le cadmium la moyenne maximale enregistré a été relevé aussi chez les anguilles du Sebou avec une concentration de 0,16 µg/g pf.

Ceci, montre une contamination plus élevée des anguilles de l'estuaire du Sebou par rapport à celle du Loukkos.

L'organotropisme des différentes teneurs est présenté dans le tableau XIII et dans le tableau XIV pour l'estuaire du Sebou.

**Tableau XIII** : Gradient de l'accumulation des métaux étudiés dans différents organes des anguilles du Sebou

<b>Muscle</b>	Cu > Cr > Pb > Cd
<b>Branchies</b>	Cu > Cr > Pb > Cd
<b>Foie</b>	Cu > Cd > Cr > Pb

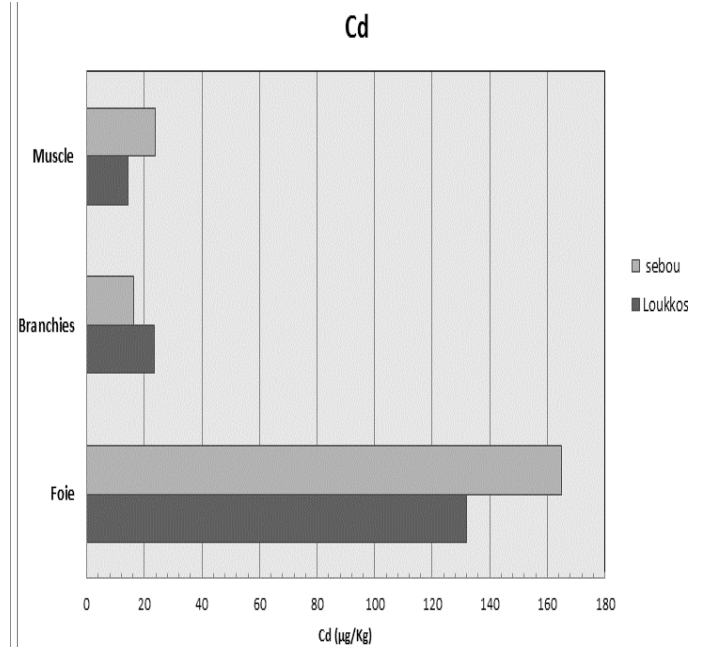
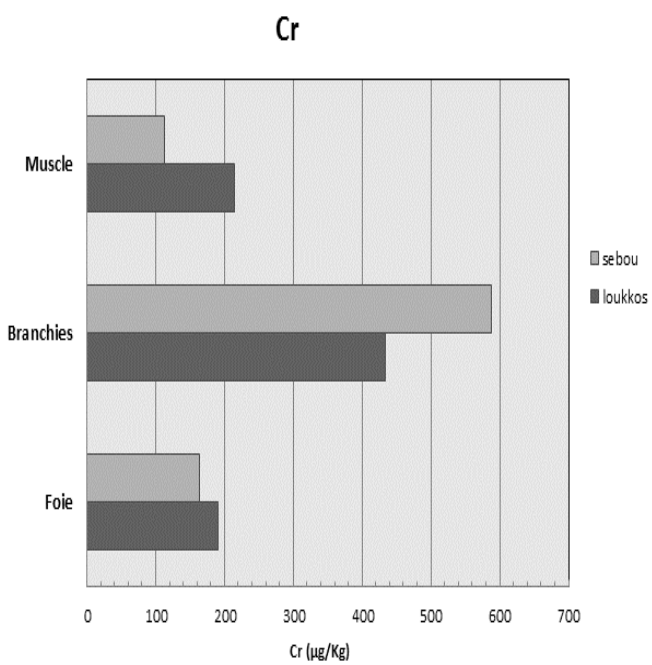
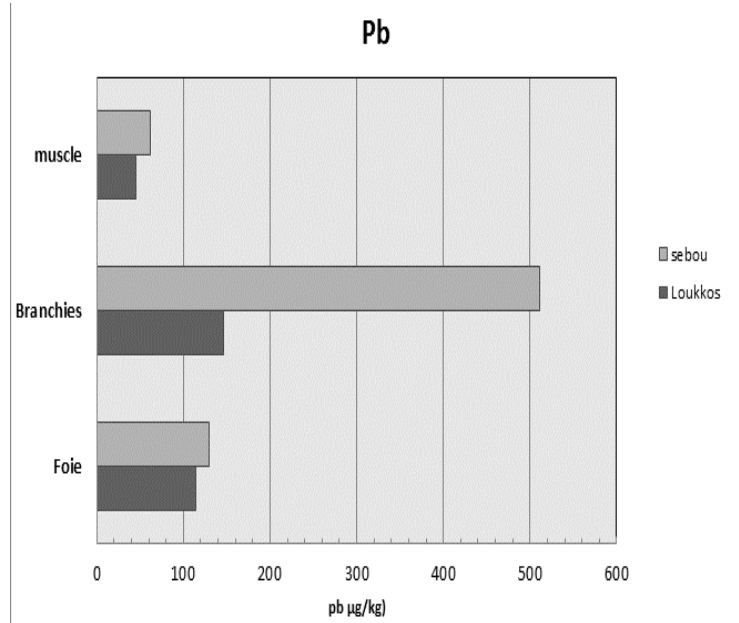
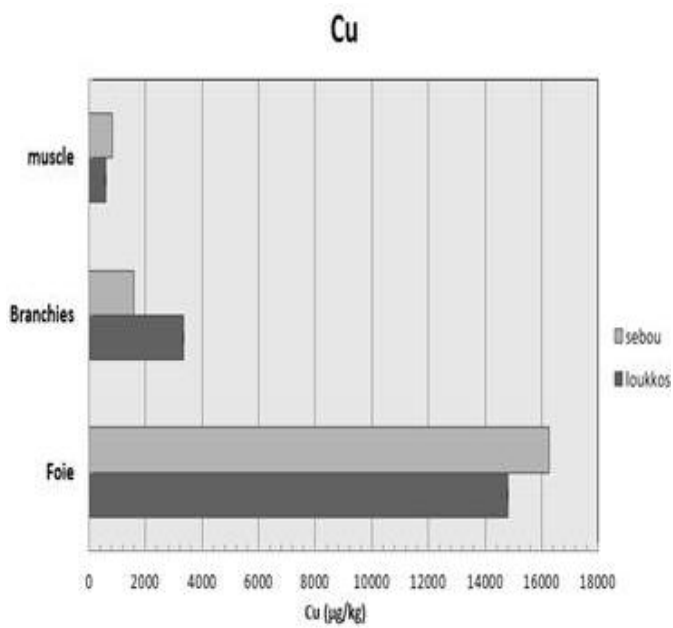
**Tableau XIV** : Gradient de l'accumulation des métaux traces dans différents organes des anguilles du Loukkos

<b>Muscle</b>	Cu > Cr > Pb > Cd
<b>Branchies</b>	Cu > Cr > Pb > Cd
<b>Foie</b>	Cu > Cr > Cd > Pb

L'analyse de la distribution tissulaire des métaux traces chez l'anguille montre une forte accumulation du cuivre dans les trois organes, suivi du chrome. Par contre les teneurs du cadmium et du plomb sont généralement faible.

Chez ces individus, ce sont plutôt les branchies et le foie qui accumulent le cuivre. Quant au chrome il est surtout accumulé dans les branchies et ce à l'échelle des deux sites.

Le cadmium est concentré surtout dans le foie pour les deux sites, et le plomb est accumulé dans les branchies.



**Figure 46** : Concentration du cuivre, plomb, chrome et cadmium ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) dans le foie, les branchies et le muscle des anguilles collectés dans les estuaires du Loukkos et du Sebou.

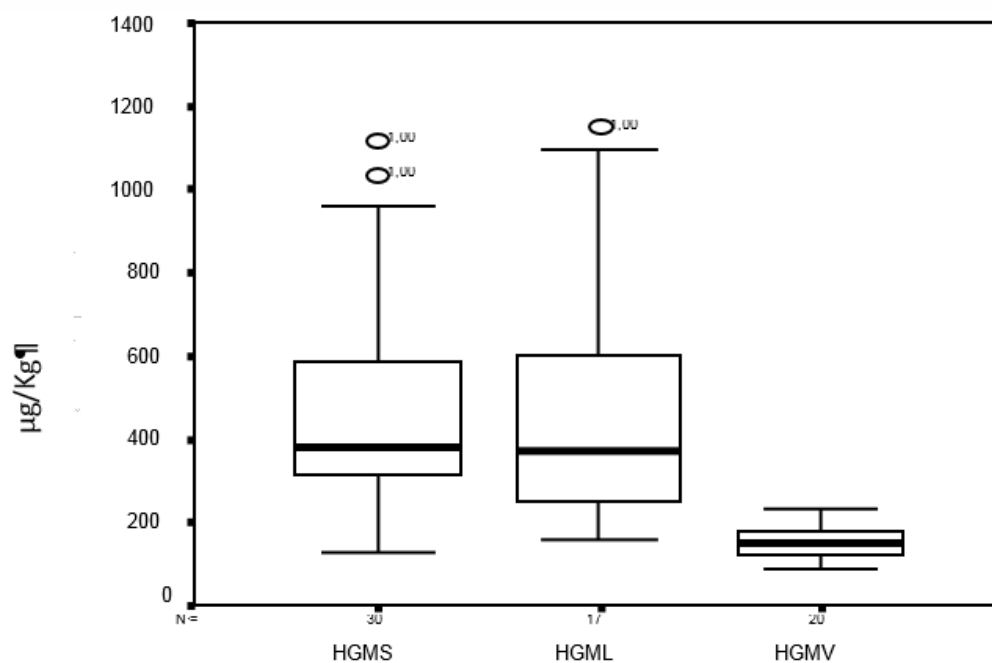
### III.1.2. Teneur métallique en mercure

Les concentrations en mercure ont été évaluées dans le muscle et le foie des anguilles capturées dans trois sites. S1 (estuaire amont du Sebou), S2 (estuaire aval du Sebou) et S3 (estuaire du Loukkos).

Les concentrations dans le muscle ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$  pf) dans S1, S2 et S3, sont respectivement de l'ordre de  $154,54 \pm 39,06$ ,  $465,57 \pm 245,78$  et  $473,83 \pm 304,12$  (Figure 47).

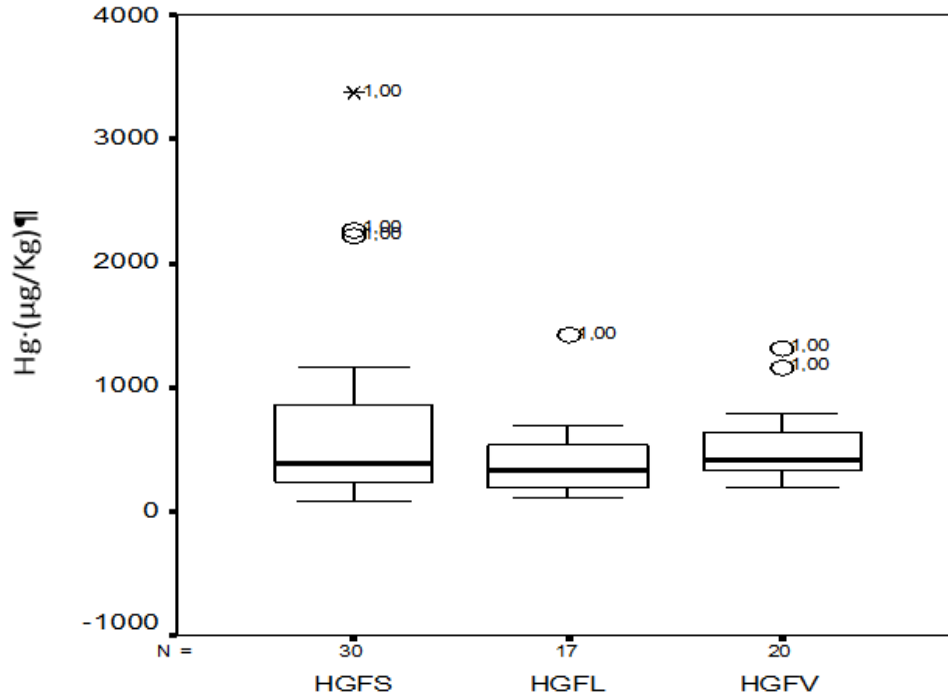
Ces résultats montrent une différence significative entre S1 et S2 avec une valeur de  $p < 0,05$ , de même une différence significative est enregistrée entre S1 et S3.

S1 qui représente la partie avale de l'estuaire du Sebou est moins contaminé que les deux autres sites S2 et S3.

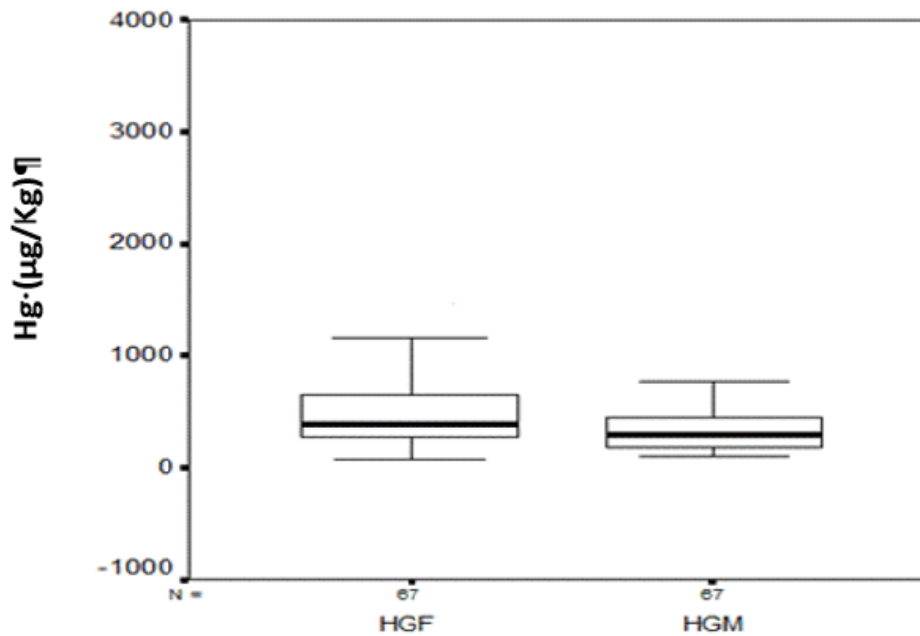


**Figure 47 :** Variation des concentrations du mercure dans le muscle ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) des anguilles de la partie avale du Sebou (HGMS), Loukkos (HGML) et l'amont du Sebou (HGMV).

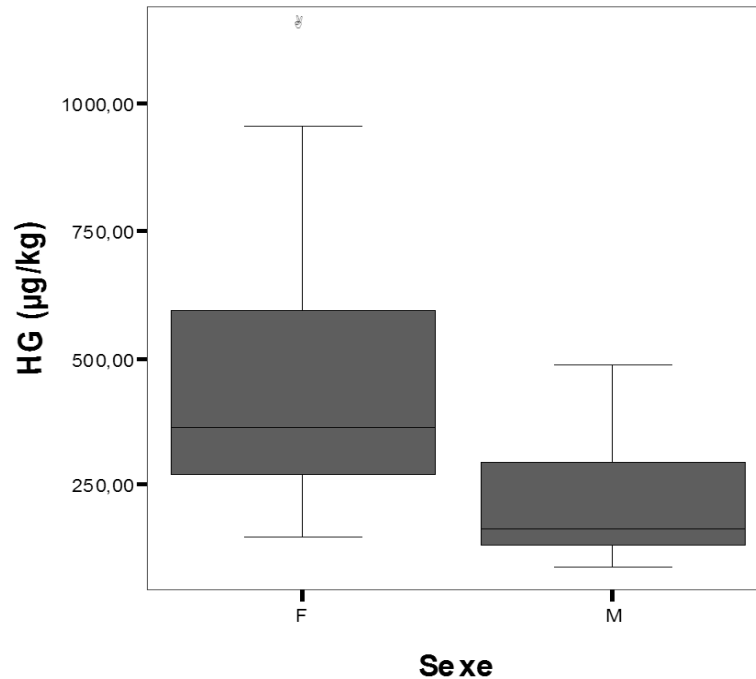
De même, les concentrations du mercure (Hg) sont élevées dans le foie (Figure 48). Une comparaison entre l'accumulation du mercure dans le muscle et le foie, montre une différence significative avec  $p < 0,05$ . Avec une concentration plus élevée dans le foie que dans le muscle (Figure 49).



**Figure 48 :** Variation des concentrations du mercure ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) dans le foie des anguilles de l'aval du Sebou (HGFS), Loukkos (HGFL) et l'amont du Sebou (HGFV).



**Figure 49 :** Variation des concentrations du mercure ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) dans le foie (HGF) et le muscle des différentes anguilles capturées.  $P= 0,010$ ,  $p<0,05$ .



**Figure 50** :Variation des concentrations du mercure ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) dans les différentes anguilles selon le sexe. (F= femelle et M= mâle). La valeur de  $p < 0,05$

Nous avons remarqué aussi, une différence de concentration de mercure entre les mâles et les femelles des anguilles. Les femelles sont plus sujettes à une contamination par ce métal.

Nous avons constaté la présence d'une différence significative en appliquant le test t-student pour les deux groupes (mâles et femelles) (Figure 50).

#### Contamination du mercure selon les classes de taille des anguilles

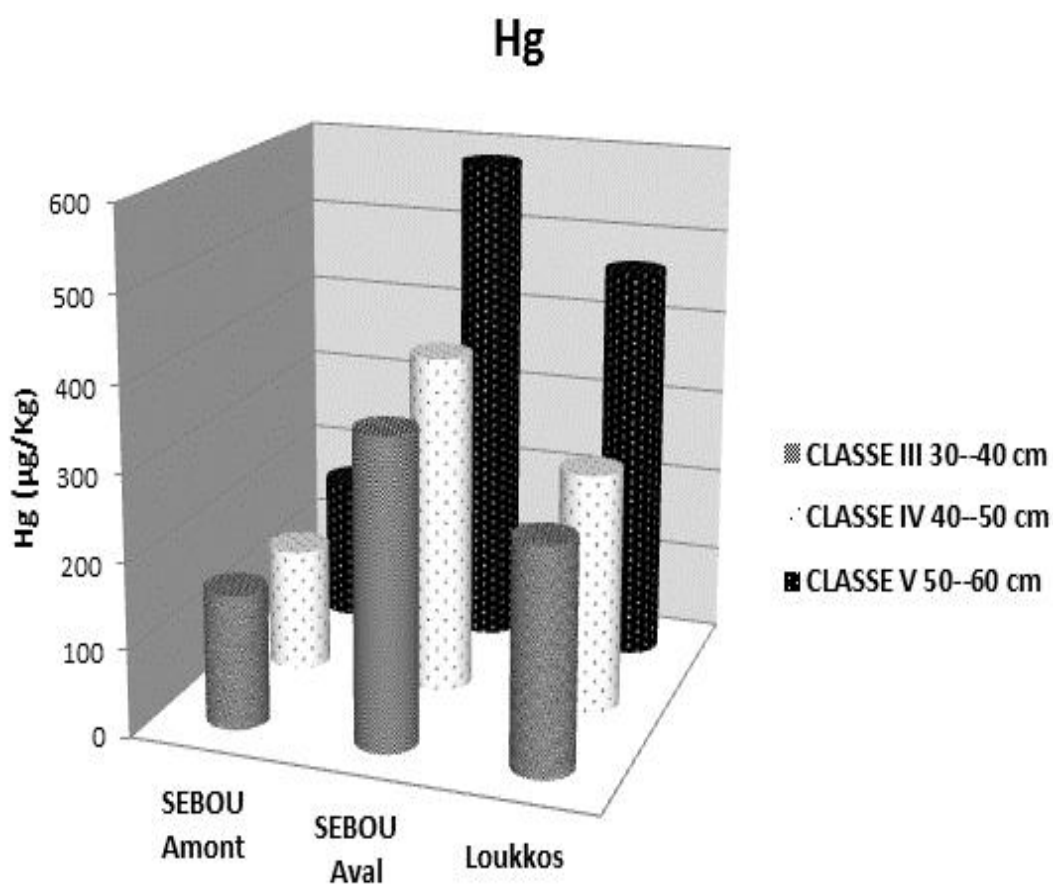
Les résultats de la concentration du mercure selon les classes de taille sont présentés dans le tableau XV et la figure 51.

Les trois classes de taille des anguilles sont contaminées. Nous remarquons que dans les trois sites d'étude la classe de taille III ( 50-60 cm) des anguilles qui est la plus contaminée.

Le site S2 présente dans cette classe la valeur la plus grande 584,64  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , dépassant ainsi le seuil de limite fixée par l'OMS pour la consommation humaine.

**Tableau XV:** Concentration du mercure (Hg en  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) selon les classes de taille des anguilles

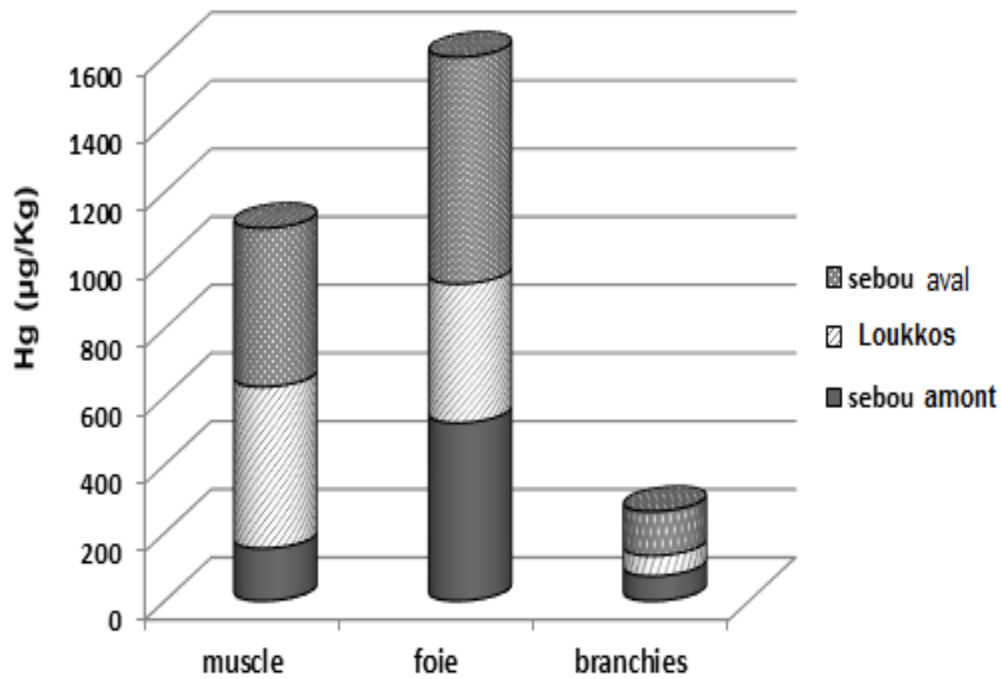
	CLASSE I 30—40 cm	CLASSE II 40—50 cm	CLASSE III 50—60 cm
<b>SEBOU (Amont)</b>	157,04	144,10	<b>170,52</b>
<b>SEBOU (Aval)</b>	<b>359,69</b>	<b>395,57</b>	<b>584,64</b>
<b>Estuaire du LOUKKOS</b>	261,37	279,48	<b>467,40</b>



**Figure 51 :** Variation des concentrations du mercure (Hg) en  $\mu\text{g}/\text{kg}$  dans le muscle des anguilles en fonction de leur classe de taille (cm) dans les sites étudiés.

*L'organotropisme du mercure*

Une contamination généralisée du mercure est noté dans les trois sites. Cependant, c'est le foie qui est l'organe le plus accumulateur suivi par le muscle, alors que les branchies ne présentent pas de fortes concentrations de ce métal (figure 52).



**Figure 52** : Concentration du mercure (Hg) en µg/Kg dans les différents organes (Muscle, foie et branchies) de l'anguille dans les sites étudiés : S1 (la partie amont du Sebou), S2 (estuaire du Loukkos) et S3 (La partie avale du Sebou).

#### IV. DISCUSSION

L'analyse des métaux lourds chez l'anguille (*Anguilla anguilla*) a montré une contamination généralisée par le cuivre, cadmium, chrome et plomb, avec des valeurs de concentrations élevées du cuivre, du chrome et du mercure. Par ailleurs les concentrations du plomb et du cadmium sont faibles. Le foie est l'organe accumulateur des métaux lourds dans toutes les anguilles étudiées.

Les concentrations en métaux lourds dépendent des sites d'étude. Pour le dosage du mercure trois sites ont été consacrés à cette étude. Nous avons choisi un site S1 loin de l'aval de l'estuaire du Sebou, il s'est avéré moins pollué que les deux autres sites S2 et S3. Nous avons considérés ce site S1 comme un site de référence pour les accumulations métalliques.

Les fortes teneurs en cuivre et chrome sont fortement liées à leur présence dans le sédiment et l'eau. Ces estuaires reçoivent les effluents pollués par les activités industrielles et artisanales (anthropiques). Selon la littérature (Bouachrine *et al.*, 1998 ; El Kihel, 2003), la rivière du Sebou est parmi les plus polluées à l'échelle du Maroc. Cette pollution prend son origine des déchets déversés par les industries de textiles, de fabrication de papier, des tanneries...

A l'instar de l'estuaire du Sebou, le bas Loukkos est de plus en plus pollué. Les causes sont diverses (domestiques, industrielles ou agricoles). L'estuaire du Loukkos est un réceptacle de tous ces rejets pollués des industries (COSIMA, SUCRAL...) (El Morhit, 2009).

Les anguilles femelles ont montré une accumulation plus grande en mercure. Et généralement ce sont ces mêmes anguilles qui sont de classe de taille grande, supérieur à 50 cm.

A cause de ses teneurs élevées en graisses (lipides), le stade de la reprise de la nourriture est le plus sujet à la bioaccumulation des polluants (Maes, 2005); selon toujours le même auteur les polluants environnementaux ne reflètent pas toujours le niveau actuel de la contamination des individus.

Sure et Siddall (1999) constatent que les métaux ionisés sont principalement bioaccumulés par les branchies du poisson et véhiculés à travers le système circulatoire aux différents organes. Les branchies sont les principaux organes d'absorption des polluants toxiques pour les espèces aquatiques (Ahmad *et al.*, 2006), elles ont été choisies dans un certain nombre de travaux comme outil de surveillance de toute intoxication chez les poissons (Fekhaoui et Kreck, 1986). En étant

les premiers en contact avec l'eau, lors d'une contamination, les processus respiratoires du poisson risquent d'être perturbés. Dans la présente étude, le cuivre et le chrome sont les éléments les plus abondants dans les branchies pour les deux sites d'étude. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés de Wariaghli *et al.* (2013b) à Sebou et à Merja Zerga.

**Tableau XVI :** Normes des teneurs de certains métaux toxiques exprimées en  $\mu\text{g/g}$  du poids frais.

	<b>Cu (<math>\mu\text{g/g p.f.}</math>)</b>	<b>Pb (<math>\mu\text{g/g p.f.}</math>)</b>	<b>Hg (<math>\mu\text{g/g pf}</math>)</b>	<b>Cd (<math>\mu\text{g/g pf}</math>)</b>
<b>Espagne (Boe, 1991)</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	----	----
<b>Canada</b>	<b>100</b>	----	----	----
<b>Hongrie</b>	<b>60</b>	----	----	----
<b>Australie</b>	<b>60</b>	----	----	----
<b>OMS/FAO/EPA/</b>	----	----	----	----
<b>CE/R n°466/2001</b>	----	<b>0,4</b>	----	----
<b>OMS</b>	----	----	<b>0,5</b>	----
<b>(CE) n°1881/2006</b>	----	----	----	<b>0,1</b>

Chez les classes de taille moyenne et grande, les anguilles accumulent plus de métaux lourds par rapport aux autres stades. Ces anguilles ont tendance à se nourrir activement, pour disposer de réserves énergétiques suffisantes pour effectuer leur migration vers la mer des Sargasses. Ceci a été noté largement dans la contamination par le mercure qui a dépassé les normes de  $0,5 \mu\text{g/g pf}$  (OMS) chez les anguilles du Sebou (aval), avec une concentration de l'ordre de  $0,58 \mu\text{g/g pf}$ . Ce qui rend leur consommation un danger pour la santé humaine.

L'étude de l'organotropisme chez les différentes anguilles, montre une accumulation préférentielle de tous les métaux lourds étudiés au niveau du foie.

## V. CONCLUSION

Au terme de cette étude de la distribution tissulaire des métaux lourds (Cu, Cr, Cd, Pb, Hg) chez les anguilles. Nous avons remarqué de fortes concentrations de ces métaux chez les anguilles pêchées dans les trois sites (S1, S2 et S3).

L'étude de l'accumulation métallique suit un organotropisme chez toutes les anguilles. Avec une accumulation préférentielle de ces métaux au niveau du foie, suivi par les branchies et le muscle. A l'exception du mercure dont les organes accumulateurs sont le foie et le muscle en premier suivi par les branchies.

L'accumulation des métaux lourds, selon les sites d'étude, a révélé que le site S1 (amont de l'estuaire du Sebou) semble être une station de référence vu les faibles concentrations en mercure relevées chez les anguilles de ce site.

Concernant le mercure, les concentrations sont au-delà des limites de sécurité (plus de 0,5 µg/g pf) pour la classe de taille 50-60 cm.

Un programme de bio-surveillance s'avère urgent et devrait être mis en œuvre dans les estuaires du Sebou et du Loukkos.

# Chapitre IV

**CONTAMINATION ORGANIQUE PAR LES  
HYDROCARBURES AROMATIQUES  
POLYCYCLIQUES (HAPs) CHEZ L'ANGUILLE  
(*A. anguilla*).**

## INTRODUCTION

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des contaminants environnementaux ubiquitaires et persistants trouvés dans les sédiments et les eaux associés aux estuaires urbanisées et les zones côtières (Meador *et al.*, 1995 ; Woodhead *et al.*, 1999 ; Blahova *et al.*, 2010). Ces substances organiques sont reconnues être toxiques et persistants. Ce sont des composés organiques constitués de carbone et d'hydrogène possédant 2 ou plusieurs cycles benzéniques fusionnés et sont générés lors de la combustion incomplète de la matière organique (charbon, pétrole, bois etc). Ces composants chimiques sont prioritaires en raison d'effets préoccupants sur la santé par l'United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1984). En particulier, certains d'entre eux à l'image du Benzo[a]pyrène (B[a]P) génèrent des mutations au niveau de l'ADN et peuvent être à l'origine de cancers. L'élimination des métabolites des HAP se fait majoritairement par les fèces et les urines. En ce qui concerne le B[a]P et ses métabolites, l'élimination se fait majoritairement par le biais du système hépato-biliaire et par le tractus intestinal. L'excrétion urinaire est une voie mineure (Moir *et al.*, 1998). Les métabolites biliaires sont largement acceptés pour mesurer le degré de l'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les HAP et leurs métabolites ont le potentiel de produire des effets toxiques, mutagènes et/ou cancérigènes présents dans les poissons et d'autres vertébrés, y compris l'homme (MacRae et Hall, 1998 ; Monteiro *et al.*, 2000). Pour cette raison, l'augmentation des niveaux de contamination par les HAP dans les systèmes aquatiques est devenue une source de préoccupation (Weber et Lanno, 2001).

Parmi les métabolites des HAP, on cite la Pyrène et le phénanthrène. La pyrène se trouve couramment dans les mélanges des HAP, sous forme de 1-hydroxypyrène, utilisé comme un indicateur de l'exposition aux produits chimiques des HAP (Becher et Bjorseth, 1983 ; Granella et Clonfero, 1993 ; Santella *et al.*, 1993 et Popp, 1997). Tandis que le phénanthrène est aussi considéré comme produit toxique, essentiellement produit par une mauvaise combustion des hydrocarbures.

La mesure de fluorescence des métabolites des HAP biliaires ont démontré leur utilité majeure et peuvent donc être considéré comme des biomarqueurs utile et prometteur pour l'évaluation du degré d'exposition et d'absorption des HAP dans l'environnement marin.

La biliverdine est un pigment biliaire de couleur verte et un intermédiaire de la dégradation de l'hème. Chez les mammifères, la quasi-totalité de la biliverdine est transformée en bilirubine grâce à la biliverdine réductase. Ce n'est pas le cas chez les poissons et d'autres espèces où des taux élevés de biliverdine sont retrouvés dans le plasma. L'étude de la biliverdine (Ruddock *et al.*, 2003) ainsi que celle du dosage des protéines biliaires (Ariese *et al.*, 1993) par la normalisation de leur moyenne se sont montrés utiles car ces paramètres covarient avec la concentration des métabolites de HAP dans la vésicule biliaire des poissons.

Les méthodes de dosage HPLC-F sont largement utilisées pour la détermination des métabolites des HAP en tant que biomarqueurs de la pollution (Ruddock *et al.*, 2003 ; Hellou et Leonard 2004 ; Jonsson *et al.*, 2004 ; Stroomberg *et al.*, 2004 ; Vuontisjärvi *et al.*, 2004 ; Watson *et al.*, 2004 ; Pikkarainen, 2006 ; Vuorinen *et al.*, 2006 ; Kammann, 2007 ; Wang *et al.*, 2008 ; Tairova *et al.*, 2009 ; Nagel *et al.*, 2012a , b ).

L'anguille commune (*Anguilla anguilla*) est largement choisie comme modèle de bioindicateur de la pollution et il est ainsi utilisé dans le suivi des degrés de contamination dans l'environnement. Notamment celle des HAP (Belpaire et Goemans, 2008).

Au Maroc, aucune donnée n'est actuellement disponible sur le dosage des HAP dans les anguilles (*Anguilla anguilla*). Espèce fortement exploitée au Maroc (Wariaghli *et al.* 2011 in ICES, 2011).

Ainsi, cette étude a eu pour objectif d'évaluer le degré de contamination organique par le dosage des HAP, auxquelles sont soumises les anguilles au stade jaune vivant dans les sites atlantiques suivants : partie amont du Sebou, partie aval du Sebou et l'estuaire du Loukkos.

## **I. GENERALITES SUR LES HAP**

### **I.1. Définition**

L'atmosphère contient plus de 2800 composés chimiques (Lewtas, 1990) dont plusieurs ont été identifiés ou sont suspectés mutagènes ou cancérigènes pour l'homme (Cohen, 2000 ; Skarek, 2007). Parmi ces composés, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont considérés comme une des principales familles de polluants atmosphériques, susceptibles d'entraîner des cancers (IARC, 1983 ; Grimmer, 1991). Selon le nombre de cycles, ils sont classés en HAP légers (jusqu'à trois cycles) ou lourds (au-delà de trois cycles).

## **I.2. Origine des HAP**

Les HAP sont principalement formés lors de la combustion incomplète de matières organiques et lors de la lente maturation de la matière organique accumulée dans les milieux sédimentaires profonds. Ces deux origines présentent des mécanismes de formation distincts qui se réalisent avec différentes cinétiques, et induisent des distributions moléculaires variables (liées à la stabilité).

### **I.2.1. Origine pyrolytique**

Les principales sources pyrolytiques émettrices de HAP sont (INERIS, 2006) :

- Combustion de bois, de tourbe, de charbon (feux naturels, chauffage domestique, procédés industriels).
- Combustion de carburant diesel ou essence.
- Production et utilisation de goudron (distillation de la houille), de bitume (distillation de pétrole brut), de créosote (distillation du goudron) et de coke (combustion en hautfourneau de la houille)
- Incinération de déchets.

Les HAP d'origine pyrolytique constituent la majeure partie des HAP introduits dans l'environnement et sont présents sur une échelle géographique très large. Ils sont émis par les processus naturels tels que les feux de forêt et irrptions volcaniques, et par les activités anthropiques reposant sur la combustion de bois ou de produits pétroliers telles que les industries, incinérateurs, chaufferies à bois, transports motorisés...

### **I.2.2. Origine pétrogénique**

Les HAP représentent entre 20 à 40 % en poids des pétroles bruts qui sont majoritairement constitués d'hydrocarbures saturés. Ils constituent cependant moins de quelques pourcents de la composition des produits raffinés type essence (< 0,5 % massique) ou kérosène (Cole, 1994).

Formés à l'échelle des temps géologiques, à basse température (<200°C) et haute pression, les HAP pétrogéniques sont caractérisés par une forte proportion de composés alkylés.

### I.2.3. Origine diagénétique (sédiments récents)

Les HAP peuvent également être formés par les micro-organismes à partir de précurseurs biogéniques tels que les di- et tri-terpènes, stéroïdes, pigments ou quinones dans les sédiments ou sols récents (Laflamme & Hites, 1978 ; Wakeham *et al.*, 1980) ; ces précurseurs peuvent provenir de tissus biologiques terrestres ou aquatiques (plantes, animaux, bactéries, macro- et micro-algues) (Venkatesen, 1988 ; Wang *et al.*, 2004).

**Tableau XVII** : Energies de formation des HAP étudiés (Hites et Simonsick, 1987)

Masse moléculaire(ua)	Composé	Energies de formation (Kcal.mol <sup>-1</sup> )
178	Phénanthrène	55,389
202	Pyrène	61,764
252	Benzo(a)pyrène	82,269

### I.2.4. Toxicité des HAP

Les HAP sont des molécules organiques bioaccumulables dont la toxicité est variable. Néanmoins, certains processus de métabolisation enzymatique conduisent à la formation de dérivés hydroxylés plus toxiques. Certaines sont très toxiques et ont été par ailleurs classé par la comité européenne (2455/2001/CE).

Les temps de demi-vie des HAP dans divers tissus biologiques (bivalves, crustacés, poissons) sont de l'ordre de quelques jours à une dizaine de jours, et sont environ cinq fois plus importants pour les HAP lourds relativement aux HAP de plus faible poids moléculaire.

Les matrices environnementales sont par ailleurs plus complexes, contenant de nombreuses et multiples molécules endo- ou exo-gènes, minérales ou organiques entre lesquelles des interactions peuvent avoir lieu. Des effets toxiques synergiques ont été notamment observés entre des métaux et des HAP quinones (Girard, 2007).

En effet, le caractère cancérigène de certaines de ces molécules seules ou en mélanges, est avéré. Douze d'entre elles sont à ce titre classées par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) comme probablement cancérigène pour l'homme (AESN, 2008 a, b, c).

Après la contamination par ces substances, elles sont biotransformées au niveau du foie en différents (poly)-hydroxy-HAP.

### Toxicité chez les poissons

Les HAP sont des molécules biologiquement actives, génotoxiques et potentiellement cancérigènes (Elie et Girard, 2009).

Ils peuvent causer des érosions des nageoires (Nounou *et al.*, 1980), des tumeurs hépatiques (PNUE/OMS, 1995) et de néoplasies hépatiques, biliaires et pancréatiques (Vogelbein *et al.*, 1990).

Chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), les HAP sont accumulés dans les tissus riches en lipides tels que les ovaires (Feral *et al.*, 1979). D'autre part, ils sont responsables de troubles de la respiration et de l'osmorégulation, dus à d'importantes lésions branchiales (Lopez *et al.*, 1981). En effet, ce sont des substances cancérigènes à des hauts potentiels pour l'anguille (Bal et Kasparzak, 2002) puisqu'ils provoquent des tumeurs dans le foie et la rate (Roche *et al.*, 2002) et des néoplasies hépatiques (Myers *et al.*, 1998).

## **II. MATERIEL ET METHODES**

### **II.1. Echantillonnage des anguilles**

45 anguilles (*Anguilla anguilla*) ont été pêchées à partir des estuaires du Sebou et du Loukkos (Figure 52) entre Octobre et Novembre 2009. 33 anguilles capturées à partir de Sebou (20 individus de l'aval et 13 de l'amont de cette rivière) et 12 anguilles ont été recueillies à partir de l'estuaire du Loukkos.

### **II.2. Préparation des échantillons de la bile des anguilles**

Après la dissection de chaque anguille, la bile est recueillie en perçant la paroi de la vésicule biliaire avec une seringue jetable de 1 ml. Des prélèvements de bile d'environ 0,1-0,5 ml ont été immédiatement congelés et conservés à -20 ° C jusqu'à l'analyse.

### **II.3. Méthode analytique**

Après la récupération de la bile. Un volume de 50 µl a été divisé en deux volumes égaux. Un volume de 25µl est destiné pour l'hydrolyse et le dosage des HAP par HPLC-F et un autre

volume de 25 $\mu$ l est destiné pour la détermination du taux de la biliverdine et des protéines biliaires par l'absorbance.

Un volume de 25 $\mu$ l de bile a été mélangé avec 95 $\mu$ l d'eau et 5 $\mu$ l de solution de  $\beta$ -glucuronidase/arylsulfatase (30-60 U/ml), puis incubé pendant 2h à 37°C dans un agitateur chauffant. La réaction est arrêtée par l'addition de 125 $\mu$ l d'éthanol et la solution finale est centrifugée (5 mn, 700 x g). Les surnageants ont été transférés dans des flacons individuels pour l'analyse des HAP par HPLC.

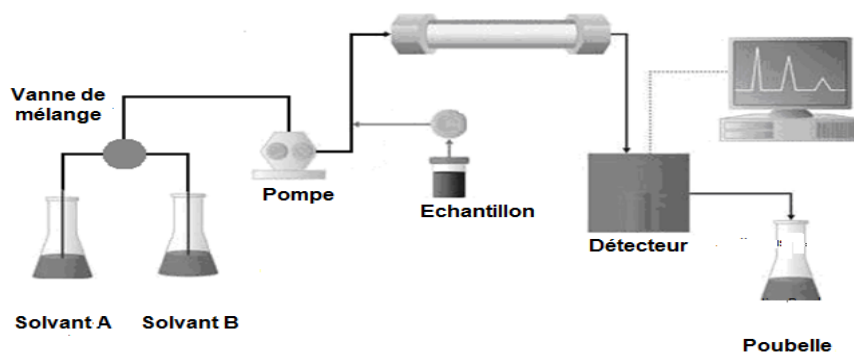
## II.4. Dosage des HAP par la méthode HPLC

### II.4.1. Technique d'analyse par chromatographie en phase liquide couplée à un détecteur à fluorescence

La chromatographie liquide haute performance couplée à un détecteur de fluorescence HPLC-F été utilisée pour le dosage d'HAP faisant objet de cette étude.

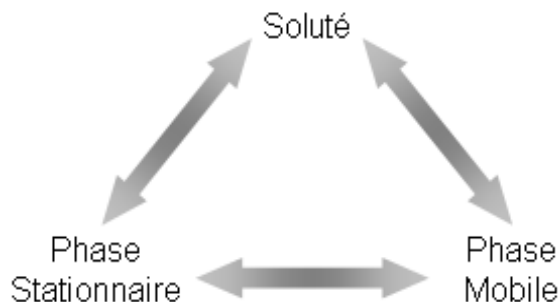
Cette technique vise la séparation des constituants d'un mélange donné a été développée en 1968 par Giddings (McLaren *et al.*, 1968).

Un appareil de chromatographie liquide est constitué d'un système de pompage, d'un système d'injection et d'un détecteur (Figure 53).



**Figure 53** : Schéma d'un appareil à basse pression de chromatographie liquide à haute performance

Le principe de séparation repose sur l'interaction des solutés entre deux phases non miscibles : la phase stationnaire qui est fixe et la phase mobile (Figure 54) (Caude & Jardy, 1996).



**Figure 54** : Principe de la chromatographie liquide haute performance

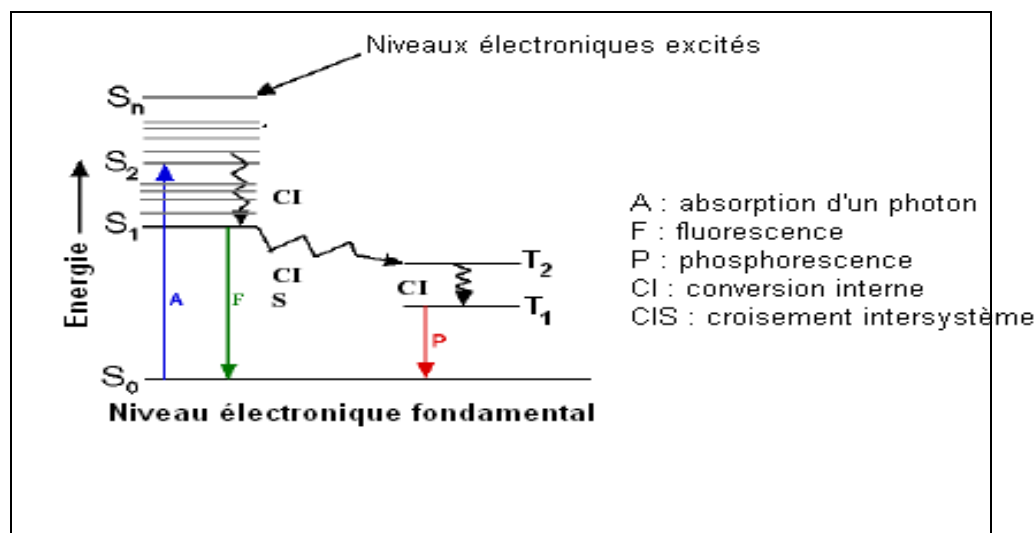
Un fluide appelé phase mobile parcourt un tube appelé colonne. Celle-ci peut contenir des "granulés" poreux (colonne remplie) ou être recouverte à l'intérieur d'un film mince (colonne capillaire).

Les composés sont généralement introduits via des injecteurs capables de supporter les pressions élevées en tête de colonne. Pour se faire, des vannes à boucle d'échantillonnage manuelle ou automatique avec un système de passeur, ont été mises au point. Son fonctionnement est le suivant : l'échantillon injecté dans la boucle est entraîné par la phase mobile en tête de colonne par rotation de la vanne. Une autre rotation permet ensuite le rinçage de la boucle. L'injection automatique assure une meilleure reproductibilité du volume d'injection, nécessaire à l'étalonnage externe des composés (Caude & Jardy, 1996).

Ce type de détection possède une grande sélectivité et une sensibilité élevée. Le principe de la fluorescence est décrit en trois étapes par le diagramme de Jablonski (Lakowicz, 1999):

- La molécule fluorescente (ou fluorochrome) absorbe des photons dans l'UV et passe d'un état électronique fondamental ( $S_0$ ) à un état singulet excité ( $S_n$ ).
- L'énergie absorbée ( $S_n$ ) peut être dissipée sous forme de chaleur ou par des conversions internes. Le fluorochrome perd en énergie interne et passe à un état singulet excité plus faible ( $S_1$ ).

- La fluorescence est le retour de l'état excité de la molécule à son état fondamental ( $S_0$ ) avec la ré-émission d'un photon (Figure 55).



**Figure 55** : Diagramme de Jablonski décrivant le principe de la fluorescence

Ces détecteurs sont équipés d'une source lumineuse, de filtres d'excitation appelés monochromateur d'excitation, d'une cellule d'analyse et de filtres d'émission. Le principe de fonctionnement est le suivant : la source lumineuse traverse le monochromateur à une longueur d'onde choisie, le faisceau lumineux émergent excite la molécule présente dans la cellule et la lumière émise traverse un nouveau filtre d'émission. La lumière résultante est intensifiée via un photomultiplicateur, le signal est enregistré sous forme de pics (Caude &Jardy, 1995).

### b. Protocole expérimental

Les métabolites des HAP (1-hydroxypyrene, 1-hydroxphenantrene et 3-hydroxybenzo[a]pyrène) ont été séparés par la technique de chromatographie en phase liquide HPLC en utilisant un appareil de modèle Système Lachrom (Merck Hitachi) comprenant une pompe quaternaire (L-7100). Les échantillons ont été séparés par une colonne à nucléosil 100-5 C18 (4.6 x 250 mm) à phase inverse. Cette colonne est munie d'une pré-colonne de 5x4 mm.

La phase mobile initiale est l'acétonitrile (0,1%)/l'acide trifluoroacétique pour un volume de 50:50 (v/v) pompé à 1 ml/mn. Après une durée de 19mn, la composition du solvant est changée à 60:40 pour 6mn puis changée en dernier lieu à 100% d'acétonitrile pour 3mn.

Après chaque lot d'échantillons (6 Standards et 25 échantillons) la colonne est rincée par le méthanol (Figure 56).



**Figure 56 :** Appareil d'HPLC couplé à un détecteur de fluorescence

#### **II.4.2. Détermination de la limite de détection (LD) et de quantification (LQ)**

La limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ) ont été calculées à partir d'une courbe du standard DIN 32645 (DIN, 1994) avec un intervalle de confiance de 99%. Pour 1-OH pyrène et 1-OH phénanthrène, LD et LQ sont respectivement de l'ordre de 3,4 (0,5) et 22,5 (1,7) ng ml<sup>-1</sup> de bile.

L'étalonnage des solutions a été préparé dans de l'acétonitrile de 5mg/ml. L'excitation et l'émission des longueurs d'ondes paires pour 1-hydroxypyrene et 1-hydroxyphénanthrène sont respectivement 346/384 nm et 256/380 nm.

Un matériel de référence standard BCR-720 (Ariese *et al.*, 2005) a été utilisé pour tester la précision de cette méthode.

## II.5. Détermination de la biliverdine et l'absorbance à 380nm (A380)

Un volume de 25 µl de la bile a été ajouté à un volume de 475µl d'eau et l'absorbance a été enregistrée à 380 nm et 660 nm en utilisant la moitié des microcuvettes et un spectromètre UV/VIS (Perkin Elmer, Lambda 2S) selon Grossbard *et al.* (1987).

## II.6. Analyse statistique

L'analyse unidirectionnelle de variance (ANOVA) a été appliquée pour tester les différences entre les stations d'échantillonnage en utilisant le test de Scheffé à 95% et pour tester la différence entre les moyennes des échantillons le test-t student a aussi été appliqué en utilisant le logiciel SPSS.13.

## III. RESULTATS

### III.1. Caractéristiques des anguilles pêchées

Les données morphométriques, le facteur de condition (Kc) et le rapport hépatosomatique (RHS) sont présentés dans le tableau XVII.

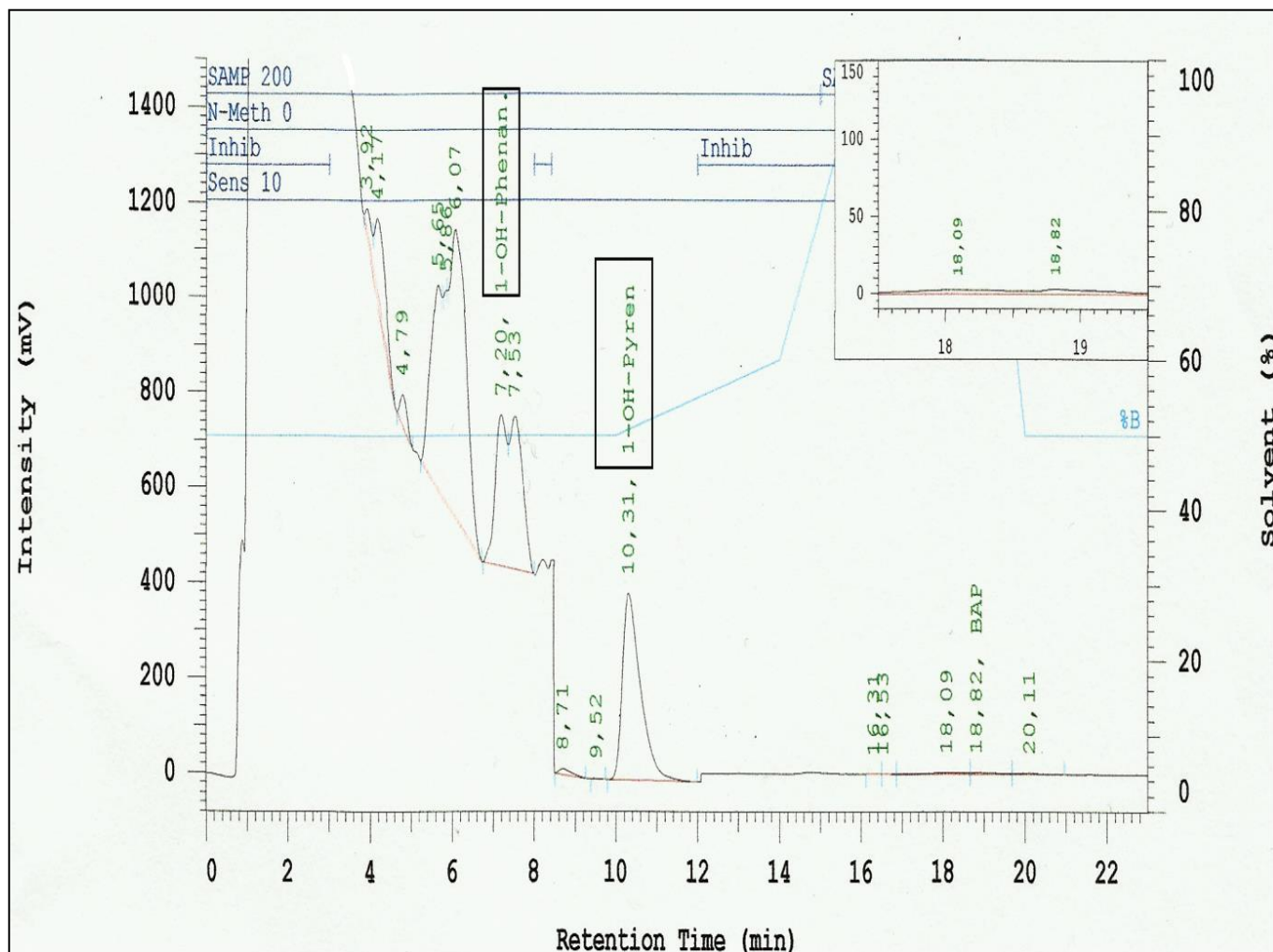
La variabilité de la longueur totale et le poids total des anguilles était faible entre les trois sites d'échantillonnage. Même remarque a été réalisée pour le facteur de croissance Kc qui varie entre 1,2 et 1,3. Donc il n'y a aucune différence significative concernant la taille, le poids, et le coefficient de condition entre les sites étudiés.

**Tableau XVIII** : Présentation des moyennes, erreur standard : longueur totale, poids total, coefficient de condition et facteur hépatosomatique des anguilles pêchées dans les estuaires du Loukkos et du Sebou. (S1= Sebou amont, S2= Sebou aval, S3=Estuaire Loukkos).

	S1	S2	S3
<b>Longueur totale (mm) ± SE</b>	402,6±47,1 (335-550)	417,1±59,9 (337-610)	533,5±90,1 (350-900)
<b>Poids (g) ± SE</b>	135,1±52,9 (66,3-295,5)	145,7±64,8 (68,8-489,6)	267,4±103,2 (72,8-556,4)
<b>RHS± SE</b>	0,9±0,1 (0,7-1,4)	1,8±0,4 (1,1-3,3)	1,3±0,2 (1,0-1,7)
<b>(Kc) ± SE</b>	1,4±0,1 (1,2-1,6)	1,3±0,1 (1,1-1,7)	1,2±0,2 (0,5-1,6)

### III.2. Dosage des métabolites d'HAP dans la vésicule biliaire par HPLC-FD

Les chromatogrammes obtenus lors de la mesure des concentrations en HAP par HPLC couplée à une détection par fluorescence (HPLC-FD) dans les échantillons de la bile sont présentés dans la figure 57.



**Figure 57** : Chromatogramme d'un échantillon du contenu biliaire chez les anguilles collectées au Sebou

Parmi les métabolites de HAP étudiés, le 1-OH pyrène (1-OH pyr) et le 1-OH phénanthrène (1-OH Phen) ont été détectés dans tous les échantillons, alors que le 3-OH benzo [a] pyrène (BaP) n'a pas été détecté (au-dessous du niveau de détection : LQ) dans tous les sites (tableau XVIII).

**Tableau XIX:** Dosage des métabolites des HAP: 1-Hydroxypyrene, 1-Hydroxyphenanthrene, et biliverdine (ng/ml bile) au niveau des anguilles pêchées en 2009 dans les sites étudiés (S1= Sebou amont, S2= Sebou aval, S3=Estuaire Loukkos).

Sites	N	Biliverdine	A380/ml	1-Hydroxypyrene	1-Hydroxyphenanthrene
		Moyenne±SE	Moyenne±SE	Moyenne±SE	Moyenne±SE
S1	13	118,1±59,1	20,8±11,2	51,5±47,3	62,2±26,3
		10,5-284,9	125,0-7,7	17,7-113,1	17,8-113,1
S2	20	216,7±55,0	20,8±11,2	153,6±73,3	68,7±34,3
		129,1-666,5	12,0-7,7	58,6-153,6	25,7-182,9
S3	12	487,5±494,2	35,7±29,8	209,5±124,0	72,8±69,8
		85,8-2332	143,5-6,5	56,4-453,4	9,8-304,6

Nous remarquons que le métabolite 1-OH pyrène (1-OH pyr) était le composant dominant dans la plupart des échantillons d'anguilles. Dans le site S1 les mesures de ce métabolite varient entre 17,7 - 113,1 ng/ml avec une moyenne de 51,5 ng/ml et en S3 ses valeurs varient entre 56,4 – 453,4 ng/ml avec une moyenne de 209,5 ng/ml à l'exception des échantillons issus du site S1 (amont du Sebou) où la quantité de 1-OH Phen était plus élevée par rapport aux autres contaminants HAP déterminés avec une moyenne de 72,8 ng/ml et varie entre 9,8 - 304,6 ng/ml.

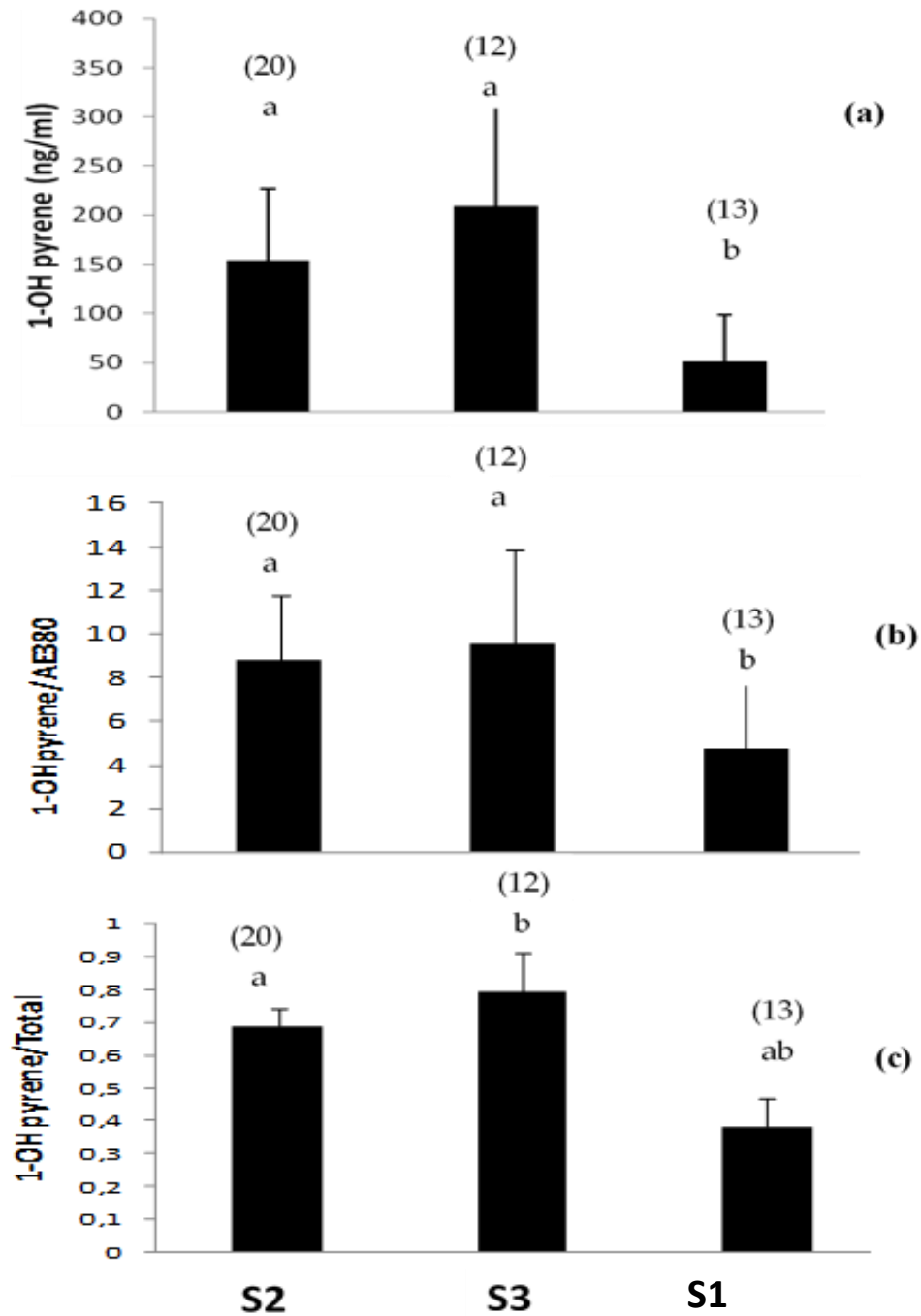
### III.3. Normalisation des métabolites HAP

Après normalisation en divisant les concentrations biliaires de 1-OH pyrène par la valeur de l'absorption à 380 nm (A380nm), les résultats n'ont montré aucune différence significative entre les sites (Figure 58b). Cependant, après la normalisation du métabolite 1-OH pyrène par la concentration totale des HAP, les anguilles pêchées du Loukkos (S3) ont montré des

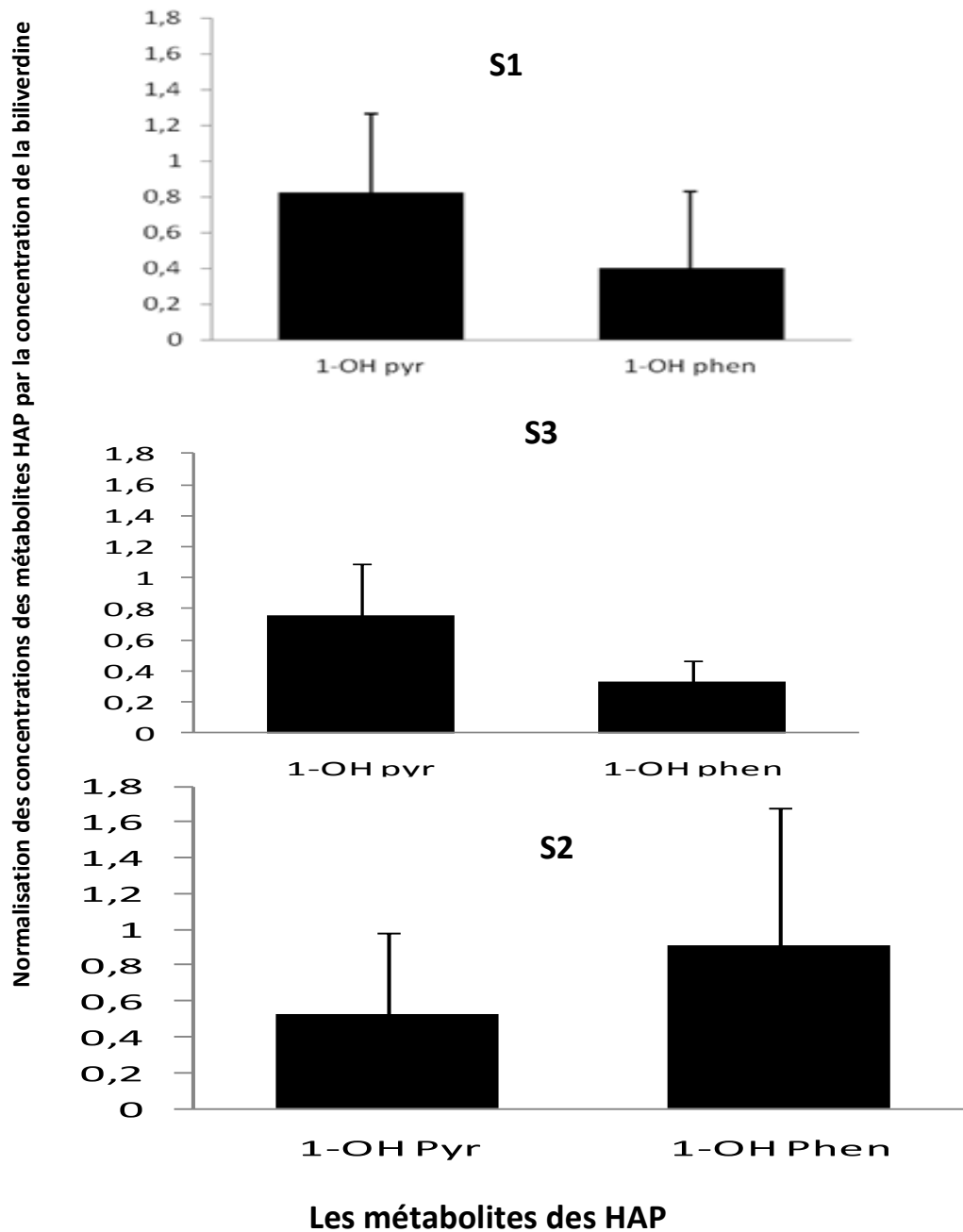
concentrations significativement plus élevées (ANOVA, Scheffé's post hoc,  $p < 0,05$ ) par rapport aux deux autres stations du Sebou (S1 et S2) (Figure 58 c).

Les résultats de la normalisation des métabolites biliaires HAP (1-OH pyr et 1-OH phen) par l'absorbance de la biliverdine (Figure 59) montrent que le taux du métabolite 1-OH pyrène/biliverdine est supérieur à celui du 1-OH phen/biliverdine dans les sites S1 et S3. Quant au site S2, une remarquable augmentation du 1-OH phen/biliverdine par rapport à celle du 1-OH pyr/biliverdine est décelée.

Après normalisation par la concentration de la biliverdine de la vésicule biliaire, le site S2 (Aval de l'estuaire du Sebou) semble plus contaminé par les composés organiques de 1-OH phénanthrène.



**Figure 58** : Variation de la concentration du 1-OH Pyrène (ng/ml) sans ou avec normalisation des concentrations chez les anguilles collectées à S1, S2 et S3.

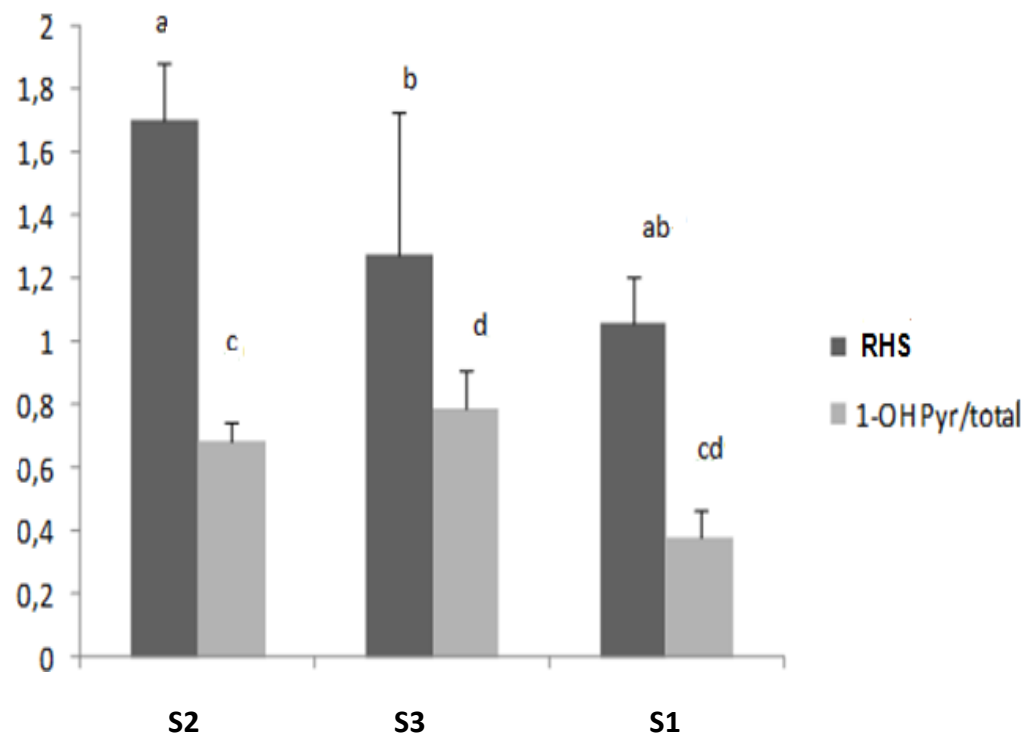


**Figure 59:** Normalisation des concentrations des HAP biliaires par la biliverdine chez les anguilles pêchées en S1, S2 et S3 dans les sites S1 (l'amont du Sebou), S2 (bas Sebou), S3 (bas Loukkos).

### III.4. Relation HAP - rapport hépatosomatique (RHS)

Le rapport hépatosomatique (RHS) montre une variation significative entre tous les sites. Apparemment, les anguilles de Sebou en aval montrent la valeur la plus élevée avec une valeur de  $p < 0,05$  (Figure 60), suivies par les anguilles de Loukkos et en dernier rang les anguilles de Sebou amont. Il y a une corrélation négative significative entre le facteur HSI et la concentration de 1-OH pyrène/total d'HAP ( $P < 0,05$ ).

Pour les sites S1 et S3 on remarque que plus le facteur hépatosomatique est faible plus le degré de contamination par les polluants 1-OH pyrène est élevé.



**Figure 60** : Variation du rapport hépatosomatique (RHS) et du rapport de la concentration du métabolite 1-OH pyrène/total des anguilles dans les sites étudiés (S1= Sebou amont, S2= Sebou Aval, S3=Estuaire Loukkos).

#### IV. DISCUSSION

Cette étude a montré l'existence d'importants métabolites d'HAP tels que le 1-OH pyr et le 1-OH phen dans la vésicule biliaire des anguilles. Alors que le métabolite Benzo(a)pyrène était indétectable.

Dans la plupart des échantillons, le 1-OH pyr est le métabolite d'HAP le plus prédominant. D'autres études ont confirmé aussi l'utilité de ce métabolite du fait qu'il est le principal composant des HAP trouvé dans la vésicule biliaire des poissons (Van der Oost *et al.*, 1994 ; Aas *et al.*, 1998; Ruddock *et al.*, 2003 ; Beyer *et al.*, 2010 ; Nagel *et al.*, 2012b).

La présence du 1-OH phen, un autre contaminant organique, dans les échantillons biliaires des anguilles, montre que ce poisson est sujet à différents contaminants des hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Cependant, les valeurs de mesures du 1-OH phen sont significativement inférieures à celles du 1-OH pyr. Ces résultats sont en accord avec ceux de Ruddock *et al.* (2003) et Nagel *et al.* (2012b).

En effet, la présence des phénanthrènes chez les anguilles à des teneurs faibles est expliquée par le fait qu'ils sont fortement liés au sédiment ce qui diminue leur biodisponibilité dans l'environnement aquatique notamment dans les estuaires (Yuan *et al.* 2001).

En outre, le métabolite 3-OH benzo[a]pyrène était absent chez tous les échantillons d'anguilles analysées. Ce métabolite est un mutagène très cancérigène (Penning *et al.*, 1999). Sa production est liée à de nombreux procédés industriels notamment les raffineries de pétrole (Lin *et al.* 1994). L'énergie de formation des métabolites BaP est de l'ordre de 82,269 Kcal.mol<sup>-1</sup> (Hites et Simonsick, 1987). Alors que celles des pyrènes et phénanthrènes elles sont respectivement de l'ordre de 55,389 et 61,764 Kcal.mol<sup>-1</sup>. Ceci, montre la complexité de la formation des BaP par rapport aux autres métabolites d'HAP étudiés. La différence de biodisponibilité des composés peut cependant être un facteur déterminant leur présence dans la matrice biologique, notamment le contenu biliaire des anguilles.

Les concentrations du 1-OH pyr dans les estuaires du Loukkos (S3) et du Sebou partie aval (S2) sont significativement plus élevées ( $P < 0,05$ ) que celle du site S1.

Néanmoins, les variations de concentrations entre les sites S1 et S2 ne sont pas significatives. Les résultats gardent les mêmes tendances, même après leur normalisation par rapport à l'absorbance

380 nm. Même remarque a été notée par Ruddock *et al.* (2003), Vuorinen *et al.* (2006) et Nagel *et al.* (2012b).

En outre, les plus faibles concentrations du 1-OH Pyr et 1-OH phen, sont détectées chez les anguilles capturées en S1 (Estuaire amont du sebou). Ce site a été choisi, du fait qu'il est loin de la partie avale de l'estuaire (S2). Néanmoins, l'estuaire aval est le réceptacle de nombreuses substances toxiques métalliques ou organiques d'origine anthropique. Le site S2 se trouve proche d'une activité anthropique très intense (ville de Kénitra), ajoutant à ce fait les eaux polluées provenant de ces différents affluents de la rivière du Sebou qui est chargé des différents polluants issus d'une activité intense des industries et de l'activité artisanle.

Par ailleurs, au niveau de l'estuaire du Loukkos, zone qui connaît une forte activité agricole, El Bakouri *et al.* (2008) ont montré l'utilisation des fortes teneurs de pesticide. La culture du riz est réalisée près du site d'échantillonnage d'anguilles à proximité du barrage de garde, les déchets organique et métallique issus de cette culture sont déversés dans l'estuaire (El Morhit, 2009), dégradant ainsi la qualité d'habitat des anguilles et augmentent leur stress, ce qui les rendent plus sujettes à n'importe quelle contamination.

Une source supplémentaire de cette pollution pourrait être attribuée au trafic routier concernant l'auto-route reliant Tanger à Larache. Les métabolites d'HAP sont rejetés directement dans l'atmosphère (par l'échappement du gaz) et ensuite transportés par les courants d'air qui peuvent les déposer ainsi sur les eaux estuariennes ou de la rivière. Ceci peut être aussi une source ajoutée, expliquant ainsi les taux élevés des métabolites de pyrène.

L'exposition des poissons à une concentration sublétales de polluants organiques peut conduire à une augmentation du facteur hépatosomatique (RHS). En effet, cette augmentation est une de l'activation ou de l'induction des enzymes de biotransformation. Toutefois, lorsque la toxicité des polluants est élevée, ceci conduit généralement à une diminution du facteur de RHS, suite à de lésions hépatocellulaires associées à la mort cellulaire (Ma *et al.*, 2005). Dans cette étude, le facteur RHS était significativement plus élevé dans la vésicule biliaire des anguilles de Sebou en aval (S2) par rapport à celles pêchées dans l'estuaire du Loukkos (S3) et dans S1 (Sebou amont). L'augmentation de ce facteur dans les échantillons issus du Sebou et Loukkos estuaire suggèrent que ces anguilles ont été exposées aux effluents avec une concentration sublétales de polluants dans ces estuaires. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Mdegela *et al* (2010).

## V. CONCLUSION

Au terme de cette étude organique sur les anguilles. Il s'est avéré que les métabolites biliaires d'HAP étudiés : 1-OH pyr et le 1-OH phen ont le potentiel de décrire l'état de l'exposition des anguilles (et d'autres poissons) face aux polluants organiques (HAP).

En effet, les anguilles pêchées dans les deux estuaires se sont avérées contaminées par ces métabolites organiques, et surtout l'hydroxypyrene (1-OH pyr).

Les indices de condition notamment l'indice du rapport hépatosomatique (RHS) a été jugé aussi comme un biomarqueur sensible à la contamination par ces polluants organiques (HAP), précisément, la contamination par les 1-OH pyr.

L'anguille commune dans les estuaires marocains (Sebou et Loukkos) est sujette à une contamination non négligeable dans ces milieux.

D'où, la nécessité de faire un programme de bio surveillance continu et d'envisager des actions plus appropriées pour la sauvegarde de cette espèce. Notamment, par l'amélioration de la qualité des habitats et l'intégration des actions d'organismes tels que les EIFAAC/ICES Working Group on Eel (WgEel) afin de réaliser en collaboration avec ces organismes de haute expertise, un plan de gestion pour limiter les contaminations des habitats des anguilles par ces produits très toxiques.

# Chapitre V

**ETUDE EPIDEMIOLOGIQUE DE L'INFECTION  
DES ANGUILLES (*A. ANGUILLA*) PAR LE  
NEMATODE PARASITAIRE *ANGUILLICOLOIDES  
CRASSUS***

## INTRODUCTION

L'Anguille commune (*Anguilla anguilla*) poisson de grande valeur économique, a connu un déclin général des stocks depuis les années 1980. En effet, ses prises ont considérablement diminué sur toute son aire de répartition (Moriarty et Dekker, 1997). Le Maroc qui présente sa limite méridionale sud de sa répartition a connu aussi une diminution des stocks (Yahyaoui, 1991, El Hilali 1998, Wariaghli *et al.* 2012 ; Wariaghli *et al.*, 2013c).

Ce déclin est supposé être causé par de nombreux facteurs naturels ou anthropiques tels que l'influence du changement climatique par la modification du Gulf Stream, les obstacles à la migration, la dégradation et la raréfaction des habitats, les polluants, la surpêche. Les agents pathogènes (notamment le Nématode *Anguillicoloides crassus*),

En effet, la famille des Anguillidae est sujette à diverses maladies. Filippi (2013) a montré la présence de treize parasites chez l'anguille (*A. anguilla*), parmi les espèces les plus invasives *Anguillicoloides crassus*.

*Anguillicoloides crassus* (Kuwahara *et al.*, 1974 ; Moravec 2006) appartient à la famille des Anguillicolidae. Ce nématode est un parasite hématophage spécifique de la vessie natatoire, de l'anguille (*Anguilla anguilla*). Par conséquent, sa présence ne peut être détectée qu'après autopsie de l'anguille. C'est une espèce hétéroxène invasive utilisant un copépode cyclopoïde comme hôte intermédiaire (De Charleroy *et al.*, 1987).

Cet endoparasite hématophage, fragilise la paroi de la vessie natatoire de l'anguille. Cette vessie fragilisée risque alors d'empêcher l'anguille d'atteindre son lieu de ponte.

Dans le début des années 1980, suite à l'importation des anguilles japonaises (*Anguilla japonica*) infectées par ce nématode (Feunteun, 2002; Palstra *et al.*, 2006; Jakob *et al.*, 2009; Lefebvre *et al.*, 2012), une forte colonisation de ce parasite est alors remarqué depuis son apparition en Allemagne (Lefebvre *et al.*, 2003).

Au Maroc, les premières données épidémiologiques sur ce parasite (*A. crassus*) ont été initialement décrites dans les rivières marocaines par El Hilali *et al.* (1996). Depuis, l'étude

marocaine de ce parasite a intéressé plusieurs auteurs : Kheyyali *et al.* (1999), Rahhou *et al.* (2001), El Hilali *et al.* (2004), Yahyaoui *et al.*, (2004), Loukili et Belghyti (2007).

Le but de cette étude parasitologique est de surveiller les niveaux d'infection d'*Anguillicoloides crassus* dans les estuaires du Sebou et du Loukkos. Ces estuaires considérés comme les principaux sites de la pêche commerciale de l'anguille au Maroc.

Cette étude a été réalisée par :

- L'utilisation d'un nouveau indice d'infection de la vessie natatoire : le SDI.
- Le suivi de la dynamique d'anguillicolose des anguilles du Sebou de 1994 à 2009, afin d'évaluer l'état sanitaire des anguilles infectées durant cette longue période.

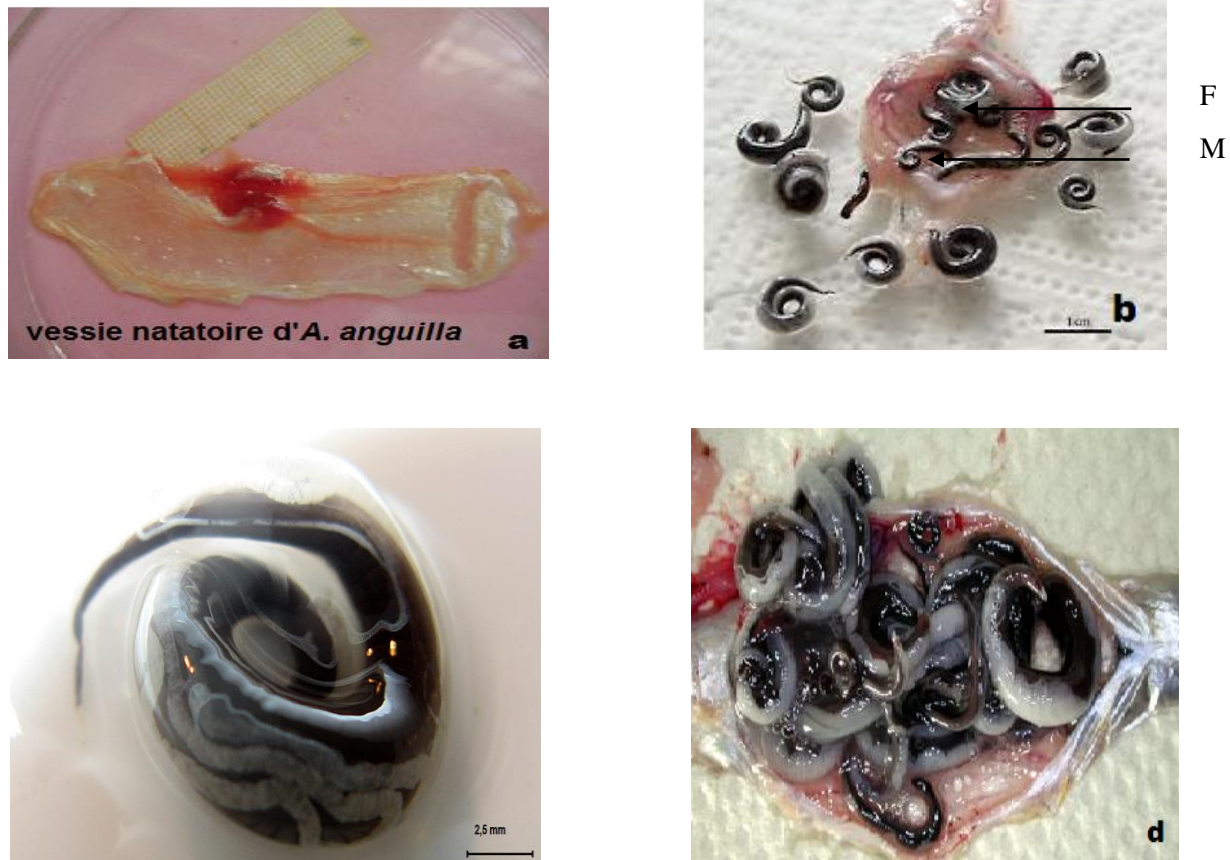
## **I. SYSTEMATIQUE D'ANGUILLICOLOIDES CRASSUS ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE**

### **I.1. Systématique**

De nombreux parasites de l'Anguille avec des cycles variés existent. Parmi la cinquantaine dénombrée, seulement trois causeraient une mortalité chez l'Anguille. Il s'agit de *Pseudodactylogyrus anguillae*, *Pseudodactylogyrus bini* et *Anguillicoloides crassus*.

L'*Anguillicoloides crassus* (Kuwahara *et al.*, 1974) est un nématode parasite (Figure 61) classé comme suit :

<b>Phylum</b>	Nematoda
<b>Classe</b>	Secernentea
<b>Ordre</b>	Dracunculoidea
<b>Famille</b>	(Anguillicoloidae)
<b>Genre</b>	Anguillicoloides
<b>Espèce</b>	<i>Anguillicoloides crassus</i>



F  
M

**Figure 61 :** *Anguillicoloides crassus*

## I.2. Répartition géographique

### I.2.1. En Europe

Le parasite *Anguillicoloides crassus* est introduit en Europe au début des années 1980. Néanmoins, il fut introduit en Europe lors d'importation d'anguilles japonaises (*Anguilla japonica*). Ce nématode a été signalé simultanément en Allemagne et en Italie. En Allemagne, les premières infections des anguilles par ce nématode ont été décrites par Neumann (1985) dans la région du Nord Weser-Ems. Avec un taux d'infection de 20% (1985) et 38% (1986). En Italie, les premières infections des anguilles ont été déclarées dans le lac de Bracciano (Nord Italie) (Paggi *et al.*, 1982) avec un taux d'infestation de 40%. Dans les Pays-Bas, Van Willigen et Dekker

(1989) ont signalé en 1985, l'expansion de ce parasite dans les eaux d'Ijsselmeer. Le premier degré d'infestation est estimé à 44%. Puis en 1986, la prévalence de ce parasite augmente arrivant à 88% et en 1987 l'infection se propageait de façon spectaculaire atteignant le taux de 94%.

Depuis l'infestation se répandit dans toute l'Europe. La France a déclaré en 1985 par Dupont et Petter (1988) un taux d'infestation de 95%. Puis toute l'Europe a été envahie : Belgique (Belpaire *et al.* 1989), Espagne (Belpaire *et al.*, 1989), Grande Bretagne (Kennedy et Fitch, 1990), Danemark (Boetius, 1989), Hongrie (Szekely *et al.*, 1991)...

La vitesse et les modalités de l'extension de ce parasite à travers l'Europe (Figure 62) résultent des transferts commerciaux sur l'ensemble du continent. Les transports d'anguilles vivantes conduisent à son introduction dans une nouvelle localité et ses attributs de colonisateur aboutissent à l'invasion rapide du nouveau milieu.



**Figure 62 :** Répartition d'*Anguillicoloides crassus* dans l'aire de répartition d'*Anguilla anguilla* (Wariaghli, 2013)

### 1.2.2. Au Maroc

Les estuaires du Sebou et du Loukkos, sujets de notre étude sont les premiers foyers d'*Anguillicoloides crassus* (*A. crassus*) au Maroc. Ils ont été signalés au Maroc en 1994 par El Hilali *et al.*, (1996). Les premiers taux d'infestation de ce parasite aux deux estuaires du Loukkos et Sebou sont respectivement de 41,29% et 47,92%.

En 1997, ce parasite commence à se disséminer sur la façade méditerranéenne à Oued Moulouya avec une prévalence de 55%, après trois ans ce même site présente des degrés d'infestation trois fois plus élevés atteignant 70% selon Rahhou *et al.* (2001). En 2003, Wariaghli (2006) a signalé la présence de ce parasite pour la première fois à l'Oued Martil, avec une prévalence de 52%.

L'origine de l'infestation des anguilles marocaines, ne peut pas être comme son exemplaire en Europe dûe à l'importation des anguilles vivantes. L'hypothèse la plus probable est l'introduction des alevins de poissons cyprinidés de Bulgarie dans les rivières marocaines afin de lutter contre le problème de l'eutrophisation. Ces poissons faisant partie du cycle biologique d'*A. crassus* et peuvent renfermés le parasite à l'un de ses stades larvaires.

### I.3. Cycle biologique d'*Anguillicoloides crassus*

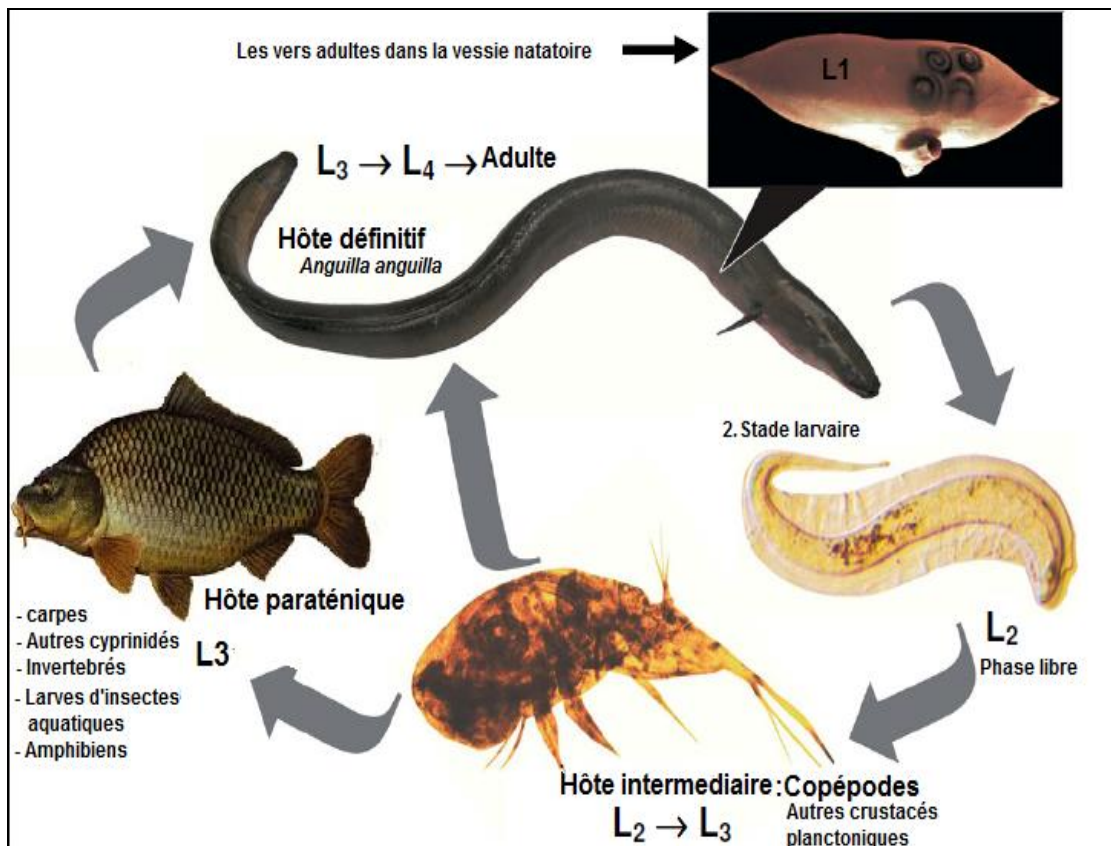
Pour atteindre le stade adulte, *A. crassus* passe par quatre stades larvaires. Pour un cycle biologique réussi *A. crassus* nécessite un hôte définitif (*Anguilla anguilla*) et un hôte intermédiaire (copépodes, ostracodes et autres crustacés planctoniques). Ce cycle biologique est représenté dans la figure 63.

Après la copulation, les œufs fertilisés se transforment en larves (L1) qui se transforment en larves L2 à l'intérieur de l'œuf. Ces larves L2 présentent la phase libre du parasite. Le temps de survie de la larve L2 dans l'eau dépend de la température (De Charleroy *et al.*, 1990) et de la salinité (Kirk *et al.* 2000). La larve L2 peut survivre jusqu'à trois semaines et ce à une température de 21°C dans les eaux douces. Cependant, dans les eaux salées et à une même température (21°C), elle ne peut vivre que pendant trois à quatre jours. Ingerées par l'hôte intermédiaire, ces larves (L2) passent au stade larvaire L3.

A partir de ce stade ces larves peuvent infester d'autres espèces de poissons. La présence de ces larves (L3) dans la vessie natatoire de certaines espèces de poissons d'eaux douces, laisse

supposer la présence d'autres hôtes que l'anguille. Ces poissons sont dits paraténiques (Haenen 1996).

Le dernier stade larvaire est le stade L4. Ce stade ne peut être atteint qu'à l'intérieur de l'hôte définitif présenté par l'Anguille. En effet, les L3 migrent du tube digestif de l'anguille vers sa vessie natatoire où elles se nourrissent du sang (hématophage) pour se transformer au dernier stade larvaire L4. Ce dernier n'est atteint qu'après une période de 3 mois d'infestation de l'anguille (Haenen, 1996). Par la suite, les larves L4 deviennent adultes.



**Figure 63 :** Cycle biologique d'*Anguillicoloides crassus* (Bernies, 2011, modifié par Wariaghli, 2013).

## **II. MATERIEL ET METHODES**

### **II.1. Echantillonnage**

Un total de 1138 vessies natatoires d'anguilles de l'estuaire du Sebou (2004-2009) et 100 anguilles de l'estuaire du Loukkos (2008-2009) ont été examinées.

Après avoir fait les mensurations des différentes anguilles, la vessie natatoire a été enlevée et macroscopiquement examiné pour la présence des nématodes adulte et pré-adulte. d'*Anguillicoloides crassus*. La prévalence et l'intensité moyenne ont été calculées selon Bush *et al.* (1997).

Pour les anguilles capturées dans la période 2008-2009 , l'indice dégénérative de la vessie natatoire (SDI) a été utilisé pour décrire l'état de santé de l'organe infecté. Ceci a été réalisé du fait que les paramètres épidémiologiques couramment utilisés , mentionnés ci-dessus, ne peuvent pas décrire uniquement l'impact global d'*A. crassus* sur les anguilles . La vessie natatoire est endommagée, entraînant une paroi fibreuse et réduite. Pouvant faire obstacle à l'établissement de nouvelles infections et donc une absence de parasites ; peut soit indiquer un manque d'infection si la vessie natatoire est en bon état, ou une intensité précédemment élevée si la vessie natatoire montre des signes de caractéristique pathologie (Lefebvre *et al.*,2004).

Le SDI quantifie les dommages observés dans un indice de la pression parasitaire , allant de 0 à 6. La valeur 0, où on n'a observé aucun signe pathologique de l'infection (paroi de la vessie natatoire mince et transparente) à 6 qui indique une vessie natatoire extrêmement endommagée (Lefebvre *et al.*, 2002).

### **II.2. Analyse statistique**

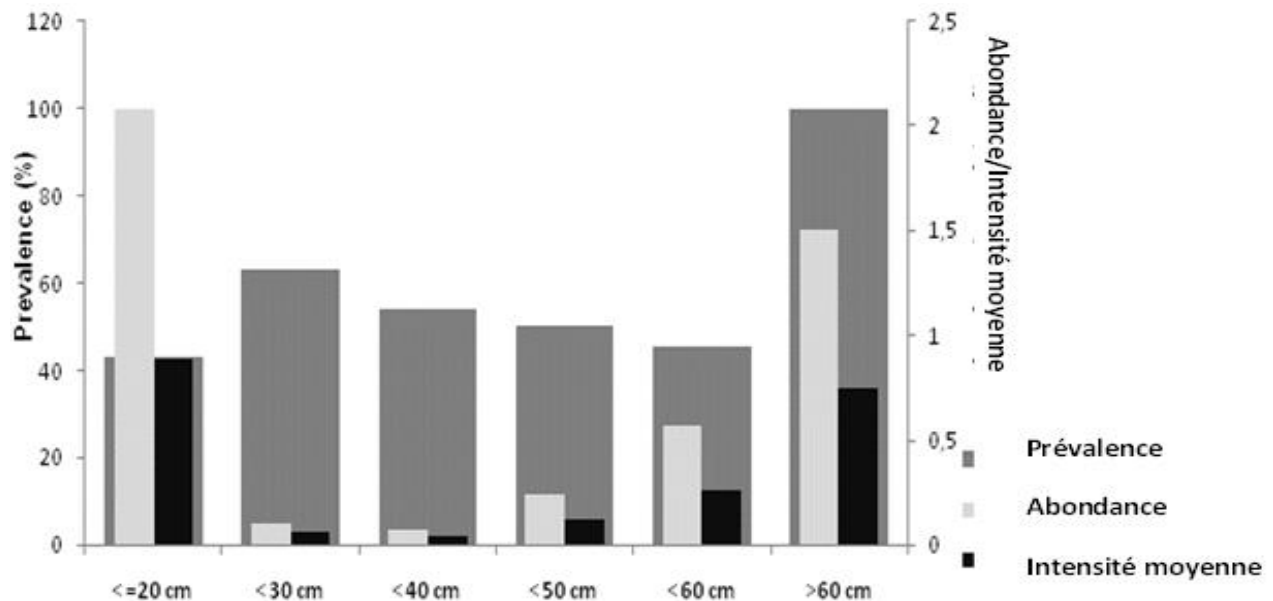
Les paramètres épidémiologiques ont été comparés entre les groupes (années, sites) à l'aide du modèle linéaire général (ANOVA) ou son équivalent non paramétrique là où c'est nécessaire (test de Kruskal-Wallis). Des corrélations ont été effectuées en utilisant le test de Spearman. Un niveau de signification de  $p < 0,05$  a été adopté partout. Toutes les analyses et graphiques ont été réalisés avec SPSS 17.0.

### III. RESULTATS

La Taille de des anguilles, le nombre total de parasite, la prévalence, l'intensité (nombre de parasites par des anguilles infectées) et le facteur SDI sont présentés dans le tableau XIX.

#### III.1. Évolution temporelle de l'anguillicolose à Sebou

La prévalence annuelle moyenne (%) et les intensités moyennes d'*A. crassus* dans les anguilles de l'estuaire du Sebou sont présentées sur la figure 64. Nous constatons que la prévalence de l'infection varie entre 39 et 66,7% au cours des années. Les années présentant les plus hautes prévalences ont été 2005 et 2006 avec un maximum de 66,7 (%) (n=175) en 2006. L'intensité moyenne de l'infection (nombre d'*A. crassus* par anguilles infectées) est également représentée sur la figure 64. L'intensité moyenne était de 2,93 parasites par anguille infectée dans Sebou. La taille des anguilles montrent une différence significative entre les années 2004 et 2009 (Kruskal-Wallis ANOVA:  $H_{4,1138} = 34.83$  ;  $p < 0.0001$ ). Toutes les catégories de taille d'anguilles ont été infectées par *A. crassus*. La plus petite anguille infectée était de 14 cm avec 2 parasites et la prévalence la plus élevée est détectée chez les anguilles dont les classes de taille sont supérieures à 60 cm.



**Figure 64 :** Relation entre la prévalence (%), intensité moyenne et l'abondance d'*Anguillicoloides crassus* des anguilles à Sebou

**Tableau XX** : Epidémiologie de l'infection d'*Anguilla anguilla* par le nématode *Anguillicoloides crassus* dans les eaux marocaines durant la période 1994-2009.

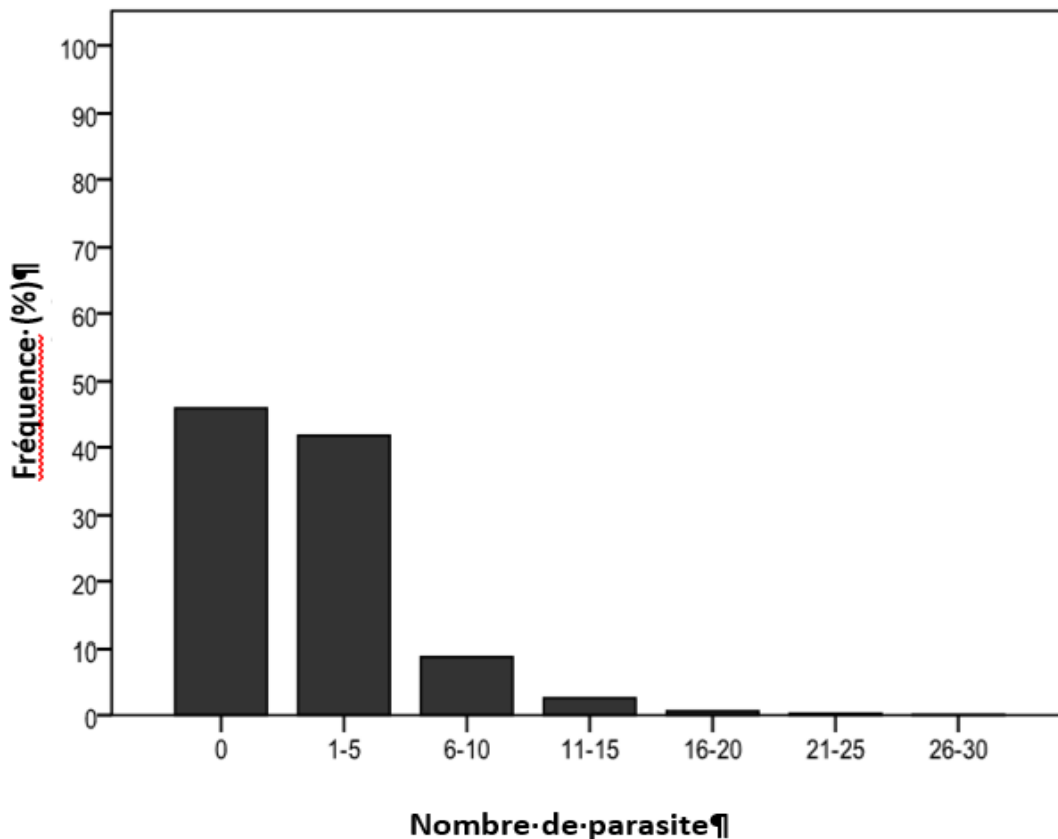
		Site	Nombre d'anguilles	Taille des anguilles (mm)	Nombre de parasites	SDI±SD	Prévalence (%)	Intensité
<b>El Hilali et al. 1996</b>	Oct 94	Loukkos	60	168.6	59	-	51.6	1.9
	Nov 94	Sebou	60	170.3	49	-	43.3	1.9
<b>El Hilali et al. 2004</b>	Feb 2002	Sebou	86	181.6	27	-	12.7	2.4
	Mar 2002	Sebou	62	197.9	75	-	37.1	3.2
	Apr 2002	Sebou	60	170.3	49	-	43.3	1.9
	May 2002	Sebou	45	157.3	27	-	40.0	1.5
	Jun 2002	Sebou	41	153.5	26	-	43.9	1.4
	Jul 2002	Sebou	58	169.9	47	-	46.5	1.7
	Sep 2002	Sebou	61	144.8	48	-	47.5	1.6
	Oct 2002	Sebou	60	168.7	59	-	50.0	1.9
	Dec 2002	Sebou	59	208.6	46	-	38.9	2.0
	Jan 2003	Sebou	56	188.7	63	-	55.3	2.0
	<b>Loukili &amp; Belghyti 2007</b>	July 2004	Sebou	86	340.2	335	-	65.1
<b>Wariaghli (Présente étude)</b>	Apr 2004	Sebou	107	342.0	148	-	42.0	3.3
	May 2004	Sebou	131	307.0	381	-	58.7	4.9
	Oct 2004	Sebou	63	305.0	155	-	79.3	3.1
	Nov 2004	Sebou	58	341.0	91	-	41.3	4.0
	Dec 2004	Sebou	39	290.4	75	-	56.4	3.4
	Jan 2005	Sebou	66	327.4	123	-	56.0	3.3
	Mar 2005	Sebou	60	323.0	73	-	58.3	2.0
	Apr 2005	Sebou	96	328.1	38	-	63.5	0.6
	Jan 2006	Sebou	60	367.9	173	-	56.6	5.1
	Feb 2006	Sebou	51	339.7	108	-	58.8	3.6
	Mar 2006	Sebou	41	340.1	97	-	73.1	3.2
	May 2006	Sebou	23	347.9	65	-	78.2	3.6
	Apr 2008	Loukkos	33	330.2	35	1.3±1.4	36.3	1.6
	Mar 2008	Loukkos	40	320.8	18	0.9±1.5	24.0	1.8
	Apr 2008	Sebou	30	358.83	37	1.9±2.0	39.0	3.1
	May 2009	Loukkos	10	460.1	8	1.9±1.8	40.0	2.0
	Oct 2009	Loukkos	17	504.8	37	3.0±1.5	65.0	3.3
	Mar 2009	Sebou	17	411.7	20	2.4±1.3	51.0	2.2
	May 2009	Sebou	37	387.5	44	1.4±0.7	58.0	2.0
	Oct 2009	Sebou	94	312.1	144	2.2±1.2	51.0	3.0
Nov 2009	Sebou	20	398.1	3	1.8±0.7	30.0	0.5	

### III.2. Comparaison de l'infection entre les sites

Il n'y avait pas de différence significative entre la fréquence de longueur des anguilles de l'estuaire du Sebou et celles du Loukkos. Cependant, les différences sont significatives entre les années de l'étude ( $p < 0,001$ ). La longueur moyenne des anguilles augmentent de 2003 à 2009.

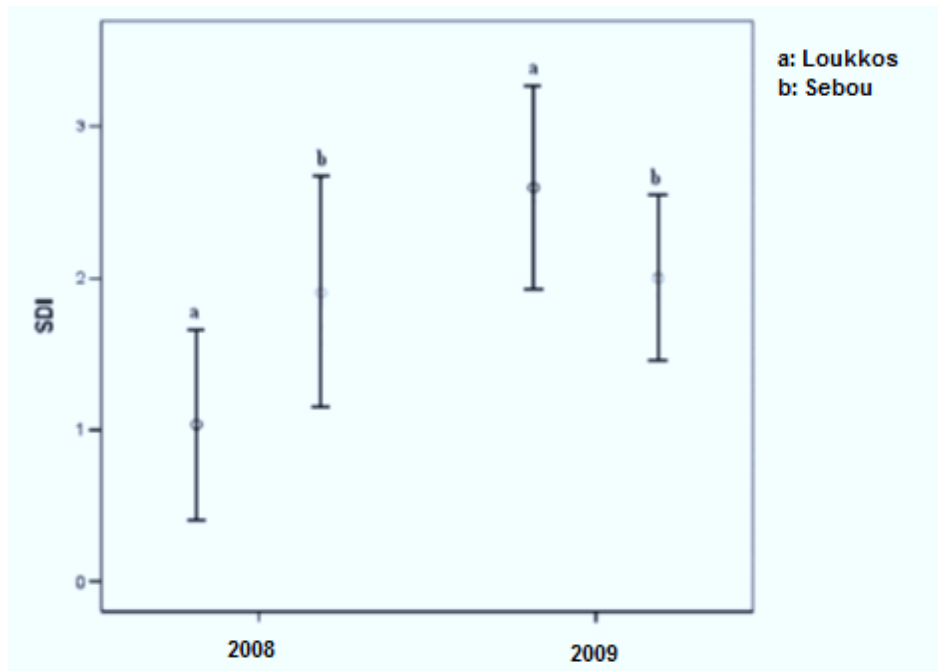
Les valeurs de prévalence varient d'un minimum de 12% en Mai 2009 chez les anguilles du Loukkos à un maximum de 79,36 % en Octobre 2004 chez les anguilles du Sebou.

L'intensité moyenne, la plus élevée, a été observée en Janvier 2006 à Sebou. La majorité des anguilles ont été non infectées ou possèdent un faible nombre de parasites (45,9% des anguilles non infectées ; 41,8% avec 1-5 parasites), tandis qu'un petit nombre est fortement infecté (Figure 65).



**Figure 65** : Distribution de la fréquence d'*Anguillicoloides crassus* chez les anguilles capturées dans les estuaires de Sebou et du Loukkos.

La moyenne du facteur SDI en 2008 et 2009 des vessies natatoires des anguilles de l'estuaire du Loukkos était respectivement de  $1,13 \pm 0,23$  (2008) et de  $2,45 \pm 0,77$  (2009). Alors qu'à Sebou les niveaux de SDI ne présentaient pas de grand changement :  $1,9 \pm 2,04$  (2008) et  $1,97 \pm 0,44$  (2009) (Figure 66).



**Figure 66** : Moyenne du facteur SDI  $\pm$ SD de la vessie natatoire des anguilles capturées dans les estuaires du Sebou et du Loukkos en 2008 et 2009.

En fait, il y a une variation significative entre 2008 et 2009 pour l'indice de la vessie natatoire (SDI) de l'anguille du Loukkos (Kruskal-Wallis  $H_{1,100}=14.28$ ;  $p<0.001$ ).

Les résultats du modèle linéaire général présentés dans le tableau montrent une différence significative de la prévalence entre Sebou et Loukkos ( $p<0,05$ ) et entre les années de l'étude ( $p<0,05$ ). Soit une variation spatio-temporelle.

Bien que l'effet de la saison et la longueur de l'hôte n'ont montré aucun impact sur la variation entre ces sites (Sebou et Loukkos), le nombre de parasite a révélé une forte corrélation avec le degré de détérioration de la vessie natatoire dans les deux échantillons du Sebou et du Loukkos. L'indice de Spearman est respectivement de l'ordre de 0,77 et de 0,67 dans Sebou et Loukkos.

**Tableau XXI** : Effet des sites, année et saison de pêche et longueur des anguilles sur la variation de la prévalence et l'intensité moyenne d'*Anguillicoloides crassus* en utilisant le modèle linéaire d'ANOVA.

	<b>Df</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>P</b>
<b>Prévalence</b>			
Site	1	3.264	<0.05
L'année	5	7.44	<0.05
Saison	3	0.29	0.83
Longueur de l'hôte	1	0.28	0.92
<b>Intensité moyenne</b>			
Site	1	1.029	0.32
L'année	5	0.882	0.49
Saison	3	1.316	0.29
Longueur de l'hôte	1	176.765	<0.05

#### **IV. DISCUSSION ET CONCLUSION**

Les premières études réalisées dans les estuaires marocains étaient au Sebou et au Loukkos (El Hilali *et al.*, 1996), où la prévalence était respectivement de 52 % et 43%.

La prévalence est passée de 60% en 2004 à 47 % en 2009 (Sebou). A Loukkos le taux d'infestation était plus stable à 30% (2008) et 38% (2009). Dans les deux sites, le degré d'infestation dans les dernières années est en baisse. Ce qui suggère que l'infestation par ce nématode de la vessie natatoire est en voie de stabilisation comme cela a déjà été suggéré par des études dans les lagunes saumâtres en France (Haenen *et al.*, 1996 ; Lefebvre *et al.*, 2002) et d'autres pays européens (au Pays-Bas : Van Willigen et Dekker (1989) ; en Angleterre : Ashworth (1994) ; en Hongrie : Molnar *et al.* (1994) ; en Allemagne : Koops et Hartmann

(1989), Würtz *et al.* (1998) ; en Belgique : Audenaert *et al.* (2003) ; en Autriche: Schabuss *et al.* (2005)). La possibilité d'adaptation à l'hôte pourrait expliquer la stabilisation de l'infestation. En effet, l'adaptation de la résistance est sans doute acquise après une longue période de coévolution hôte-parasite (Kirk, 2003). Nous devrions considérer ainsi que la salinité dans ces estuaires est également élevée. En effet, ce facteur est de limiter la propagation d'*A. crassus* sur toutes les eaux marocaines. Dans des conditions expérimentales, Kirk *et al.* (2000) ont observé l'éclosion maximale d'œufs de ce parasite. La survie et l'ineffectivité des larves dans les eaux douces est en baisse avec l'augmentation de la salinité. Néanmoins, les nématodes adultes étaient capables de survivre et de se reproduire en eau saumâtre ainsi que les eaux marines. Nos données ont montré une corrélation entre le nombre de parasites et les valeurs SDI, plus la vessie natatoire nourrissait des parasites plus elle a montré signe de dégradation.

Compte tenu de la variation saisonnière et inter-annuelle (2004-2009) au Sebou, il y a une diminution globale du taux d'infestation au printemps, en été et en automne. Mais il n'y a pas une grande variation de ces taux en hiver. Au Loukkos, la variation mensuelle montre la même baisse, sauf en octobre 2009 où un taux élevé a été enregistré (65%) ainsi que dans Sebou au cours du même mois (51%), cela ne peut pas être lié à la migration de reproduction des grandes anguilles fortement infectées, car une baisse saisonnière similaire s'observe encore lorsque nous ne considérons que les classes de petite taille ( $L_t < 20$  cm, données non présentées). Au contraire, cette baisse peut indiquer soit une régénération saisonnière hôte du tissu de la vessie natatoire, ou une hausse du taux de mortalité des anguilles fortement infectées (mortalité induite par le parasite) comme il a été suggéré par Lefebvre *et al.* (2002).

La fluctuation saisonnière du taux de parasitisme peut également être liée à des changements dans la période de l'alimentation des anguilles. En effet, les anguilles sont soumises à deux périodes critiques au cours desquelles elles ne se nourrissent pas : une fois en hiver, lorsque la température est inférieure à 10 ° C, et de nouveau en été, quand la température peut s'élever au-dessus de 30 ° C (Tesch, 2003).

Ces fluctuations de température et de salinité expliquent, d'une part, la faible prévalence enregistrée par rapport à celles en eau douce (prévalence en hausse de 100 %) dans différentes régions d'Europe (Kennedy et Fitch, 1990), et d'autre part, la forte prévalence (83%) mentionnée

en 1997 par Kheyyali *et al.* (1999) dans Sebou pourrait être due à un fort afflux d'eau douce pendant la période d'hiver, ce qui facilite la dispersion des larves en phase libre.

La voie de l'introduction d'*A. crassus* dans les eaux marocaines est encore inconnue, puisque le Maroc n'a jamais importé d'anguilles vivantes mais il les exporte uniquement.

Comme il a été mentionné ci-dessus, les premières données enregistrées de ce parasite datant de 1994 à Loukkos et à Sebou (El Hilali *et al.*, 1996). En 1987 et 1993, des alevins de poissons cyprinidés de Bulgarie ont été introduits dans les rivières marocaines afin de lutter contre le problème de l'eutrophisation. Ce poisson est considéré comme un hôte paraténique de ce nématode (Moravec et Konecny, 1994 ; Molnar, 1994). Aucune donnée n'a été enregistrée ou publiée pendant cette période. En 1991, Székely *et al.* publient la première occurrence de l'anguillicolose (par *A. crassus*) en Hongrie et Csaba *et al.* (1991) ont décrit la mortalité des anguilles dans le lac Balaton causée par ce nématode. Au Maroc, les actions d'introduction de carpes, originaires de la Bulgarie dans les eaux continentales, peuvent être à l'origine de l'apparition de l'anguillicolose au Maroc. L'hypothèse la plus convaincante est donc, ce nématode a été introduit par ces cyprinidés dans les eaux marocaines et disséminé dans les écosystèmes hydrodynamiques.

En conclusion, le parasite *Anguillicoloides crassus* est désormais présent dans tous les sites étudiés. Néanmoins, l'intensité moyenne a commencé à diminuer, donnant tendance à un équilibre évolutif de ce parasite avec son principal hôte (*Anguilla anguilla*). La présence de ce parasite ravageur diminue la qualité des stocks d'anguilles et met en péril la santé des géniteurs (anguilles argentées) durant leur migration vers la mer des Sargasses.

## CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES

La présente étude a visé l'évaluation de l'état du stock d'anguilles pêchées dans les sites les plus importants (Sebou et Loukkos), par l'évaluation du degré de contamination par les métaux lourds (Cu, Cr, Cd, Pb et Hg) d'une part, et les HAP biliaires (1-OH pyrène, 1-OH phénanthrène et 3-benzo[a]pyrène) d'autre part. En plus de l'étude parasitologique, effectuée par le suivi d'anguillicolose causée par *Anguillicoloides crassus* dans les estuaires du Loukkos et du Sebou.

Il ressort des analyses métalliques effectuées que les anguilles sont toutes contaminées par ces métaux lourds, à des teneurs variables. Les concentrations les plus élevées sont celles du cuivre suivi par le chrome, puis le plomb et en dernier lieu le cadmium. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées chez les anguilles du Sebou par rapport à celles du Loukkos. Alors que pour le mercure (Hg) les anguilles des deux estuaires présentent des concentrations élevées et proches 0,47 µg/g pf (Loukkos) et de 0,46 µg/g pf (Sebou).

Les anguilles de grande taille (50 et 60 cm) sont plus contaminées à des valeurs toxiques, de l'ordre de 0,58 µg/g. Excédant ainsi la norme fixée par l'OMS (0,5 µg/g p.f pour la consommation humaine).

De plus, une contamination tissulaire généralisée a été identifiée chez les anguilles analysées. Le foie reste l'organe accumulateur de tous les métaux dosés.

D'autre part, l'analyse des composés organiques (les hydrocarbures aromatiques et polycycliques) a mis en évidence, la contamination des anguilles des différents sites par le 1-OH pyrène et le 1-OH phénanthrène. Tandis que le composé le plus toxique, le 3-benzo[a]pyrène (HAP) était absent.

Le facteur hépatosomatique (RHS) était sensible à la contamination par ces polluants. Une corrélation significativement négative ( $p < 0,05$ ) a été enregistrée entre le RHS et le taux des HAPs.

En ce qui concerne l'étude parasitologique, le facteur de dégénérescence des vessies natatoires (SDI) décrit par Lefebvre (2002), présente une corrélation positive avec la variation du nombre de parasite (*Anguillicoloides crassus*) dans les deux estuaires ( $p < 0,05$ ).

Par ailleurs, le suivi de l'anguillicolose (2004-2009), causée par *A. crassus* a montré une prévalence de 54% à Sebou, alors qu'elle est de 34% dans le Loukkos (2008-2009).

Face à la diminution alarmante et continue du stock d'anguilles au Maroc, dûe à de multiples facteurs, dont l'inconscience de la population des pêcheurs. Vue la valeur économique de l'anguille en particulier au stade civelle, son importance écologique et sa valeur patrimoniale, des mesures d'urgence doivent être prises afin que le Maroc contribue à la préservation de cette espèce menacée d'extinction.

Ainsi, il est urgent de restaurer et d'améliorer la qualité des habitats de l'anguille par :

- La réduction des effets néfastes de la pollution par l'assainissement et l'épuration des eaux, la réduction de l'utilisation des pesticides et d'engrais....
  - La restauration des chemins de migration (rendre les passes à poissons plus efficaces dans les barrages) afin de permettre aux civelles d'atteindre leurs habitats de croissance et de permettre aux anguilles argentées de rejoindre leur aire de ponte dans la mer des Sargasses.
  - L'interdiction de la consommation des anguilles de grande taille (>50 cm), pour diminuer le risque de contamination par le mercure chez l'homme.
  - La réduction des effets des changements climatiques sur les flux de la rivière et de la qualité des habitats (par l'interdiction de pompage et de drainage de l'eau des rivières).
  - La réduction de l'introduction d'espèces allochtones pour éviter la dégradation de l'habitat et l'apparition de nouvelles maladies.
- Il faut aussi prévenir l'exploitation intensive de l'anguille par:
- L'amélioration des conditions de vie des pêcheurs et le développement des infrastructures des pêches en reconnaissant l'importance de la place de maintien de pratiques de pêche locales pour assurer une production diversifiée.
  - L'application des mesures plus strictes concernant le repeuplement de certaines zones avec de jeunes anguilles. IL faut aussi surveiller la migration des anguilles argentées pour leur permettre de regagner leur aire de ponte.

- La réglementation de la pêche de l'anguille, par le raccourcissement des périodes de pêche afin de réduire la mortalité anthropique. Établir des périodes de pêche fixes en fonction des stades de développement de l'anguille et contrôler les méthodes de production.
- Prendre les mesures nécessaires afin de pouvoir déterminer les origines de l'anguille et de suivre le circuit de leur commercialisation (traçabilité) au Maroc.
- Mettre en place un suivi régulier de l'impact social et économique de la pêche de l'anguille, de l'évolution de recrutement des civelles et de la dévalaison des anguilles argentées.
- Suivre la qualité des géniteurs afin d'évaluer l'efficacité des mesures de gestion adoptées et de préserver cette ressource ichthyologique menacée qui risque de subir le même sort que la grande alose qui a disparu des eaux douces marocaines.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**AAS E. BEYER J. GOKSØYR A. 1998.** - PAH in fish bile detected by fixed wavelength fluorescence. *Mar Environ Res*, 46: 225–228.

**ADAM G & ELIE P. 1994.** - Mise en évidence des déplacements d'anguilles sédentaires (*Anguilla anguilla* L.) en relation avec le cycle lunaire dans le lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique). *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 335 : 123-132.

**AHMAD I. PACHECO M. & SANTOS A. 2006.** - *Anguilla anguilla* L. oxidative stress biomarkers: An in situ study of freshwater wetland ecosystem (Pateira de Fermentelos, Portugal). *Chemosphere*. 65: 952-962.

**AL AMOURI M. 2006.** - Etude des aspects socio-halieuistiques des pêcheurs de la lagune de Moulay Bouselham et des estuaires du Sebou et du Loukkos (Littoral Atlantique, Maroc). *Mém. DESA*, Univ. Mohamed V-Agdal, Fac. Sci., Rabat. 76p.

**ALERSTAM T. HEDENSTRÖM A. & ÅKESSON S. 2003.** - Long-distance migration: evolution and determinants. *Oikos* 103 : 247-260

**AMILHAT E. 2007.** - Etat sanitaire de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* dans le bassin Rhône. Méditerranée et Corse : synthèse bibliographique. Rapport Pôle lagunes et Cépralmar. *CBETM*, Université de Perpignan. 88p.

**ANTUNES C. & TESCH F. W. 1997.** – A critical consideration of the metamorphosis zone when identifying daily rings in otoliths of European eel *Anguilla anguilla* (L). *Ecology of Freshwater Fish*. 6, 102-107.

**ARIESE F. KOK SJ. VERKAIK M. GOOIJER C. VELTHORST NH. & HOFSTRAAT JW. 1993.** - Synchronous fluorescence spectrometry of fish bile: a rapid screening method for the biomonitoring of PAH exposure. *Aquat Toxicol*. 26: 273–286

**ARIESE F. BEYER J. & WELLS D. 2005.** - Two fish bile reference materials for PAH metabolites. *J. Environ Monitor*. 7(9): 869-876.

- ASHWORTH S.T. 1994.** - Possible regulation in the *Anguillicola crassus* host-parasite system. In: Pike AW, Lewis JW (eds) *Parasitic diseases of fish*. Samara Publishing, Tresaith: 141–150.
- AUDENAERT V. HUYSE T. GOEMANS G. BELPAIRE C. VOLCKAERT F. A. M. 2003.** - Spatio-temporal dynamics of the parasitic nematode *Anguillicola crassus* in Flanders, Belgium. *Dis. Aquat. Org*, 56: 223–233.
- AZEROUAL A. CRIVELLI A.J. YAHYAOUI A. & DAKKI M. 2000.** L'ichtyofaune des eaux continentales du Maroc. *Cybium* 24(Suppl. 3):17-22.
- BAISEZ A. 2001.** - Optimisation des suivis d'abondances et des structures de taille de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.) dans un marais endigué de la côte atlantique : relation espèce - habitat. Thèse de 3ème cycle, Université de Toulouse III.
- BAL W. & KASPARZAK K.S. 2002.** - Induction of oxidative DNA damage by carcinogenic metals. *Toxicology Letter*. 127, 55-62.
- BARAK N. A. E. A & MASON C. F. 1990.** - A catchment survey for heavy metals using the eel (*Anguilla anguilla*). *Chemosphere*. 21: 695-9.
- BARDONNET A. RIGAUD C. & LABONNE J. 2005.** - Étude expérimentale des comportements de civelles d'*Anguilla anguilla* L. Influence de la densité et de la disponibilité en abris. *Bull. Fr. Pêche Pisc.* 378-379, 47–65.
- BAUCHOT R. & BAUCHOT M. L. 1978.** - Coefficient de condition et indice pondéral chez les Téléostéens. *Cybium*, 3ème Série, 4: 3 - 16.
- BECHER G. & BJORSETH A. 1983.** - Determination of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons by analysis of human urine. *Cancer Lett*,17: 301–11.
- BELPAIRE C. DE CHARLEROY D. THOMAS K. VAN DAMME P. & OLLEVIER F. 1989.** - Effects of eel restocking on the distribution of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* in Flanders, Belgium. *J. Appl. Ichthyol.* 5: 151-153.
- BELPAIRE C. GOEMANS G. GEERAERTS C. QUATAERT P. PARMENTIER K. 2008.** -

Pollution fingerprints in eels as models for the chemical status of rivers. *ICES Journal of Marine Science*, 65: 1483–1491.

**BENASSER L. FEKHAOUI M. & BOUACHRINE M. 1996.** - Utilisation d'un nouveau indice dans la contamination métallique des sédiments d'un cours d'eau polluée : Le bas Sebou (Maroc). *Bull. Inst. Sci. Rabat*. 20:142-145.

**BEN YAHKOUB Y. 2011.** - Etude comparative des paramètres biologiques et otolithométriques des anguilles (*Anguilla anguilla*) d'élevage et sauvages de l'estuaire du Sebou (Atlantique, Maroc). *Mémoire de Master 3<sup>ème</sup> cycle*. Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 83p

**BERNIES D. BRINKER A. & DAUGSHIES A. 2011.** - An invasion record for the swimbladder nematode *Anguillicoloides crassus* in European eel *Anguilla anguilla* in a deep warm-monomictic [corrected] lake, from invasion to steady state. *J. Fish. Biol.* 79(3):726-46.

**BERRAHO A. 1990.** - Comparison of Growth Rate of Cultured Elvers (*Anguilla anguilla*). *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*. 75, 6: 697-897.

**BERTHOLD P. 1988.** - Evolutionary aspects of migratory behavior in European warblers. *Journal of Evolutionary Biology*.1: 195-209.

**BEYER J. JONSSON G. PORTE C. KRAHN M.M. & ARIESE F. 2010.** - Analytical methods for determining metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollutants on fish bile: a review. *Environ Toxicol Pharmacol* 30: 224–244.

**BLAHOVÁ J. HAVELKOVÁ M. KRUŽÍKOVÁ K. HILSCEROVÁ K. & HALOUZKA R. 2010.** - Assessment of contamination of the Svitava and Svatka rivers in the Czech Republic using selected biochemical markers. *Environ Toxicol Chemi.* 29(3): 541–549.

**BOERA J. DAO Q.VAN LEEUWENA S. KOTTERMANB M. & SCHOBENB J. 2010.** - Thirty year monitoring of PCBs, organochlorine pesticides and tetrabromodiphenylether in eel from The Netherlands. *Environmental Pollution*, 158, 5:1228-1236.

**BOËTIUS I. & BOËTIUS J. 1980.** - Experimental maturation of female silver eels, *Anguilla*

*anguilla*. Estimates of fecundity and energy reserves for migration and spawning. *Dana* 1, 1–28.

**BOUACHRINE M. FEKHAOUI M. BENASSER L. & IDRISSE L. 1998.** - Distribution of selected metals in tissue samples of fish from industrially contaminated stream (The river Sebou, Morocco). *Acta Hydrobiol*, 40: 173 - 179.

**BROAD TL. TOWNSEND CR. ARBUCKLE CJ. & JELLYMAN DJ. 2001.** - A model to predict the presence of longfin eels in some New Zealand streams, with particular reference to riparian vegetation and elevation. *Journal of Fish Biology*. 58 : 1098-1112.

**BRUSLE J. 1990.** - Effects of heavy metals on eels, *Anguilla* sp. *Aquat. Living Resour.* 3: 131-141.

**BRUSLE J. 1994.** - L'Anguille européenne *Anguilla anguilla* un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 335 : 237-260.

**BURGERHOUT E. BRITTIJN S. KURWIE T. DECKER P. DIRKS R. PALSTRA A.P. HERMAN P. S. & VAN DEN THILLART G.E. 2011.** - First artificial hybrid of the eel species *Anguilla australis* and *Anguilla anguilla*. *BMC Developmental Biology*. 11: 16.

**BUSH AO. LAFFERTY KD. LOTZ JM. & SHOSTAK AW. 1997.** - Parasitology meets ecology on its own terms. *The Journal of Parasitology*, 83:575-583.

**CALLAMAND O. & FONTAINE M. 1942.** - L'activité thyroïdienne de l'anguille au cours de son développement. *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*. 82: 129-136.

**CAMPANA S. E. & NIELSON J. D. 1985.** - Daily growth increments in otoliths of starry flounder (*Platichthys stellatus*) and the influence of some environmental variable in their production. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39: 937-942.

**CAMPTON P. & CRIVELLI A.J. 2010.** - L'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*, dans le canal d'Arles à Bouc : État des lieux et premiers résultats de la passe-piège installée sur le barrage à sel. *Campagne 2009/2010*. 39p.

- CAUDE M. & JARDY A. 1996.** - Chromatographie en phase liquide : Introduction. Technique de l'ingénieur, *traité Analyse et Caractérisation* PE 1, 1-6.
- CAVAILLES M. & LOSTE C. 1988.**- L'exploitation de l'anguille en Languedoc- Roussillon. *CEPRALMAR* Août 1988.
- CHETTO N. YAHYAOUI A. & EL-HILALI M. 2001.** - L'Anguille (*Anguilla anguilla* L., 1758) au Maroc : Synthèse bibliographique. *Rivista di Idrobiologia*, 40, 2-3 : 167-179.
- CHRISTENSEN J.M. 1964.** – Burning of otolith, a technique for age determination *Solea* and other fish. *Journal du Conseil* 29: 73-81.
- CICCOTI E. MACCHI E. ROSSI A. CATALDI E. & CATAUDELLA S. 1993.** - Glass eel (*Anguilla anguilla*) acclimation to freshwater and seawater: morphological changes of the digestive tract. *Journal of Applied Ichthyology*. 9 : 74-81.
- COHEN AJ. 2000.** - Outdoor air pollution and lung cancer. Environmental health perspectives Aug; 108. Suppl, 4:743-50.
- COLE G. M. 1994.** - Assessment and Remediation of Petroleum Contaminated Sites. Editor: *Lewis Publishers*. 0-87371-824-0.
- CREUTZBEG F. 1961.** - On the orientation of migrating elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.) in a tidal area. *Netherlands Journal of Sea Research*. 1: 257-338.
- CSABA G. LÁNG M. SÁLYI G. RAMOTSA J. GLÁVITS R. & RÁTZ F. 1991.** - The nematode *Anguillicola crassus* (Nematoda, Anguillicolidae) and its role in the death of eels in Lake Balaton during 1991. *Magyar Aollatorvosok Lapja*. 48: 11-21.
- DAEMEN E. CROSS T. OLLEVIER F. & VOLCKAERT FA. 2001.** - Analysis of the genetic structure of the European eel (*Anguilla anguilla*) using microsatellites DNA and mtDNA markers. *Marine Biology*. 139:755-764
- DAVENPORT & SAYER 1993.** - Davenport J. & Sayer MD. 1993. Physiological determinants of distribution in fish. *Journal of Fish Biology*. 43 (Suppl. A) : 121-145.

**DAVERAT F. ELIE P. & LAHAYE M. 2004.** - Première caractérisation des histoires de vie des anguilles (*Anguilla anguilla*) occupant la zone aval du bassin versant Gironde- Garonne-Dordogne : apport d'une méthode de microchimie. *Cybium*, 28(1), 83-90.

**DAVERAT F. TOMAS J. LAHAYE M. PALMER M. & ELIE P. 2005.** - Tracking continental habitat shifts of eels using otolith Sr/Ca ratios: validation and application to the coastal, estuarine and riverine eels of the Gironde-Garonne-Dordogne watershed. *Marine and Freshwater Research*, 56, 619-627.

**DEELDER CL. 1984.** - Exposé synoptique des données biologiques sur l'anguille (*Anguilla anguilla* L., 1758). F.A.O. Synop. *Pêches*. (80) Rev. 1, 71 p.

**DE CHARLEROY D. THOMAS K. C. B. 1987.** - Problems concerning the species determination, biology and diagnostic methods of *Anguillicola* a swimbladder nematode in the European eel (*Anguilla anguilla*) in Europe. In: EIFAC (ed) *Working Party on Eel, Bristol*.

**DEHN L. FOLLMANN E. THOMAS D. SHEFFIELD G. ROSA C. DUFFY L. & O'HARA T. 2006.** – Trophic relationships in an Arctic food web and implications for trace metal transfer. *Science of the Total Environment*. 362: 103-123.

**DEKKER W. 1987.** - Further results on age reading of european eel using tetracycline labeled otolithes. EIFAC/FAO, *Eel Working Group*, Bristol, April 1987 : 6 p.

**DEKKER W. 2000.** - The fractal geometry of the European eel stock. *ICES Journal of Marine Science* 57, 109-121

**DEKKER W. 2003.** - On the distribution of the european eel (*Anguilla anguilla*) and its fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 60 : 787-799.

**DEVEZ A. 2004.** - Caractérisation des risques induits par les activités agricoles sur les écosystèmes aquatiques. *Thèse de Doctorat*, ENGREF, Montpellier, France, 269p.

**DIN 32645, 1994:** Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze. Ermittlung unter Wiederholbedingungen. Begriffe, Verfahren, Auswertung. Seite 1-10. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

**DOERFFEL K. 1994:** Assuring Trueness of Analytical Results. *Fresenius J. Anal. Chem.* 348, 183-187.

**DOU SZ. & TSUKAMOTO K. 2003.** - Observations on the nocturnal activity and feeding behavior of *Anguilla japonica* glass eels under laboratory conditions. *Environmental Biology of Fishes.* 67: 389-395.

**DUFFUS J.H. 1980.** - Environmental Toxicology. 4th ed. Edward Arnold Publishers. Ltd., London, *Great Britain*, p.164.

**DUPONT F. & PETTER A J. 1988.** - Dupont, F., Petter, A.J. (1988): *Anguillicola*, une epizootie plurispécifique en Europe. Apparition d'*Anguillicola crassus* (Nematoda, Anguillicolidae) chez l'anguille européenne *Anguilla anguilla* en Camarque, Sud de la France. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 308, 38-41.

**DURIF C. 2003.** - La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : Caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle*, Université Paul Sabatier, Toulouse III, Toulouse.

**EDELINE E. BARDONNET A. BOLLIET V. DUFOUR S. & ELIE P. 2005.** - Endocrine control of *Anguilla anguilla* glass eel dispersal: Effect of thyroid hormones on locomotor activity and rheotactic behavior. *Hormones and Behavior.* 48: 53-63.

**EL BAKOURI H. OUASSINI A. MORILLO J. & USERO J. 2008.** - Pesticides in ground water beneath Loukkos perimeter, Northwest Morocco. *J Hydrol*, 348: 270-278.

**EL-HILALI M. YAHYAOUI A. SADAK A. MAACHI M. & TAGHY Z. 1996.** - Premières données épidémiologiques sur l'anguillicolose au Maroc. *Bull. Fr. Pêche et Piscicult*, 340:57-60.

**EL HILALI M. 1998.** – L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758) dans les eaux continentales marocaines. Migration et potentialités de croissance des civelles, Biologie et parasitologie de l'anguille jaune. *Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle*, Univ. Mohammed V, Rabat, 165p.

**EL HILALI M. YAHYAOUI A. & CHETTO N. 2004.** - Etude de l'infestation des anguilles (*Anguilla anguilla*) par le parasite (*Anguillicola crassus*) dans l'estuaire du Sebou au nord-ouest

du Maroc. *Bull de l'Institut Scientifique*, section Sciences de la Vie, 26-27: 39-42.

**EL HILALI M. 2007.** - L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758) dans le bas Sebou : Biologie et infestation par *Anguillicola crassus*. *Thèse de doctorat de 3ème cycle*, Faculté des Sciences, Rabat. Université Mohammed V, Agdal. 192pp.

**ELIE P. & ROCHARD E. 1994.** - Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla*) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. Analyse de la littérature. *Bulletin Français de la Pêche et la Pisciculture*, 335, 81-98.

**ELIE P. 1979.** - Contribution à l'étude des montées de civelles d'*Anguilla anguilla* Linné (Poisson, Téléostéen, Anguilliforme), dans l'estuaire de la Loire : pêche, écologie, écophysologie et élevage. Travaux de thèse soutenue à l'Université Rennes I., 381 pp

**ELIE P. LECOMTE-FINIGER R. CANTRELLE I. & CHARLON N. 1982.** - Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla*. *Vie Milieu*, 32(3), 149-157.

**ELIE P. & GIRARD P. 2009.** Effets des micropolluants et des organismes pathogènes chez l'anguille européenne *Anguilla anguilla* L. 1758. *Collection étude CEMAGREF* n° 128.

**EL KIHIL B. 2003.**- Caractérisation et effets de la pollution par les métaux lourds sur l'environnement: cas des sédiments de l'oued Sebou et des sols irrigués par l'eau de l'oued Fés (Maroc). *Thèse de 3ème cycle Uni. Med V - Agdal. Fac. Sci. Rabat*, 164 p.

**EL MORHIT M. 2009.** - Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidence écotoxicologique sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Loukkos). *Thèse de doctorat de 3ème cycle*, Faculté des Sciences, Rabat. Université Mohammed V, Agdal. 211pp.

**EL MORHIT M. FEKHAOUI M. ELIE P. GIRARD P. YAHYAOUI A. EL ABIDI A. & JBILOU M. 2009.** - Heavy metals in sediment, water and the European glass eel *Anguilla anguilla* (Osteichthyes: Anguillidae), from Loukkos River estuary (Morocco, eastern Atlantic). *Cybium* 33: 219-228.

**FAO 2007.** - Fisheries Synopsis, n° 80, revision 1, 73 p.

**FARRUGIO H. & ELIE P. 2011.** - Etat de l'exploitation de l'Anguille européenne (*A. anguilla* L., 1758) et éléments pour l'élaboration de plans de gestion dans la zone CGPM. GFCM : SAC13/2011/Dma. 1, 49 p.

**FEKHAOUI M. & KECK G. 1986.** - Toxicité aiguë et distribution tissulaire du cuivre lors d'intoxication subaiguë chez la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*). *Bull Ins. Sci.*, Rabat. 10:143-153.

**FERAL J.P. FUSEY P. GAILL F. LOPEZ E. MARTELLY E. OUTDOT J. & VAN PRAET M. 1979.** - Evolution des teneurs en hydrocarbures chez quelques organismes marins du Nord-Finistère depuis l'échouage de l'Amoco Cadiz et comparaison des méthodes de dosages en infrarouge et spectrofluorimétrie. *CR. Académie des Sciences de Paris*, 288, 713-716.

**FERNANDES C. FONTAINHAS-FERNANDES A. PEIXOTO F. & SALGADO M.A. 2007.** - The Bioaccumulation of heavy metals in *Liza saliens* from the Esmoriz Paramos coastal lagoon, Portugal. *Eco. and Environ. Safety*. 66:426-431.

**FEUNTEUN E. 2002.** - Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. *Ecological Engineering* .18(5):575-59.

**FILIPPI JJ. 2013.** - Étude parasitologique d'*Anguilla anguilla* dans deux lagunes de Corse et étude ultrastructurale du tégument de trois digènes parasites de cette anguille. *Thèse de Doctorat*. Université de Corse-Pascal Paoli. 249p.

**FONTAINE M. 1975.** - Physiological mechanisms in the migration of marine amphihaline fish. *Advances in Marine Biology*, 13: 241-355.

**FONTENELLE G. 1987.** - Compte-rendu technique d'une mission au Maroc; 22/02–6/03/1987. *Rapport interne ENSAR*, 29p.

**GANDOLFI G. PESARO M. & THONGIORGI P. 1984.** - Environmental factors affecting the ascent of elvers, *Anguilla anguilla*, into the Arno river. *Oebalia*, 10 : 17-35.

**GASCUEL D. 1986.** - Flow carried and active swimming migration of the glass eel (*Anguilla*

*anguilla*) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast. *Helgol. Meeresunters.* 40: 321-326.

**GASCUEL D. & FONTENELLE G. 1989.** - Caractéristiques biologiques d'un peuplement estuarien d'anguilles sub-adultes (estuaire de la Sèvre Niortaise- France). *EIFAC Working Group on eel*. Perpignan (France), 14 p

**GEERAERTS G. & BELPAIRE C. 2010.** - A review of the effects of contaminants on European eel. *Ecotoxicology*, 19: 239–266.

**GRANELLA M. & CLONFERO E. 1993** - Urinary excretion of 1-pyrenol in automotive repair workers. *Int Arch Occup Environ Health*, 65: 241–5.

**GRIMMER G. BRUNE H. DETTBARN G. JACOB J. MISFELD J. MOHR U. & AL.1991.** - Relevance of polycyclic aromatic hydrocarbons as environmental carcinogens. *Fresenius journal of analytical chemistry*, 339 (12 ref.), pp. (10): 792-5.

**GROSSBARD ML. BOYER JL. & GORDEN ER.** 1987. The excretion pattern of biliverdin and bilirubin in bile of the small skate (*Raja erinacea*). *J. Comp. Physiol. B* 157: 61–66.

**GUNKEL, 1994.** - Grundlagen der Verfahren zur Bioindikation. In: Gunkel, G. (Ed.), *Bioindikation in aquatischen Ökosystemen*. *Fischer Verlag*, Jena, Stuttgart. 323–420.

**HADDERINGH R. H., VAN DER STOEP J. W. & HABRAKEN J. P. M. P. 1992.** - Deflecting eels from waterinlets of power stations with light. Working Party on Eel EIFAC, Dublin. *Irish fisheries investigations*, série A, n°36.

**HAENEN OLM. VAN WIJNGAARDEN TAM. VAN DER HEIJDEN et al. 1996.** - Effects of experimental infections with different doses of *Anguillicola crassus* (Nematoda Dracunculoidea) on European eel (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture*, 14: 41-57.

**HARDERSEN S. & WRITTEN S.D. 1998.** - The effects of carbaryl exposure of the penultimate larval instars of *Xathocnemis zealandica* on emergence and fluctuating asymmetry. *Ecotoxicology*. 7:297-304.

**HELCOM. 2007.** - Helcom Baltic Sea Action Plan – Helcom ministerial meeting, Krakow.

Poland. 15 November, 2007. 101 p.

**HELLOU J. & LEONARD J. 2004.** Polycyclic aromatic hydrocarbons bioaccumulation and biotransformation products in trout exposed through food pellets. *Polycycl Aromat Comp*, 24: 697–712.

**HITES R. A. & SIMONSICK W. J. 1987.** - Calculated molecular properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Physical Sciences Data*. 29, 272p.

**HU L. C. & TODD P. R. 1981.** - An improved technique for preparing eel otoliths for aging. *New Zealand journal of marine and freshwater research* .15: 445-446.

**IARC 1983.** - IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk of chemicals to man: Polycyclic aromatic hydrocarbons. In: IARC, editor. Lyon1983. p. 211-24.

**INERIS, 2006.** - Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Naphtalène, Acénaphthène, Fluorène, Phénanthrène, Anthracène, Fluoranthène, Pyrène, Chrysène, Benzo(a)pyrène, Benz(b)fluoranthène, Benzo(g,h,i)perylène, Dibenz(a,h)anthracène, Indéno(1,2,3-cd)pyrène.

**INRS 1997.** - Institut National de Recherche et de Sécurité. Mercure et composés minéraux. Fiche Toxicologique n°55.

**JAKOB E. WALTER T. & HANEL R. 2009.** - A checklist of the protozoan and metazoan parasites of European eel (*Anguilla anguilla*): checklist of *Anguilla anguilla* parasites. *Journal of Applied Ichthyology*: 1-49.

**JELLYMAN DJ. & LAMBERT PW. 2003.** - Factors affecting recruitment of glass eels into the Grey River. New Zealand. *Journal of Fish Biology*, 63 : 1067-1079.

**JONSSON G. TABAN IC. JORGENSEN KB. & SUNDT RC. 2004.** - Quantitative determination of de-conjugated chrysene metabolites in fish bile by HPLC-fluorescence and GC-MS. *Chemosphere*, 54: 1085–1097.

**KAMMANN U. 2007.** - PAH metabolites in Bile fluide of Dab (*Limanda limanda*) and Flounder (*Platichthys flesus*): Spatial Distribution and Seasonal Changes. *Environ Sci & Pollut. Res* 14(2): 102-8.

**KENNEDY C.R. & FITCH D.J. 1990.** - Colonization, larval survival and epidemiology of the nematode *Anguillicola crassus*, parasitic in the eel *Anguilla anguilla* in Britain. *J. Fish Biol.* 36: 117-131.

**KHEYYALI D. LACHHEB K. YAHYAOUI A. & HILALI JH. 1999.** - Status of European eel infestation by the nematode *Anguillicola crassus* in aquatic ecosystems in Morocco. *Actes Institut Agronomique Vétérinaire (Maroc)*, 19 (3): 177-180.

**KIRK R.S. LEWIS J.W. & KENNEDY C.R. 2000.** Survival and transmission of *Anguillicola crassus* Kuwahara, Niimi & Itagaki, 1974 (Nematoda) in seawater eels. *Parasitology* 120: 289–295

**KIRK R.S. 2003.** - The impact of *Anguillicola crassus* on European eels. *Fish. Manage. Ecol.* 10: 385-394.

**KLAVINS M. POTAPOVICS O. & RODINOV V. 2009.** - Heavy Metals in Fish from Lakes in Latvia: Concentrations and Trends of Changes. *Bulletin of environmental contamination and toxicology.* 82(1):96-100.

**KLECKNER RC & McCLEAVE JD. 1985.** - Spatial and temporal distribution of American eel larvae in relation to North Atlantic Ocean current systems. *Dana*, 4: 67–92

**KOIE M. 1988.** - Parasites in eels *Anguilla anguilla* (L.) from Danish freshwater, brackish and marine localities. *Ophelia* 29(2) : 93-118.

**KOOPS H., HARTMANN F. 1989.** *Anguillicola* infestations in Germany and in German eel imports. *J. Appl. Ichthyol.* 5: 41-45.

**KOUKAL B. DOMINIK J. VIGNATI D. ARPAGAUS P. SANTIAGO S. OUDDANED B. & BENAABIDATE L. 2004.** - Assessment of water quality and toxicity of polluted Rivers Fez and Sebou in the region of Fez (Morocco). *Environmental Pollution.* 131: 163-72.

**KRAHN MM. BURROWS DG. MACLEOD WD. & MALINS DC. 1987.** - Determination of individual metabolites of aromatic compounds in hydrolyzed bile of English sole (*Parophrys*

*vetulus*) from polluted sites in Puget Sound, Washington. *Arch. Environ. Contam Toxicol.* 16: 511-522.

**KUWAHARA A. A. NIIMI H. & ITAGAKI. 1974.** - Studies On The Nematode Parasitic On The Air Bladder Of Eel. I. Description Of *Anguillicola Crassus* N. Sp. (Philometridae, Anguillicolidae). *Japanese Journal Of Parasitology*, 23: 275-279.

**LAFAILLE P. ACOU A. GUILLOUËT J. & LEGAULT A. 2005.** - Temporal changes in European eel, *Anguilla anguilla*, stocks in a small catchment after installation of fish passes. *Fisheries Management and Ecology*. 12: 123-129.

**LAFAILLE P. FEUNTEUN E. BAISEZ A. ROBINET T. ACOU A. LEGAULT A. & LEK S. 2003.** - Spatial organisation of European eel (*Anguilla anguilla* L.) in a small catchment. *Ecology of Freshwater Fish*. 12: 254-264.

**LAFLAMME R. E. & HITES R. A. 1978.** - The global distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in recent sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42(3): 289-303.

**LAKOWICZ J.R. 1999.** - Principle of fluorescence spectroscopy, 2<sup>nd</sup> edition. (Academic/Plenum, ed, New York.), pp. 1-23 & 237-264.

**LAMBERT P. SBAIHI M. ROCHARD E. MARCHELIDON J. DUFOUR S. & ELIE P. 2003.** - Variabilités morphologique et du taux d'hormone de croissance des civelles d'anguilles européennes dans l'estuaire de la Gironde au cours de la saison 1997-1998. *Bull. Fr. Pêch. Piscic*, 368 : 69-84.

**LECOMTE-FINIGER R. & RAZOULS O. 1981.** - Influence des facteurs hydrobiologiques et météorologiques sur la migration anadrome des civelles (*Anguilla anguilla* L.) : le choix d'un substrat. *C. R. Acad . Sci . Paris*. 289. Série D : 741-743.

**LECOMTE-FINIGER R. 1983.** - Contribution à la connaissance de l'écobiologie de l'anguille, *Anguilla anguilla*, L. 1758, des milieux lagunaires méditerranéens du golfe de Lion, Narbonnais et Roussillon. *Thèse d'État*, université de Perpignan, France, 203 p.

**LECOMTE- FINIGER R. & YAHYAOUI A. 1989.** - La microstructure de l'otolithe au service

de la connaissance du développement larvaire de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*. *C.R. Acad. Sc. Paris*, T. 308, Série III : 1-7.

**LECOMTE-FINIGER R 1992.** - The crystalline ultrastructure of otoliths of the eel (*A. anguilla* L. 1758) .*Fish. Biol.* 40, 2: 181–190.

**LEFEBVRE F. CONTOURNET P. & CRIVELLI AJ. 2002.** - The health state of the eel swimbladder as a measure of parasite pressure by *Anguillicola crassus*. *Parasitology*, 124: 457–463.

**LEFEBVRE F. ACOU A. POIZAT G. CRIVELLI AJ. CONTOURNET P. PRIOUR F. SOULAS O. 2003.** - L'anguillicolose chez les anguilles argentées: un suivi sur deux ans dans quatre habitats de Camargue (delta du Rhône, Sud de la France). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 368: 97-108.

**LEFEBVRE J.L. ONO F. PUGLIELLI C. SEIDNER G. FRANZINI-ARMSTRONG C. BREHM P. & GRANATO M. 2004.** - Increased neuromuscular activity causes axonal defects and muscular degeneration. *Development*, 131(11): 2605-2618.

**LEFEBVRE F. WIELGOSS S. NAGASAWA K. & MORAVEC F. 2012.** - On the origin of *Anguillicoloides crassus*, the invasive nematode of anguillid eels. *Aquatic Invasions*, 7:443-453.

**LELOUP J. 1958.** - Influence de la température sur le fonctionnement thyroïdien de l'anguille normale. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 247: 2454-2456.

**LELOUP J. & DE LUZE A. 1985.** - Environmental effects of temperature and salinity on thyroid function in Teleost fishes. In: Follet BK, Ishii S, Chandola A (eds). *The endocrine system and the environment*. Springer Verlag, Berlin : 23-32.

**LEWTAS J. GALLAGHER J. 1990.** - Complex mixtures of urban air pollutants: identification and comparative assessment of mutagenic and tumorigenic chemicals and emission sources. *IARC Scientific Publications*, 104: 252-60.

**LIEW P. K. L. 1974.** - Age determination of American eels based on the structure of their otoliths. *In the Proceedings of an International Symposium on the Ageing of Fish (T. B. Bagenal, ed.)* : 124 - 136. Old Working, Surrey: Unwin Brothers Ltd.

**LIN ELC. CORMIER SM. & RACINE RN. 1994.** - Synchronous fluorometric measurement of metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in the bile of brown bullhead. *Environ Toxicol Chem.* 13: 707-715.

**LOPEZ E. LELOUP-HATEY J. HARDY A. LALLIER F. MARTELLY E. OUTDOT J. PEIGNOUX-DEVILLE J. & FONTAINE Y.A. 1981.** - Modifications histopathologiques et stress chez les anguilles soumises à une exposition prolongée aux hydrocarbures. *Amoco Cadiz : Conséquences d'une pollution accidentelle aux hydrocarbures.* CNEXO, Paris, 645- 653.

**LOUKILI A. & BELGHYTI D. 2007.** - The dynamics of the nematode *Anguillicola crassus*, Kuvahara 1974 in eel *Anguilla anguilla* (L. 1758) in the Sebou estuary (Morocco). *Parasitol. Res.*, 100: 683–686.

**MA T. WAN X. HUANG Q. & WANG Z. & LIU J. 2005.** - Biomarker responses and reproductive toxicity of the effluent from a Chinese large sewage treatment plant in Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Chemosphere* 59: 281–288.

**MACRAE J. & HALL KJ. 1998.** - Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in marine sediment under denitrifying conditions. *Wa Sci Technol* 38 (11): 177–185.

**MAES G. E. & VOLCKAERT F. A. M. 2002.** - Clinal genetic variation and isolation by distance in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Biol. J. Linnean Soc.* 77 (4) : 509-521.

**MAES G.E. RAEYMAEKERS J.A.M. PAMPOULIE C. SEYNAEVE A. GOEMANS G. BELPAIRE C. & VOLCKAERT F.A.M. 2005.** - The catadromous European eel *Anguilla anguilla* (L.) as a model for freshwater evolutionary ecotoxicology: Relationship between heavy metal bioaccumulation, condition and genetic variability. *Aquatic Toxicology* 73: 99–114.

**MAGURRAN AE. 1993.** - Individual differences and alternative behaviours. In: Pitcher TJ(ed) *Behaviour of teleost fishes.* Chapman & Hall, London: 440-477.

**MALLAWA A. 1987.** - Dynamique des stocks exploités et halieutique de l'anguille européenne (*A. anguilla* L., 1758) des lagunes du Narbonnais et du Roussillon (Bages-Sigean et Canet-St-Nazaire), golfe

du Lion. *Thèse de 3ème Cycle*, Perpignan, 406 p.

**MATTHIESSEN P. 1999.** - Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments around England and Wales, and their possible biological significance. *Mar Pollut Bull* 38: 773-790.

**MCCLEAVE JD. & WIPPELHAUSER GS. 1987.** - Behavioural aspects of selective tidal stream transport in juvenile American eels. *American Fisheries Society Symposium* 1: 138-15.

**MCDOWALL R.M. 1999.** - Different kind of diadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 56: 410-413.

**MCGOVERN P. & McCARTHY TK. 1992.** - Elver migration in the River Corrib system, western Ireland. *Irish Fisheries Investigations Series A (Freshwater)* 36 : 25-32

**MCLAREN G. A. SMITH J. E. & PETERS J. B. 1968.** - Corn cob fractions and urea utilization. *J. Anita. Sci.* 27:1171. (Abstr.).

**MDEGELA RH. BRAATHEN M. MOSHA RD. SKAARE JU. & SANDVIK M. 2010.** - Assessment of pollution in sewage ponds using biomarker responses in wild African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) in Tanzania. *Ecotoxicology* 19: 722–734.

**MEADOR J. STEIN J. REICHERT W. & VARANASI U. 1995.** - Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by marine organisms. *Rev. Environ. Contam Toxicol* 143: 79-165.

**MELHAOUI M. 1994.** - Ecologie des ressources halieutiques des eaux continentales à intérêt économique: Anguillidae, Salmonidae. Université Mohammed 1er, Fac des Sciences, Oujda, Doc. D'Etat. 163 p.

**MOIR D. VIAU A. CHU I. WITHEY J. & MCMULLEN E. 1998.** - Pharmacokinetics of benzoz(a)pyrene in the rat. *J. Toxicol. Environ HealthA*, 53: 507–530.

**MOLNÁR K., SZÉKELY C. & BASKA F. 1991.** - Mass mortality of eel in lake Balaton due to *Anguillicola crassus* infection. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol*, 11: 211-212.

**MOLNÁR K., SZÉKELY C. & PERÉNYI M. 1994.** - Dynamics of *Anguillicola crassus*

(Nematoda: Dracunculoidea) infection in eels of Lake Balaton, Hungary. *Folia Parasitol.*, 41:193–202.

**MONACO F. ROCHE J. CARDUCCI C. CARLINI F. CATAUDELLA S. FELLI P. ANDREOLI M. & DOMINICI R. 1981.** - Effect of change of habitat (sea and fresh water) on in vivo thyroglobulin synthesis in Atlantic glass eels (*Anguilla anguilla* L.). *Comptes Rendus des Séances de la Société de Biologie et de ses Filiales.* 175 : 452-456.

**MONTEIRO PR, REIS-HENRIQUES MA, COIMBRA J. 2000.** - Polycyclic aromatic hydrocarbons inhibit in vitro ovarian steroidogenesis in the flounder (*Platichthys flesus* L.). *Aquat Toxicol* 48 (4): 549-559.

**MORAVEC F. & KONECNY R. 1994.** - Some new data on the intermediate and paratenic hosts of the nematode *Anguillicola kuwahara*, Niimi and Itagaki, 1974 (Dracunculoidae), a swimbladder parasite of eels. *Folia Parasitologica*, 41: 65-70.

**MORAVEC F. 2006.** - Dracunculoid and Anguillicoloid Nematodes Parasitic in Vertebrates. Academia, Prague, 634 p.

**MORIARTY C. 1973.** - A technique for examining eel otoliths. *Journal of Fish Biology.* 5: 183-184.

**MORIARTY C. 1975.** Development of Irish eel stock. Comité des Poissons Anadromes et catadromes. 4 p.

**MORIARTY C & DEKKER W 1997.** - Management of the European eel. *Fish Bull* (Dublin) 15:1–110.

**MURREN CJ. JULLIARD R. SCHLICHTING CD. & CLOBERT J. 2001.** Dispersal, individual phenotype, and phenotypic plasticity. In: Clobert J, Danchin E, Dhondt AA, Nichols JD (eds) *Dispersal.* Oxford University Press, Oxford: 261-272.

**MYERS M.S. JOHNSON L.L. OLSON O.P. STEHR C.M. HORNESS B.H. COLLIER, T.K. & MCCAIN B.B. 1998.** - Toxicopathic hepatic lesions as biomarkers of chemical contaminant exposure and effects in marine bottomfish species from the Northeast and Pacific

Coasts, USA. *Marine Pollution Bulletin*, 37(1-2): 92-113.

**NAGEL F, KAMMANN U, WAGNER C, HANEL R. 2012a.** - Metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bile as biomarkers of pollution in European eel (*Anguilla anguilla*) from German rivers. *Arch. Environ. Contam Toxicol* 62: 254-263.

**NAGEL F, WAGNER C, HANEL R & KAMMANN U. 2012b.** - The silvering process of European eel (*Anguilla anguilla*) influences PAH metabolite concentrations in bile fluid: Consequences for monitoring. *Chemosphere*, 87: 91-96.

**NEUMANN W. 1985.** - Schwimmblasenparasit *Anguillicola* bei Aalen. *Fischer und Teichwirt* 11, 322.

**NIELSEN C. & HOLDENSGAARD G. 2001.** - Genetic differences in physiology, growth hormone levels and migratory behaviour of Atlantic salmon smolts. *Journal of Fish Biology*. 59:28-44.

**NOUNOU ET AL., 1980.**- Ulcération des poissons et mammifères marins pêchés dans les eaux côtières françaises. *Rapports scientifiques et techniques* n°43. CNEXO. 94p.

**O'MALLEY VP. ABRAJANO TA. & HELLOU J. 1996.** - Stable carbon isotopic apportionment of individual polycyclic aromatic hydrocarbons in St. John's Harbour, Newfoundland. *Environ Sci Technol*, 30: 634–639.

**OTAKE T. INAGAKI T. HASUMOTO H. MOCHIOKA N. & TSUKAMOTO K. 1998.** - Diel vertical distribution of *Anguilla japonica leptocephali*. *Ichthyological Research*, 45:209-211.

**PAGGI I. ORECCHIA P. MINERVINI R. & MATTIUCCI S. 1982.** - Occurrence of *Anguillicola australiensis* Johnston and Mawson, 1940 (Dracunculoidea : Anguillicolidae) in *Anguilla anguilla* in Lake Bracciana. *Parasitologia Roma: Societa Italiana de Parasitologia*, 24 (2-3) : 139-140.

**PALSTRA A.P. VAN GINNEKEN V.J.T. MURK A.J. VAN DEN THILLART. G.E.E.J.M. 2006.** - Are dioxin-like contaminants responsible for the eel (*Anguilla anguilla*) drama?

Naturwissenschaften, 93(3), 145-148.

**PENNING TM. BURCZYNSKI ME. HUNG CF. MCCOULL KD. PALACKAL NT. & TSURUDA LS. 1999.** - Dihydrodiol dehydrogenases and polycyclic aromatic hydrocarbon activation: generation of reactive and redox active O-quinones. *Chem Res Toxicol*, 12: 1–18.

**PETERS C. & HARTMANN F. 1986.** - *Anguillicola*, a parasitic nematode of the swimbladder spreading among eel populations in Europe. *Dis. Aquat. Org.*, 1: 229–230.

**PHILIPPART J. C. 1975.** – Dynamique des populations de poissons d’eau douce non exploitées. In : *Problèmes d’écologie*. Lamotte M. Bourlière F, Masson, Paris : 291-394.

**PIKKARAINEN A. 2006.** - Ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) activity and bile metabolites as contamination indicators in Baltic Sea perch: determination by HPLC. *Chemosphere*, 65: 1888–1897.

**POPP W. 1997.** - DNA single strand breakage, DNA adducts, and sister chromatid exchange in lymphocytes and phenanthrene and pyrene metabolites in urine of coke oven workers. *Occup Environ Med.* 54: 176–83.

**PORCHER J. P. 1992.** - Les passes à anguilles. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, vol 326-327 : 134-142.

**POSTEL E. 1973.** - Théorie des pêches (dynamique des populations exploitées). Univer. de Rennes, *Biol. Halieutique*, 5 Fascicules: 466 p.

**PROKHORCHIK G.A. 1986.** - Postembryonic development of European eel, *Anguilla anguilla*, under experimental conditions. *Journal of Ichthyology.* 26 : 121-127.

**QNINBA A. LIERON V. DIEULEVEUT T. AMAIRAT M. & YAHYAOUI A. 2011.** - Sur la présence de l’Anguille *Anguilla anguilla* (Linnaeus. 1758) dans l’Oued Tissint, un affluent de l’Oued Dr’a (Maroc). *Bull. Int. Sci. Rabat.* 33(2) 65 : 66.

**QUINN TP. KINNISON MT. & UNWIN M. 2001.** - Evolution of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) populations in New Zealand: pattern, rate and process. *Genetica*, 112-113: 493-513.

- RAHOU I. MELHAOUI R. LECOMTE-FINIGER R. MORAND S. & CHERGUI H. 2001.** – Abundance and distribution of *Anguillicola crassus* (Nematoda) in eels *Anguilla anguilla* from Moulouya estuary (Morocco). *Helminthologia*. 38, 2: 93-97.
- RAMADE F. 1992** – Précis de l'écotoxicologie. *Masson, Paris*.
- RENSING L. & RUOFF P. 2002.** - Temperature effect on entrainment, phase shifting, and amplitude of circadian clocks and its molecular bases. *Chronobiology International*.19 : 07-864.
- RICKER WE. 1975.** – Computation and interpretation of the biological statistics of fish population; *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, 191: 1-382.
- ROBINET T. & FEUNTEUN E. 2002.** – Sublethal effects of exposure to chemical compounds : a cause for the decline in Atlantic eels? *Ecotoxicology*, 11, 265- 277.
- ROBINS C.R. COHEN D.M. & ROBINS C.H. 1979.** - The eels *Anguilla* and *Histiobranchus*, photographed on the floor of the deep Atlantic in the Bahamas. *Bulletin of Marine Sciences*, 29, 401-405.
- ROCHE H. BUET A. E & RAMADE F. 2002.** - Relationship between persistent organic chemicals residues and biochemical constituent in fish from a protected area : the French National Nature Reserve of Camargue. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*. 133, 393-410.
- ROFF DA. & FAIRBAIRN DJ. 2001.** - The genetic basis of dispersal and migration, and its consequences for the evolution of correlated traits. In: Clobert J, Danchin E, Dhondt AA, Nichols JD (eds) *Dispersal*. Oxford *University Press*, Oxford : 191-202.
- ROGERS SM. GAGNON V. & BERNATCHEZ L. 2002.** - Genetically based phenotypeenvironment association for swimming behavior in lake whitefish ecotypes (*Coregonus clupeaformis* Mitchill). *Evolution*. 56 : 2322-2329.
- RUDDOCK PJ. BIRD DJ. MCEVOY J. & PETERS LD. 2003.** - Bile metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in European eels *Anguilla anguilla* from United Kingdom estuaries. *Sci. Total. Environ*. 301: 105–117.

**SABATIE R. & FONTENELLE G. 2007.** - The European Eel in Morocco: a resource on the edge? *Vie Milieu*, 57, 4 : 213-221.

**SAGLIO P. 1982.** - Piégeage d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans le milieu naturel au moyen d'extraits biologiques d'origine intraspécifique. Mise en évidence de l'activité phéromonale du mucus épidermique. *Acta Oecologica*, 3 : 223.

**SANTELLA RM. HEMMINKI K. TANG DL. PAIK M. OTTMAN R. & YOUNG TL. 1993.** - Polycyclic aromatic hydrocarbon-DNA adducts in white blood cells and urinary 1-hydroxypyrene in foundry workers. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 2(1): 59–62.

**SARAIVA S. 1992.** - Poisson, Téléostéen, Anguilliforme, dans l'estuaire de la Loire : pêche, écologie, écophysiologie et élevage. *Thèse de 3ème cycle*, Université de Rennes.

**SCHABUSS M. KENNEDY CR. KONECNY R. GRILLITSCH B. RECKENDORFER W. SCHIEMER F. & HERZIG A. 2005.** - Dynamics and predicted decline of *Anguillicola crassus* infection in European eels, *Anguilla anguilla*, in Neusiedler See, Austria. *J. Helminthol.* 79: 159–167.

**SCHMIDT J. 1922.** - The breeding places of the eel. *Phil. Trans. .R. Soc..* 211 (B) : 179-208.

**SECOR D. B. Dean J. M. & Laban E. B. 1992.** - Otolith removal and preparation for microstructural examination. – In: Stevenson, D.K. & Campana, S.E (eds.) Otolith microstructure examination and analysis. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 117; 19-57.

**SKAREK M, JANOSEK J, CUPR P, KOHOUTEK J, NOVOTNA-RYCHETSKA A, HOLOUBEK I. 2007.** - Evaluation of genotoxic and non-genotoxic effects of organic air pollution using in vitro bioassays. *Environment international*, 33(7): 859-66.

**SOLA C. & TOSI L. 1993.** - Bile salts and taurine as chemical stimuli for glass eels, *Anguilla anguilla*: a behavioural study. *Environmental Biology of Fishes*, 37: 197-204.

**SOLA C. & TONGIORGI P. 1996.** - The effects of salinity on the chemotaxis of glass eels, *Anguilla anguilla*, to organic earthy and green odorants. *Environmental Biology of Fishes.* 47 :

213-218.

**SOLA C. & TONGIORGI P. 1998.** - Behavioural responses of glass eels of *Anguilla Anguilla* to non-protein amino acids. *Journal of Fish Biology*, 53: 1253-1262.

**SORENSEN PW. & BIANCHINI ML. 1986.** - Environmental correlates of the freshwater migration of elvers of the American eel in a Rhode Island brook. *Transactions of the American Fisheries Society*, 115 : 258-268.

**SORENSEN PW. 1996.** - Biological responsiveness to pheromones provides fundamental and unique insight into olfactory function. *Chemical Senses*, 21 : 245-256.

**STROOMBERG GJ, ZAPPEY H, STEEN R, VAN GESTEL CAM, ARIESE F, VELTHORST NH & VAN STRAALLEN NM. 2004.** - PAH biotransformation in terrestrial invertebrates – a new phase II metabolite in isopods and springtails. *Comparative Biochemistry and Physiology C. Toxicol App Pharm* 138: 129–137.

**SIVAPERUMAL P. SANKAR T. V. & VISWANATHAN & NAIR P. G. 2007.** - Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis à vis international standards. *Food Chemistry*, 102: 612-620.

**SURES B. TARASCHEWSKI H. & JACKWERTH E. 1994.** - Lead content of *Paratenuisentis* ambiguous (Acanthocephala), *Anguillicola crassus* (Nematodes) and their host *Anguilla anguilla*. *Dis. Aquat. Org.* 19:105-107.

**SURES B. & SIDDALL R. 1999.** - *Pomphorhynchus laevis*: the intestinal acantho- cephalan as a lead sink for its fish host, chub (*Leuciscus cephalus*). *Experimental Parasitology*, 93: 66-72.

**SUTHERLAND WJ. GILL JA. NORRIS K. 2002.** - Density-dependent dispersal in animals: concepts, evidence, mechanisms and consequences. In: Bollock JM, Kenward RE, Hails RS (eds) *Dispersal Ecology*. Blackwell Publishing, Oxford, p 134- 151.

**SZEKELY CS. LANG M. & CSABA GY. 1991.** - First occurrence of *Anguillicola crassus* in Hungary. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists* 11, 162–163.

**TAHIRI L. BENNASSER L. IDRISSE L. FEKHAOUI M. EL ABIDI A. & MOURADI A. 2005.** – Contamination métallique de *Mytilus galloprovincialis* et des sédiments au niveau de l'estuaire de Bouregreg (Maroc). *Water Qual. Res. J. Canada*, 40 : 111-119.

**TAIROVA ZM. GIESSING AMB. HANSEN R. & ANDERSEN O. 2009.** - 1-Hydroxypyrene as a biomarker of PAH exposure in the marine polychaete *Nereis diversicolor*. *Mar. Environ. Res.* 67: 38-46.

**TESCH F. W. 1977.** -The eel. Chapman and Hall, London. 434 pp.

**TESCH F. W. NIERMANN U. & PLAGA A. 1985.** - Eel larvae (*Anguilla anguilla* L.) development stage and stock density in time and space off the west coast of Europe. Rapp. P.-V. Réun. CIEM, : 18 p.

**TESCH F. W. 2003.** - The eel. 3rd edition. Blackwell publishing. Ltd, Oxford, UK 5th Ed. 408p, 119–212.

**TOSI L. SPAMPANATO A. SOLA C. & TONGIORGI P. 1990.** - Relation of water odour, salinity and temperature to ascent of glass eels, *Anguilla anguilla* (L.): a laboratory study. *Journal of Fish Biology.* 36 : 327-340.

**TZENG WN. 1985.** - Immigration timing and activity rhythms of the eel, *Anguilla japonica*, elvers in the estuary of Northern Taiwan, with emphasis on environmental influences. *Bulletin of the Japanese Society of Fisheries and Oceanography.* 47-48 : 11-28.

**USEPA 1984.** - The development of data quality objectives. Prepared by the EPA quality assurance management staff and the DQO workgroup. *U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.*

**VAN DER OOST FJ. VAN SCHOOTEN F. ARIESE H. SATUMALAY HEIDA K. &**

**VAN WILLINGEN J. & DEKKER W. 1989.** - Update on *Anguillicola* in Dutch outdoors waters. In: EIFAC WGE, Porto, Portugal, 29 May to 3 June, 1989: 1–8.

**VENTAKESAN. 1988.** - Occurrence and possible sources of perylene in marine sediments- a review. *Marine Chemistry*, 25, 1:1-27.

**VERMEULEN N. 1994.** - Bioaccumulation, biotransformation and DNA binding of PAHs in feral eel (*Anguilla anguilla*) exposed to polluted sediments: a field survey. *Environ Toxicol Chem.* 13: 859–870.

**VILTER V. 1946.** - Action de la thyroxine sur la métamorphose larvaire de l'anguille. Comptes Rendus des Séances de la Société de Biologie et de ses Filiales. 140 : 783-785.

**VOGELBEIN W.K. FOURNIE J.W. VAN VELD P.A. & HUGGETT R.J. 1990.** Hepatic neoplasms in the mummichog *Fundulus heteroclitus* from a creosote-contaminated site. *Cancer Research.* 50, 5978-5986.

**VØLLESTAD. L.A. 1992.** - Geographical variation in age and length at metamorphosis of maturing european eel: Environmental effects and phenotypic plasticity. *Journal of Animal Ecology.* 61: 41-48.

**VUONTISJARVI H. KEINANEN M. VUORINEN PJ. & PELTONEN K. 2004.** - A comparison of HPLC with fluorescence detection and fixed wavelength fluorescence methods for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites in fish bile. *Polycycl Aromat Com.* 24: 333–342.

**VUORINEN PJ. KEINÄNEN M. VUONTISJÄRVI H. BARSJENE J. BROEG K. FÖRLIN L. GERCKEN J. KOPECKA J. KÖHLER A. PARKKONEN J. PEMPKOWIAK J. & SCHIEDEK D. 2006.** - Use of biliary PAH metabolites as a biomarker of pollution in fish from the Baltic Sea. *Mar. Pollut Bull.* 53: 479-487.

**WAKEHAM S. G. SCHAFFNER C. & GIGER W. 1980.** - Polycyclic aromatic hydrocarbons in Recent lake sediments--I. Compounds having anthropogenic origins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44(3): 403-413.

**WANG Z. FINGAS M. LAMBERT P. ZENG G. YANG C. & HOLLEBONE B. 2004.** - Characterization and identification of the Detroit River mystery oil spill (2002). *Journal of Chromatography A* 1038, (1-2): 201-214.

**WANG XH. HONG HS. MU JL. LIN JQ. & WANG SH. 2008.** - Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) metabolites in marine fishes as a specific biomarker to indicate PAH

pollution in the marine coastal environment. *J Environ Sci Health. Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environ Eng* 43: 219-226.

**WARIAGHLI F. 2006.** - L'anguille *Anguilla anguilla* L., 1758: Contamination métallique au bas Sebou et à Moulay Bousselham et biologie et croissance à l'Oued Martil. Diplôme d'Etude Supérieures Approfondies (D.E.S.A), Univ. Mohammed V, Fac. Sci., Rabat, 82p.

**WARIAGHLI F. AI AMOURI M. YAHYAOUI A. 2011.** – Report on the eel stock and fisheries in Morocco *EIFAAC/ICES WGEEL REPORT* 2011. 552-577p.

**WARIAGHLI F. AL AMOURI M. KHODARI M. FEKHAOUI M. YAHYAOUI A. 2012.** - Report on the eel stock and fisheries in Morocco *EIFAAC/ICES Wgeel*. 509-543p.

**WARIAGHLI F. KAMMANN, HANEL R. NAGEL F. WYSUJACK K. & A YAHYAOUI. 2013a.** - Contamination by biliary PAH metabolites in eel (*Anguilla anguilla* L.) in Sebou and Loukkos estuaries (Morocco). *African Journal of Aquatic Science*. SOUMIS

**WARIAGHLI F. TILGHMAN A. ABIDI A. EL HAMRI H. FEKHAOUI M. & YAHYAOUI A. 2013b.** - *Anguilla anguilla* L.: Evaluation of the degree of heavy metals contamination in the Sebou estuary and in Moulay Bousselham lagoon reserve (Morocco). *Int. J. Aqu. Sci*, 4, No.2, 69-82.

**WARIAGHLI F. YAHYAOUI A. & LEFEBVRE F. 2013c.** - *Anguillicoloides crassus* (Nematoda: Dracunculoidea) infection in Eels in Moroccan estuaries. *African Zoology*. SOUMIS.

**WATSON GM. ANDERSEN OK. GALLOWAY TS. & DEPLEDGE MH. 2004.** - Rapid assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) exposure in decapod crustaceans by fluorimetric analysis of urine and haemolymph. *Aquat Toxicol*. 67: 127–142.

**WEBER LP. & LANNO RP. 2001.** - Effect of bile salts, lipid and humic acids on absorption of benzowaxpyrene by isolated channel catfish (*Ictalurus punctatus*) intestine segments. *Environ Toxicol Chem*. 20: 1117–1124.

**WILLIAMS GC. KOEHN RK. & MITTON JB. 1973.** - Genetic differentiation without

isolation in the American eel, *Anguilla rostrata*. *Evolution*. 27 : 192-204.

**WILLIAMS GC. Y & KOEHN RK. 1984.** - Population genetics of North Atlantic catadromous eels (*Anguilla*). In: editor BJT (ed) *Evolutionary Genetics of Fishes*. Plenum, New York, USA. : 529-560.

**WILSON JM. ANTUNES JC. BUÇA PD. & COIMBRA J. 2004.** - Osmoregulatory plasticity of the glass eel of *Anguilla anguilla*: freshwater entry and changes in branchial iontransport protein expression. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 61 : 432-442.

**WIPPELHAUSER G. S. & MCCLEAVE J. D. 1988.** - Rhythmic activity of migrating juvenile American eels *Anguilla rostrata*. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 68 : 81-91.

**WIRTH T. & BERNATCHEZ L. 2001.** - Genetic evidence against panmixia in the European eel. *Nature*, 409 : 1037-1040.

**WIRTH T. & BERNATCHEZ L. 2003.** - Decline of North Atlantic eels: a fatal synergy? Proceeding of the Royal Society: *Biological Sciences*. 270 : 681-688.

**WOODHEAD RJ. LAW RJ. & MATTHIESSEN P. 1999.** - Polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments around England and Wales and their possible biological significance. *Mar Pollut Bull.* 38(9): 773-790.

**WÜRTZ J., KNOFF K., TARASCHEWSKI H. 1998.** - Distribution and prevalence of *Anguillicola crassus* (Nematoda) in eels *Anguilla anguilla* of the rivers Rhine and Naab, Germany. *Dis. Aquat. Org.* 32: 137-143.

**XIE H. LAMPI M.A. D. D. G. GREENBERG B.M. 2007.** - Assessment of the toxicity of mixtures of nickel or cadmium with 9, 10-phenanthrenequinone to *Daphnia magna*: impact of a reactive oxygenmediated mechanism with different redox-active metals. *Environmental Technology and Chemistry*, 26(7): 1425-1432.

**YAHYAOUI A. 1981.** - Pénétration des civelles dans l'estuaire du Sebou au cours de la saison de pêche 1980 - 1981. *CEA. Fac. Sci. Rabat*, 46p.

**YAHYAOUI A. 1983.** - Etude comparée (recrutement, croissance et polymorphisme enzymatique) des populations atlantiques et méditerranéennes (Maroc – France) de civelles d'*Anguilla anguilla* L., 1758. *Thèse 3ème cycle*, Univ., de Perpignan, 177 pp.

**YAHYAOUI A. 1991.** - Contribution à l'étude de l'anguille (*Anguilla anguilla* L., 1758) dans son aire méridionale de répartition géographique : Littoral atlantique et méditerranéen marocain. *Thèse de doctorat d'état*, Univ. Mohammed V, Fac. Sci. Rabat, 314 p.

**YAHYAOUI A. FREYHOF J. & STEINMANN I. 2004.** - Diversité ichtyologique et biologie d'*Anguilla anguilla* L., 1758 (Actinopterygii, Anguillidae) dans le Rhin moyen. *Zool. Baetica*, 15 : 39-60.

**YAHYAOUI A. AZEROUAL A. & CHETTO N. 2006.** - Etude de diagnostic « Poissons, Pêche et Pisciculture ». Actualisation du Plan de Gestion de la Merja Zerga (Moulay Bouselham, Maroc). Projet LIFE3 TCY/INT/031 : *Maghreb Zones Humides*, 69 p.

**YAMAMOTO K. & YAMAUCHI. K. 1974.** - Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium. *Nature*, 251: 381

**YUAN SY. CHANG JS. YEN JH. AAS E. BEYER J. & GOKSØYR A. 1998.** - PAH in fish bile detected by fixed wavelength fluorescence. *Mar Environ Res.* 46: 225–228.

**YUAN SY, CHANG JS, YEN JH, CHANG BV. 2001.** - Biodegradation of phenanthrene in river sediment. *Chemosphere.* 43: 273–278.

**ZIMMERMANN S. BAUMANN U. TARASCHEWSKI H. & SURES B. 2004.** - Accumulation and distribution of platinum and rhodium in the European eel *Anguilla anguilla* following aqueous exposure to metal salts. *Envir. Pollution.* 127:195-202.

**ZOUHIR I. 2006.** - Contribution à l'étude de l'écologie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758) au niveau de l'estuaire de l'oued Sebou Diplôme d'Etude Supérieures Approfondies (D.E.S.A), Univ. Mohammed V, Fac. Sci., Rabat, 83p.