

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme Master II en science de la mer

Option : Bio-Ressources Marines

Thème :

# Variabilité morphologique et croissance de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* L. 1958 de l'Est Algérien

**REALISE PAR :**

M<sup>elle</sup> Refif Sarra

M<sup>e</sup> Masoudi Ahlam

Soutenu publiquement devant le jury :

- |  |       |                                  |
|--|-------|----------------------------------|
| ◆ Présidente : Dr. Djabourabbi A.      | M.C.A | Univ. Chadli Bendjedid –El TAREF |
| ◆ Examinatrice : Dr. Djebbari N.       | M.C.A | Univ. Chadli Bendjedid –El TAREF |
| ◆ Directrice de mémoire : Dr. TAHRI M. | M.C.A | Univ. Chadli Bendjedid –El TAREF |

2019 /2020

# *Remerciement*

*Je remercie avant tout « Dieu » le tout puissant de m'avoir guidé  
durant toutes ces années et permis ainsi la  
Réalisation de ce mémoire, en me donnant la force, la patience et la  
volonté.*

*Je remercie également les membres du jury :*

*Dr. Djabourabbi A et Dr. Djebbari N.*

*Au terme de ce travail, je souhaite exprimer ma profonde  
reconnaissance À mon encadreur Madame TAHRI M.*

*Pour son aide durant ce travail.*

*Mes remerciements vont également à tout le personnel de Bioressource  
marine*

*SARRA et AHLAM*

*Merci* 



# *Dédicaces*

*Je voudrais dédier ce modeste TRAVAIL*

*A ma chère maman et mon cher père qui m'ont*

*Tant soutenu et encouragé dans tous les domaines et*

*Surtout pour réaliser ce rapport.*

*A Pour ma précieuse grande sœur Sonia*

*A Pour ma petite princesse Cherifa*

*je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance À mon encadreur*

*Madame TAHRI M.*

*A tous ceux qui m'ont tendu la main pour aider.*

*A tous ceux que j'aime, et tous ceux qui m'aiment, à toute ma famille,*

*à mes amies, je vous dis MERCI*

*SARRA*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire à :*

*\*Mon père, « **Saci** » qui n'a jamais cessé de m'encourager dans la poursuite de mes études en m'apportant tous son soutien, que dieu le garde.*

*\*Ma mère, « **Mabrouka** » qui par son amour et ses prières a toujours cru en ma réussite, que dieu la bénisse.*

*\*A, mon mari, « **Hamza** » qui a toujours était à mes côtés.*

*\*A mes frère « **Djalel, Salah, et Khalil** » et ma sœur « **Hayette** ».*

*\*Je n'oublie pas mes enfants jumeaux la prune de mes yeux « **Mouhamed Anas et Djana Baylessene** ».*

*\*A, tous mes collègues pour leur soutien et leur patience.*

*\*A, toute ma famille pour le soutien moral durant ces années d'études.*

*\*A tous mes professeurs et à tous mes amis.*

*\*Finalement un grand merci à toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre m'a apporté leur aide et leurs conseils pour mener à bien ce travail.*

*\*A tous, je présente un grand merci.*

*AHLAM*



## Résumé

Animal énigmatique et mystérieux, l'anguille européenne a depuis l'Antiquité fasciné son entourage ; grand migrateur, amphihalien, thalassotoque, catadrome, semelpare...etc.; or, depuis au moins le début des années 1980, son abondance continentale a décliné à travers toute son aire de répartition. Nous avons choisie d'entreprendre une étude sur la croissance de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* peuplant 3 biotopes différents de l'extrême Est algérien : le lac Oubeira, le lac Tonga et l'estuaire du Mafragh durant 2 mois d'étude (novembre et décembre 2019).

Les anguilles échantillonnées à partir des 3 sites d'étude sont majoritairement considérées comme « jaunes » selon l'IO et selon l'ILp.

Des indices morphologiques internes moyens de : RGS moyen=0%, 0.11%, 0.23% ; RHS moyen=2.06%, 1.41%, 1.75% et RTDVS moyen=3.59%, 3.6%,4.02% pour les anguilles échantillonnées dans le lac Oubeira, le lac Tonga et l'estuaire du Mafragh respectivement.

Un bon état de croissance de toutes les anguilles capturées ( $K_{\text{anguilles Oubeira}}=1,88$  ;  $K_{\text{anguilles Tonga}}=1,84$  et  $K_{\text{anguilles Mafragh}}=1,88$ ).

**Mots clés :** *Anguilla anguilla* ; croissance ; lac Tonga ; lac Oubeira, estuaire Mfragh.

## ملخص

حيوان غامض ، لقد فتن ثعبان البحر الأوروبي من حوله منذ العصور القديمة. هجرة كبيرة، أمفياليني، ثالاسوتيك، كاتادروموس، سيميلبي ... إلخ؛ ومع ذلك، منذ أوائل الثمانينيات على الأقل، انخفضت وفرتها القارية في جميع أنحاء نطاقها. لقد اخترنا إجراء دراسة حول نمو ثعبان البحر أنغيلا أنغيلا الذي يسكن 3 بيئات حيوية مختلفة في أقصى شرق الجزائر: بحيرة أوبيرا وبحيرة تونغا ومصب نهر مفرج خلال شهرين من الدراسة نوفمبر وديسمبر 2019 . تعتبر الثعابين التي تم أخذ عينات منها من مواقع الدراسة الثلاثة "صفراء" وفَقَّال IO ووفَقَّال ILP .

متوسط المؤشرات المورفولوجية الداخلية: متوسط 0.11%، 0.23%؛ RGS = 0 ، RHS=

2.06% ، 1.41% ، 1.75% و 3.6% ، 4.02% ، RTDVS = 3.59% ، للثعابين المأخوذة من بحيرة أوبيرا وبحيرة تونجا ومفرج على التوالي.

حالة النمو الجيد لجميع ثعابين الأنقليس المأسورة (K Oubeira eels = 1.88 ؛ K Tonga eels = 1.84 و Kanguilles Mafragh = 1.88).

الكلمات المفتاحية: *Anguilla anguilla*؛ نمو؛ بحيرة تونغا بحيرة أوبيرا، مصب مفرج.

## Summary

An enigmatic and mysterious animal, the European eel has fascinated those around it since Antiquity; great migrant, amphihaline, thalassotoque, catadromous, semelpare... etc; however, since at least the early 1980s, its continental abundance has declined throughout its range. We chose to undertake a study on the growth of the European eel *Anguilla anguilla* populating 3 different biotopes of the extreme east of Algeria: Oubeira Lake, Tonga Lake and the Mafragh estuary during 2 months of study (November and December 2019).

The eels sampled from the 3 study sites are mostly considered "yellow" according to the IO and according to the ILp.

The mean internal morphological indexes are RGS = 0%, 0.11%, 0.23%; RHS = 2.06%, 1.41%, 1.75% and RTDVS = 3.59%, 3.6%, 4.02% for eels sampled in Oubeira Lake, Tonga Lake and the Mafragh estuary respectively.

Good growth status of all captured eels (K Oubeira eels = 1.88; K Tonga eels = 1.84 and K Mafragh eels = 1.88).

**Keywords:** *Anguilla anguilla*; growth; Lake Tonga; Oubeira lake, Mfragh estuary.

**Liste des figures**

N°	Titre	Page
Figure 01	Morphologie de l'anguille européenne <i>Anguilla anguilla</i> (www.logrami.fr).	04
Figure 02	Larve leptocéphale d'anguille européenne (www.bateaux.com).	09
Figure 03	Civelle d'anguille européenne <i>Anguilla anguilla</i> (ONEMA, 2010).	09
Figure 04	Photographie d'une anguille jaune <i>Anguilla anguilla</i> (ONEMA, 2010).	10
Figure 05	Photographie d'une anguille argentée <i>Anguilla anguilla</i> (ONEMA, 2010).	10
Figure 06	Cycle biologique de l'anguille européenne <i>Anguilla anguilla</i> (www.ifremer.fr).	12
Figure 07	Position des otolithes à l'intérieur de l'oreille interne des poissons Téléostéens (modifié d'après Secor <i>et al.</i> , 1992).	17
Figure 08	Les trois paires d'otolithes d'un poisson Photichtidae (S : <i>sagitta</i> , <i>lapillus</i> , A : <i>asteriscus</i> ; échelle=300 µm) (Thomas et Panfili, 2000).	17
Figure 09	Différentes formes d'otolithes de poissons (Darnaude, 2012).	18
Figure 10	Otolithe d'une anguille européenne (coupe sagittale) (ICES, 2007).	19
Figure 11	Localisation du lac Oubeïra (googleearth.fr).	22
Figure 12	Châtaigne d'eau (à gauche) et Nénuphar jaune (à droite).	23
Figure 13	Photographie du lac Tonga (PNEK 2009).	24
Figure 14	Photographie de flore présente dans le lac Tonga (PNEK 2009).	25
Figure 15	Contexte géographique de l'estuaire du Mafrag et de son bassin versant. _ : Barrages ; Limite de coin salé(www.google.fr).	27

## ***LISTE DES FIGURES***

<b>Figure 16</b>	Contexte géographique de l'estuaire du Mafrag et de son bassin versant. _: Barrages ; Limite de coin salé(www.google.fr).	<b>27</b>
<b>Figure 17</b>	Mesures biométriques des anguilles capturées (à gauche : mesure de la taille ; à Droite : prise de poids) (Tahri, 2011).	<b>28</b>
<b>Figure 18</b>	Mesure de la longueur de la nageoire pectorale (Tahri, 2011).	<b>29</b>
<b>Figure 19</b>	Mesure des diamètres oculaires horizontale (à gauche) et verticale (à droite) (Tahri, 2011).	<b>30</b>
<b>Figure 20</b>	Photographie d'une anguille disséquée (Tahri, 2011).	<b>31</b>
<b>Figure 21</b>	Organes prélevés après dissection (a : branchies ; b : tube digestif ; c : vessie gazeuse ; d : foie et e : gonades) (Tahri, 2011).	<b>32</b>
<b>Figure 22</b>	Pesée des gonades (Tahri, 2011).	<b>33</b>
<b>Figure 23</b>	Pesée du foie (Tahri, 2011).	<b>33</b>
<b>Figure 24</b>	Pesée du tube digestif vide (Tahri, 2011).	<b>34</b>
<b>Figure 25</b>	Distribution des classes de taille des anguilles capturées au niveau des 3 sites.	<b>35</b>
<b>Figure 26</b>	Distribution des classes de poids des anguilles capturées au niveau des 3 sites.	<b>36</b>
<b>Figure 27</b>	Variation mensuelle des tailles moyennes des anguilles capturées dans les 3 sites.	<b>36</b>
<b>Figure 28</b>	Variation mensuelle des poids moyens des anguilles capturées dans les 3 sites.	<b>36</b>
<b>Figure 29</b>	Proportion des anguilles capturées dans le lac Oubeira, selon l'IO.	<b>37</b>
<b>Figure 30</b>	Proportion des anguilles capturées dans l'estuaire du Mafragh, selon l'IO.	<b>37</b>
<b>Figure 31</b>	Proportion des anguilles capturées dans le lac Tonga, selon l'IO.	<b>38</b>
<b>Figure 32</b>	Variation saisonnière de l'IO des anguilles capturées dans les 3 sites.	<b>38</b>
<b>Figure 33</b>	Proportion des anguilles capturées dans le lac Oubeira, selon l'ILp.	<b>39</b>
<b>Figure 34</b>	Proportion des anguilles capturées dans le lac Tonga, selon l'ILp.	<b>39</b>
<b>Figure 35</b>	Proportion des anguilles capturées dans l'estuaire du Mafragh, selon l'ILp.	<b>40</b>

## ***LISTE DES FIGURES***

<b>Figure 36</b>	Variation saisonnière de l'ILp moyen des anguilles capturées dans les 3 sites.	<b>40</b>
<b>Figure 37</b>	Classes de taille des anguilles capturées et stades correspondants établis parGRISAM	<b>41</b>
<b>Figure 38</b>	Proportion du RGS (%) des anguilles du lac Oubeira	<b>42</b>
<b>Figure 39</b>	Proportion du RGS (%) des anguilles du lac Tonga.	<b>42</b>
<b>Figure 40</b>	Proportion du RGS (%) des anguilles de l'estuaire du Mafragh.	<b>43</b>
<b>Figure 41</b>	Proportion du RGS (%) des anguilles du lac Oubeira.	<b>43</b>
<b>Figure 42</b>	Proportion du RHS (%) des anguilles du lac Tonga.	<b>44</b>
<b>Figure 43</b>	Proportion du RHS (%) des anguilles de l'estuaire du Mafragh.	<b>44</b>
<b>Figure 44</b>	Proportion du RTDVS (%) des anguilles du lac Oubeira.	<b>45</b>
<b>Figure 45</b>	Proportion du RTDVS (%) des anguilles du lac Tonga	<b>45</b>
<b>Figure 46</b>	Proportion du RTDVS (%) des anguilles de l'estuaire du Mafragh.	<b>46</b>
<b>Figure 47</b>	Variation mensuelle de K moyen des anguilles du lac Oubeira.	<b>46</b>
<b>Figure 48</b>	Variation mensuelle de K moyen des anguilles du lac Tonga.	<b>47</b>
<b>Figure 49</b>	Variation mensuelle de K moyen des anguilles de l'estuaire Mafragh.	<b>47</b>

***Liste des Tableaux***

N°	Titre	Page
<b>Tableau 01</b>	La classification de l'anguille européenne.	03
<b>Tableau 02</b>	Caractéristiques comparatives (Coudre, 2002)	05
<b>Tableau 03</b>	Production (en tonnes) d'anguilles dans le lac Tonga de 1999 à 2003 (source M.P.R.H. 2004).	26

# Sommaire

**Remerciement**

**Dédicace**

**Résumé**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction**

## **I.GENERALITES**

**I.1. Classification de l'anguille européenne *Anguilla Anguilla* 03**

**I.2 Description/Morphologie 04**

**I.3. Ecologie 06**

**I. 3.1 Habitat 06**

**I.3.2 Capacité de nage 07**

**I.3.3 Tolérance de température 07**

**I.3.4 Croissance 07**

**I.3.5 Longévité en milieu continental 07**

**I.4. Aire de répartition 08**

**I.5. Cycle biologique 08**

**I.7. Identification des menaces 13**

**I. 7.1 Menaces naturelles sur l'anguille 13**

**I.7.2 Menaces anthropiques 14**

## **II. L'OTOLITHOMETRIE**

**II.1. Introduction-Historique 15**

**II.2. Description -fonction 16**

**II.3. Composition 19**

**II. MATERIELS ET METHODES**

<b>II.1. Zone d'étude :</b>	<b>21</b>
<b>1.1. Lac Oubeira</b>	<b>21</b>
<b>1.2. Le lac Tonga</b>	<b>24</b>
<b>1.3. L'estuaire du Mafrag</b>	<b>26</b>
<b>II.2. Méthodologie de travail</b>	<b>28</b>
Structure de la sous population étudiée	28
<b>II .3 Analyse statistique</b>	<b>34</b>

**III. Résultats**

<b>III.1. Caractérisation de la sous-population d'anguilles capturées</b>	<b>35</b>
<b>2. Application des indicateurs de qualité d'anguilles argentées</b>	<b>37</b>
<b>3. Rapport Gonado-Somatique (RGS%).</b>	<b>42</b>
<b>4. Rapport Hepato-Somatique (RHS%).</b>	<b>43</b>
<b>5. Rapport Tube Digestif Vide-Somatique (RTDVS%).</b>	<b>45</b>
<b>6. Variation mensuelle de l'indice de condition K moyen.</b>	<b>47</b>

**VI. Discussion**

<b>Discussion</b>	<b>48</b>
<b>Conclusion</b>	

**Références bibliographiques**

---

# *Introduction*

---

### INTRODUCTION

Parmi les processus qui contribuent à **la diversité des histoires de vie**, la dispersion est probablement le plus impliqué dans la persistance et l'évolution des espèces. Elle permet de se soustraire à la compétition et aux conditions de vie défavorables, de maintenir la connectivité entre des unités géographiquement isolées, de déplacer et d'étendre l'aire de distribution par exploration de nouveaux habitats. A ce titre, les anguilles sont parmi les animaux les plus remarquables en termes de capacité de dispersion de leurs larves. Ces leptocephales peuvent en effet parcourir de plusieurs centaines à plusieurs milliers de kilomètres jusqu'à atteindre les aires de croissance côtières, estuariennes ou dulcicoles, d'où les adultes s'échappent pour rejoindre les zones de pontes océaniques tropicales, se reproduire et mourir. Cette boucle de migration est supposée avoir d'abord eu lieu en milieu tropical et s'être progressivement élargie jusqu'aux habitats tempérés pour la croissance.

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.) est une espèce migratrice amphihaline thalassotoque. Elle est longtemps apparue comme une espèce commune représentant une composante majeure des milieux aquatiques littoraux et continentaux, notamment dans les zones les plus proches des estuaires ([Moriarty & Dekker, 1997](#) ; [Feunteun et al., 1998 et 1999](#) ; [Baisez et al., 2000](#) ; [Baisez, 2001](#)). Jusqu'en 1985 sa présence était même jugée indésirable dans les cours d'eau de première catégorie car il était supposé qu'elle exerçait une forte prédation sur les jeunes salmonidés.

L'anguille est maintenant listée dans la liste Rouge des espèces menacées dans plusieurs pays ([Bonhommeau, 2008](#)), et a été incluse à l'annexe II de la convention sur le commerce international des espèces menacées (CITES) ([CITES, 2006](#)). L'anguille fait également l'objet d'un règlement européen visant à la restauration de la biomasse féconde à 40% de la biomasse pristine ([Commission of the European Communities, 2005](#)).

En Algérie les anguilles sont pêchées à l'automne dans les lacs Tonga et Oubeïra et dans l'estuaire du Mafragh constitué par la rencontre de l'oued Bounamoussa et de l'oued El Kébir, ainsi que dans la lagune El Mellah qui est l'unique lagune saumâtre du pays. Dans les lacs, les captures se font grâce à des nasses et des filets verveux. La pratique de la pêche d'anguille dans ces plans d'eau et estuaire a débuté depuis déjà quelques décennies. La production annuelle moyenne signalée dans la région d'El Kala (Nord Est algérien) était de l'ordre de 80

tonnes dont la presque totalité est exportée vers l'Italie (Rapport MPRH, 2004). Dans la lagune El Mellah, jusqu'au début des années 90, la production a été dominée par l'anguille qui représentait de 50 à plus de 80% des apports de la pêche, puis cette proportion a diminué jusqu'à atteindre moins de 20% au début des années 2000 (Kara et Chaoui, 1998).

Cependant en l'état actuel des recherches conduites sur cette espèce, beaucoup d'informations manquent et leur acquisition est nécessaire : éléments sur la démographie des populations peuplant les hydro-systèmes Nord-Africains (structure en taille, en âges, en sexes, vitesse de croissance, qualité des individus en termes de contamination par les polluants ou certains parasites...)

Ainsi, la population d'anguilles échantillonnées du lacs Oubeïra, Tonga et l'estuaire du Mafragh ; sera caractérisée d'un point de vue qualitatif sur la base de critères biométriques (taille, poids, sexe, maturité, coefficient de condition), anatomiques internes (Rapport Hépatosomatique, Rapport Gonado-Somatique et Rapport Tube Digestif Vide-Somatique).

### Structure du mémoire

Ce manuscrit de mémoire s'articulera de la manière suivante :

*Partie 1 : contexte de l'étude* : seront évoquées les menaces qui contribuent au déclin de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*, une présentation générale de sa bio-écologie et enfin les différentes pathologies de l'anguille.

*Partie 2 : matériel et méthodes* : sera positionnée la zone d'étude ainsi que les méthodes appliquées pour le calcul des différents indices de croissance et épidémiologiques.

*Partie 3 : résultats* : cette partie comprend 3 points présentés comme suit :

La structure de la sous-population étudiée et **la croissance corporelle** de la sous-population échantillonnée au cours de la période de prélèvement ;

*Partie 4 : discussion générale et conclusion* : dans cette dernière partie seront comparés les résultats obtenus dans ce travail avec des études antérieures dans les trois sites.

# *Généralités*

---

## I.1. Classification de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*

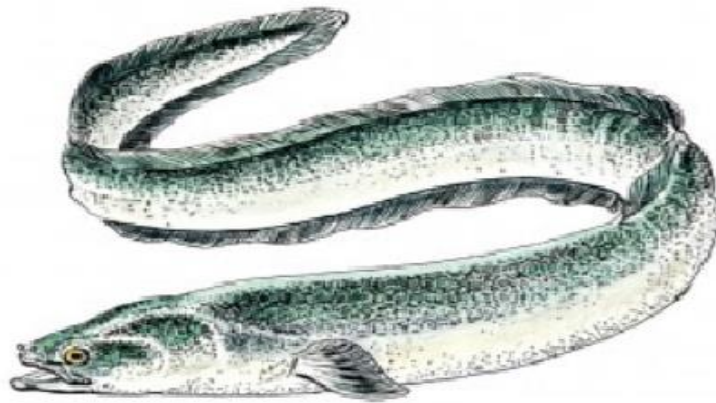
La famille des *Anguillidées* ne comprend qu'un seul genre, comportant 14 et 19 espèces suivant les auteurs (anonyme 1984), réparties sur les cinq continents (cependant le nombre d'espèce varie suivant les auteurs). Les critères spécifiques de ces anguilles sont basés sur la distribution géographique, la longueur de la nageoire dorsale, la disposition des dents maxillaires et vomériennes du plafond buccal, la robe tachetée ou non, et le nombre de vertèbres (Keith & Allardi, 2001). L'espèce majoritairement représentée en Europe, *Anguilla anguilla*, a été décrite par Linné en 1758 (Tableau 1). L'anguille américaine, *Anguilla rostrata* peut également se rencontrer en Europe, par exemple en Islande (Feunteun et al. 2002).

**Tableau 1** : La classification de l'anguille européenne.

Classification	
Règne	<i>Animalia</i>
Embranchement	<i>Chordata</i>
Sous-embranchement.	<i>Vertebrata</i>
Super-classe	<i>Osteichthyes</i>
Classe	<i>Actinopterygii</i>
Sous-classe	<i>Neopterygii</i>
Infra-classe	<i>Teleostei</i>
Super-ordre	<i>Elopomorpha</i>
Ordre	<i>Anguilliformes</i>
Sous-ordre	<i>Anguilloidei</i>
Famille	<i>Anguillidae</i>
Genre	<i>Anguilla</i>
<b>Nom binominal</b> : <i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758)	

## I.2. Description/Morphologie

La forme très particulière, de l'anguille est serpentiforme, allongé cylindrique et recouverte d'une peau épaisse dans laquelle s'imbriquent de minuscules écailles ovales qui n'apparaissent qu'à l'âge de 4 à 5 ans. De 60 cm de long pour un poids de 400 g environ (Taille : de 20 à 50 cm pour les mâles et de 40 à 150 cm pour la femelle. Poids : 100 à 500 g pour le mâle et de 0,300 à 3 kg pour la femelle jusqu'à 4 kg.). La mâchoire est garnie de toutes petites dents en très grands nombres (Gysin, 2004). La mâchoire inférieure est plus courte que la supérieure. La tête est légèrement aplatie et les opercules laissent apparaître chacun un petit orifice branchial. Les yeux sont de petite taille. La bouche, largement fendue renferme une fine dentition saillante.



**Figure 1** : Morphologie de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*([www.logrami.fr](http://www.logrami.fr)).

L'anguille possède deux paires de narines au bout du museau, qui nous montre que l'odorat est primordial chez ce poisson. Elle est un poisson de l'ombre, car elle passe son temps caché dans les obstacles, à l'abri de la lumière. Les nageoires pelviennes sont absentes, les nageoires caudales, anales et dorsales sont soudées (**Tableau 2**). L'anguille jaune (forme sédentaire en eau douce) a le dos brun-olive et le ventre jaune, tandis que l'anguille argentée (forme migratrice) est vert-gris sur le dos avec des reflets argentés sur les flancs et le ventre. Les jeunes spécimens ou Leptocéphales ont une allure de feuille de saule (Gysin, 2004).

**Tableau 2** : Caractéristiques comparatives (Coudre, 2002).

Taille moyenne adulte	1,20 m (max : 1,50 m pour 6 à 7 kilos)
Mode de reproduction	sexes séparés
Période de reproduction	éclosion mars-avril (mer des Sargasses)
Fécondité	de 3 à 8 millions d'œufs
Nageoire Dorsales	245 à 275 rayons souples
Nageoire Anale	205 à 235 rayons souples
Nageoire Pectorales	17 à 20 rayons
Nageoire Ventrales	Absentes
Nageoire Caudale	10 rayons souples
Ligne latérale	Recouvre près de 120 vertèbres
Écailles	Minuscules et incrustées dans la peau

## I.3. Ecologie

L'anguille se déplace en nageant et surtout par reptation, dans les milieux humides. Son activité est plutôt nocturne, elle se cache le jour.

Le rôle de l'anguille dans son écosystème est multiple compte tenu de sa fréquentation d'habitats très variés au cours de son cycle biologique. Les stades marins larvaires de l'anguille s'alimentent sans doute de plancton microscopique, mais il est très peu probable que cela ait un effet sur l'écosystème pélagique dans lequel ils vivent pendant environ 3 ans. Son régime alimentaire est composé d'escargots et de larves aquatiques, de têtards, de petits poissons. Ses prédateurs sont le héron, la loutre, les poissons carnassiers et l'homme. Au cours des stades de civelles et d'anguillettes, des proies plus grosses peuvent être capturées car ces stades sont plus mobiles que les stades plus précoces. Enfin, au cours du stade d'anguille jaune, période de croissance, les anguilles deviennent des prédateurs omnivores. Les larves de chironome, les vers, les moules, les gastéropodes, les insectes, les crustacés (écrevisses d'eau douce, en particulier), les poissons et les œufs de poissons sont consommés en fonction de leur disponibilité ; des grenouilles et des petits rongeurs peuvent également être consommés. Le seul cas d'impact notable des anguilles sur leur écosystème a été observé en présence d'écrevisses d'eau douce (*Astacus astacus*) en rivière ou en lac. Après un peuplement d'anguilles, certaines populations d'écrevisses ont fortement diminué en raison de la prédation des anguilles (Mikaelian, 2002). Les anguilles ne semblent donc pas avoir un impact significatif sur le recrutement des autres espèces. La variété de son alimentation devrait rendre l'anguille plutôt sensible aux autres prédateurs ; au contraire, les anguilles jaunes présentent des taux de survie très élevés ; Moriarty (1987) attribue cette caractéristique des anguilles à leur évitement de tous les prédateurs (à tous les stades de développement) ainsi qu'une survie élevée en présence de conditions sous-optimales pour la croissance. Même lorsque des civelles sont stockées dans des lacs où elles n'apparaîtraient jamais naturellement, un pourcentage élevé arrive à survivre jusqu'à leur capture comme anguilles jaunes ou argentées (Tulonen et Pursiainen, 1992).

### I.3.1 Habitat

L'habitat des anguilles peut être très variable en termes de profondeur d'eau, de couvert végétal, de granulométrie, de courant etc... Il existerait des profondeurs en fonction des tailles

des individus. Cependant le paramètre majeur de répartition est la distance de la mer et l'accessibilité de l'habitat par le réseau hydrographique. L'anguille est un bon indicateur du continuum fluvial piscicole.

### **I.3.2 Capacité de nage**

Les civelles nagent en moyenne 29 cm/s avec un courant de 20 cm/s et une température de 11 à 14,3°C. Les anguilles jaunes peuvent nager de 1,94 à 4,8 fois leur longueur par seconde. Les argentées, semblent rejoindre l'aire de ponte avec une vitesse moyenne de 2,7 à 3,9 km/heure.

### **I.3.3 Tolérance de température**

Les anguilles ont une température optimale de croissance estimée à 22°C. La température létale est difficile à estimer car l'anguille devient inactive lorsque la température diminue (à partir de 12°C). La température maximale tolérée dépend de l'acclimatation (température de départ) mais elle serait létale à partir de 39°C.

### **I.3.4 Croissance**

Les anguilles ont une forte croissance dépendant de leur âge, de la température et de la capacité trophique du milieu. D'une manière générale, la croissance varie de 3 à 8 cm par an.

### **I.3.5 Longévité en milieu continental**

De 3 à 14 ans pour les mâles (taille de 50 cm) et de 6 à 18 ans et plus pour les femelles (taille de 50 cm à plus de 1 m).

### I.4. Aire de répartition

L'aire de ponte semble se situer dans la mer des Sargasses (Ginneken et Maes, 2005 ; Maes et al. 2006). En effet, c'est dans cette zone que les plus petites larves (5 mm) ont été trouvées (Schmidt, 1922). L'aire de grossissement correspond aux zones côtières et aux cours d'eau de l'Europe et de l'Afrique du Nord (Tesch, 1977). L'anguille y occupe des habitats très variés (estuaires, rivières, étangs, lacs, etc...). L'anguille est un poisson amphihaline thalassotoque ; largement répandue dans la Zone tempérée de l'hémisphère Nord ; les limites géographiques de son aire de répartition en phase sub-adulte dépendent principalement de la dissémination des larves pré-leptocéphales et leptocéphales (stades océaniques) par les courants océaniques principalement le courant nord équatorial : le *Gulf Stream* et sont définis comme suit : • Au Nord : du Cap Nord à la côte de Mourmansk (72° - 80°N). • Au Sud : Côte atlantique du Maroc et des Iles Canaries (30°N). • A l'Est : Ensemble de la Méditerranée et la Mer Noire (48° - 65°E). • A l'Ouest : Islande, Madère et les Açores (20°W). Dotée d'une grande valence écologique, l'anguille est caractérisée par la grande diversité des sites colonisés ; depuis les eaux froides de l'Islande et de la Scandinavie jusqu'aux eaux tempérées des côtes marocaines, colonisant aussi bien les eaux purement marines et les eaux saumâtres lagunaires et estuariennes que les eaux douces fluviales, et à des altitudes pouvant aller jusqu'à 1000m (Deelder, 1985). Avec les transferts pour l'aquaculture, l'anguille européenne se développe désormais au Japon et dans la mer du Japon, elle peut même dominer sur certaines portions de rivière (Okamura et al. 2001 et 2002).

### I.5. Cycle biologique

L'anguille européenne est une espèce migratrice, amphihaline, thalassotoque, dont la zone de reproduction se situe en mer des Sargasses (48°O < longitude < 74°O, 23°N < latitude < 30°N) (Schmidt, 1922 ; 1923 ; 1925). Cette conclusion est basée uniquement sur l'analyse spatio-temporelle de larves leptocéphales de différentes tailles, prélevées dans l'Atlantique Nord. En effet, aucune anguille adulte n'a jamais été capturée en mer des Sargasses. La période de reproduction s'étendrait de mars à juin, avec un pic en avril (Schmidt, 1925). Les œufs éclosent en larves leptocéphales (Fig. 2) qui migrent pendant 7 à 12 mois vers les côtes européennes. Le transport des larves à travers l'océan est majoritairement orchestré par le *Gulf Stream* et la dérive Nord Atlantique, mais pourrait aussi impliquer une nage plus ou moins active selon le stade de développement des leptocéphales (Lecomte-Finiger, 1994).



**Figure 2** : Larve leptocéphale d'anguille européenne ([www.bateaux.com](http://www.bateaux.com)).

L'arrivée sur le talus continental est marquée par la métamorphose des larves leptocéphales en civelles (Fig. 3) (Schmidt, 1922 ; Lecomte-Finiger, 1994) ; celles-ci envahissent l'ensemble des eaux continentales, incluant les habitats littoraux, estuariens et d'eau douce, d'abord portées par les courants marins (transport tidal sélectif), puis en adoptant un comportement de nage active (Tesch, 2003). Leur répartition dans les différents milieux continentaux est sous l'influence de plusieurs facteurs, à savoir les niveaux circulants des hormones thyroïdiennes (Edeline *et al.*, 2004 ; Edeline *et al.*, 2005a) et la condition corporelle des individus (Edeline *et al.*, 2006), mais aussi la salinité (Tosi *et al.*, 1988 ; Tosi *et al.*, 1990 ; Edeline *et al.*, 2005b), la température (Elie et Rochard, 1994), la lumière (Bardonnet *et al.*, 2005) ou encore l'odeur de l'eau (Sorensen, 1986).



**Figure 3** : Civelle d'anguille européenne *Anguilla anguilla* (ONEMA, 2010).

## I. GENERALITES SUR L'ANGUILLE EUROPEENNE *Anguilla anguilla*

Lors de cette migration anadrome, les civelles se pigmentent progressivement pour atteindre le stade "jaune" (Fig. 4), pour se sédentariser dans les milieux dulçaquicoles et saumâtres. La période de croissance des anguilles jaunes dure de 5 à 15 ans pour les femelles et de 3 à 9 ans pour les mâles (Tesch, 2003).



**Figure 4 :** Photographie d'une anguille jaune *Anguilla anguilla* (ONEMA, 2010).

Au terme de cette période de croissance survient la seconde métamorphose des individus en anguilles argentées (Fig. 5), que l'on appelle argenture. Cette métamorphose correspond à la mise en place de modifications morphologiques et physiologiques qui préparent l'anguille à la migration transocéanique, puis à la reproduction en mer des Sargasses.



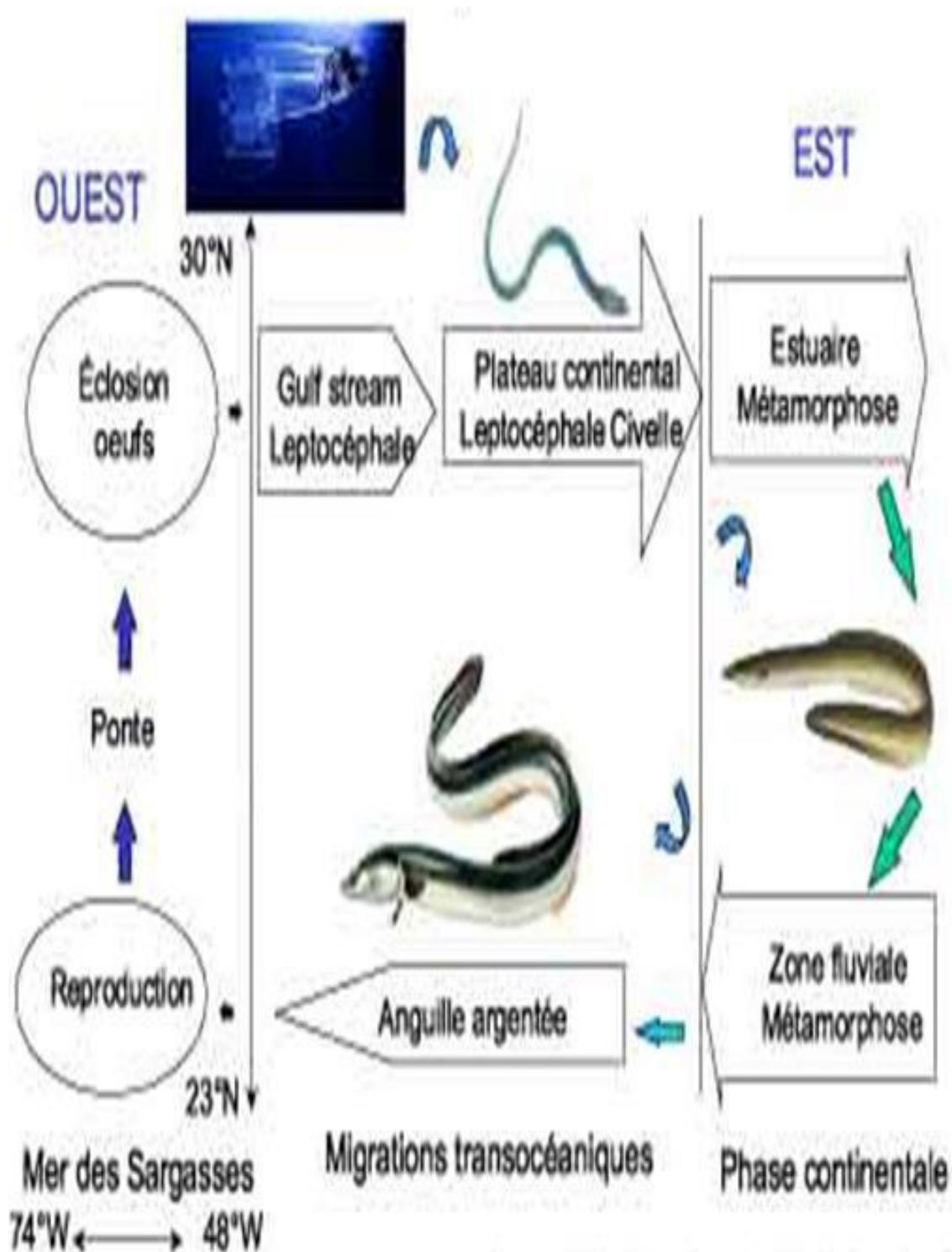
**Figure 5 :** Photographie d'une anguille argentée *Anguilla anguilla* (ONEMA, 2010).

Ces modifications sont liées :

- à l'adaptation à l'environnement marin (principalement adaptation de la livrée, de la vision et de l'osmorégulation) ;

- à l'arrêt de la croissance (dégénérescence du tube digestif) ;
- à la migration de 6000 km, en termes d'activité de nage et de ressources énergétiques augmentation de la taille des nageoires pectorales, du nombre d'érythrocytes circulants, hypertrophie du foie, ...) et au début de la phase de reproduction (maturation des gonades) (Lecomte-Finiger, 1990 ; Fontaine, 1994).

Une fois la métamorphose accomplie, les anguilles entreprennent alors une migration catadrome puis transatlantique de 6 à 9 mois pour boucler leur cycle (Fig. 6). La capacité des anguilles, d'un point de vue énergétique, à nager pendant 6000 km en restant à jeun, a longtemps fait débat. Ainsi, pour Tucker (1959), les réserves énergétiques des anguilles au début de la migration auraient été insuffisantes pour un tel voyage, ce qui l'avait amené à suggérer que les anguilles européennes auraient été issues de la reproduction des anguilles américaines (*A. rostrata*). Si des analyses moléculaires ont par la suite montré qu'il s'agissait bien de deux espèces différentes, ce n'est que récemment que le doute a pu être levé quant à la suffisance des réserves énergétiques pour la migration de reproduction. Des expériences menées en tunnel de nage ont montré, à la fois par l'analyse de la consommation en oxygène et de la composition corporelle, que la quantité d'énergie allouée par des anguilles argentées à la migration transocéanique est de l'ordre de 40% des réserves initiales, et que les 60% restants sont suffisants à la maturation complète des gonades (van Ginneken et van den Thillart, 2000). Par ailleurs, lors d'une autre expérience menée sur des anguilles jaunes, celles-ci ont montré qu'elles pouvaient nager durant 117 jours, jour et nuit, sans manger ni même se reposer, et couvrir ainsi une distance de plus de 5500 km, pour une dépense énergétique 4 à 6 fois moins élevée que chez un salmonidé (van den Thillart *et al.*, 2004 ; van Ginneken *et al.*, 2005a).



d'après Schmidt, 1922 ; Kleckner & McCleave, 1985

Figure 6 : Cycle biologique de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* ([www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)).

## I.7. Identification des menaces

### I.7.1 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 hydro-climatiques. 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 milieux (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 prédatations 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 (Contraecum), 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*).

### I.7.2 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.

- *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 amphihalín 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.

### II.1. Introduction-Historique

La connaissance de l'âge des individus constituant une population animale est nécessaire pour l'analyse des variations temporelles en structure et en abondance. La structure en âge d'une population peut être décrite et les taux des principales variables comme la croissance, le recrutement et la mortalité peuvent être quantifiés. Au fil des ans, l'importance reconnue des études d'estimation d'âge a généré une évolution de plus en plus active de ce domaine de recherche en halieutique. Depuis la première réunion de scientifiques et techniciens étudiant l'âge et la croissance à Smolenice, en Tchécoslovaquie, en 1968, suivie cinq ans plus tard par le 1<sup>er</sup> symposium international sur l'âge et la croissance chez les poissons (First International Symposium on Age and Growth of Fish) à Reading, en Angleterre, les communications et le transfert scientifique ont été une composante importante de ce domaine de recherche (Panfili *et al.*, 2002).

L'otolithométrie est une méthode d'estimation de l'âge très utilisée chez les téléostéens (Stevenson et Campana, 1992). Cette science s'est développée à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle à partir des travaux de Reibish (1899). A l'origine, comme pour les écailles, les otolithes ont été utilisés pour étudier les cycles saisonniers et annuels de croissance ; leur observation, en entier ou après une préparation, permet de donner une estimation de l'âge avec une bonne précision (Vibert et Lagler, 1961). Mais, c'est la découverte de Pannella (1971) d'accroissements journaliers dans les otolithes qui a ouvert de nouveaux champs d'investigation. Les spécialistes ont alors été capables de reconstruire les étapes spécifiques de l'histoire de la vie des individus, du stade larvaire et/ou juvénile au stade adulte. L'otolithe est donc un enregistreur très sensible qui recouvre une large gamme de temps, mais les techniques utilisées pour atteindre cette précision d'échelle peuvent être onéreuses et consommatrices de temps. Plus récemment, au début des années 80, il a été découvert que l'otolithe incorpore des éléments chimiques de leur environnement (d'origine biotique et abiotique) par l'intermédiaire de processus physiologiques complexes. L'analyse chimique des constituants de l'otolithe a offert ainsi de nouveaux moyens de recherche et centre d'intérêt, particulièrement en écologie et notamment pour la reconstruction des traits de vie. Là aussi, les techniques sont coûteuses et toujours en cours de développement. Le nombre de travaux sur l'otolithométrie est déjà très important et des colloques spécialisés dévolus uniquement à la recherche sur les otolithes et ses applications ont déjà eu lieu au cours de la dernière décennie (Secor *et al.*, 1995a ; Fossum *et al.*, 2000). Jusqu'à récemment, les otolithes ont été de plus en plus utilisés pour les études d'estimation de l'âge et de la croissance des poissons, et ils sont également très utiles dans d'autres domaines scientifiques (Fossum *et al.*, 2000).

Plusieurs structures permettent d'estimer l'âge des poissons, soit les écailles, les otolithes, les rayons et épines des nageoires et les vertèbres. Chez les anguillidés les écailles ne se forment que tardivement dans le développement (après quelques années), à partir d'une taille de 16 cm à 20 cm en eau douce, ce qui limite leur utilisation (Frost, 1945a; Smith et Saunders, 1955; Jellyman, 1979b). D'autre part, comme les écailles d'un individu ne se forment pas toutes au même moment, l'âge maximal enregistré varie selon l'endroit de prélèvement et de l'écaille observée. Leur petite taille (2,2 mm à 3,2 mm pour une anguille de 55 cm), leur profonde implantation sous-cutanée et le mode de formation irrégulier des annuli compliquent leur utilisation (Frost, 1945a). Les vertèbres des anguilles n'ont pas fait l'objet d'études approfondies, probablement en raison des mentions de leur structure plus ou moins poreuse (Bertin, 1951). Seuls les otolithes sont employés actuellement pour déterminer l'âge. Ehrenbaum et Marukawa (1913) furent les premiers à les utiliser pour *Anguilla anguilla*.

### II.2. Description-fonction

L'oreille interne, qui existe chez tous les Vertébrés Gnathostomes, fonctionne à la fois comme un système auditif qui détecte les ondes sonores et comme un système vestibulaire qui détecte les accélérations linéaires et angulaires, permettant aux organismes de maintenir leur équilibre. Chez les poissons, l'oreille interne est une structure paire noyée dans le crâne, de chaque côté de la tête, près de l'encéphale moyen. Chaque oreille est un ensemble complexe de canaux et de sacs remplis d'endolymphe, un liquide aux propriétés de viscosité spéciales.

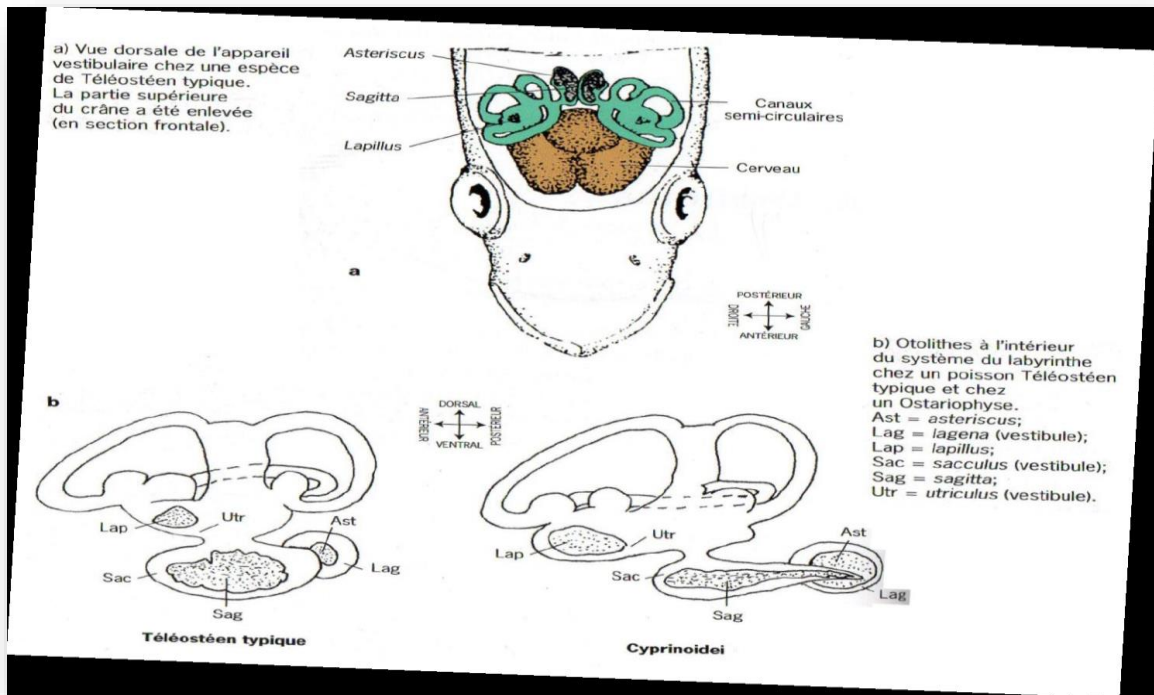
L'anatomie de ces labyrinthes et la structure de ces mécano-récepteurs labyrinthiques sont connues chez de nombreuses espèces de poissons (Lowenstein, 1971). Les Téléostéens ont 3 canaux semi-circulaires en position orthogonale les uns par rapport aux autres, ce qui permet la détection des accélérations angulaires. Les canaux s'ouvrent dans une série de grande chambre d'interconnexion ou sacs otiques qui contiennent un tissu sensoriel : la *macula*, qui détecte les accélérations linéaires et les sons.

Chez les Ostéichthyens, il y a 3 sacs otiques par oreille, chacun contenant une structure calcaire : l'otolithe, qui agit comme un mécanorécepteur stimulant les kinocils de la *macula*.

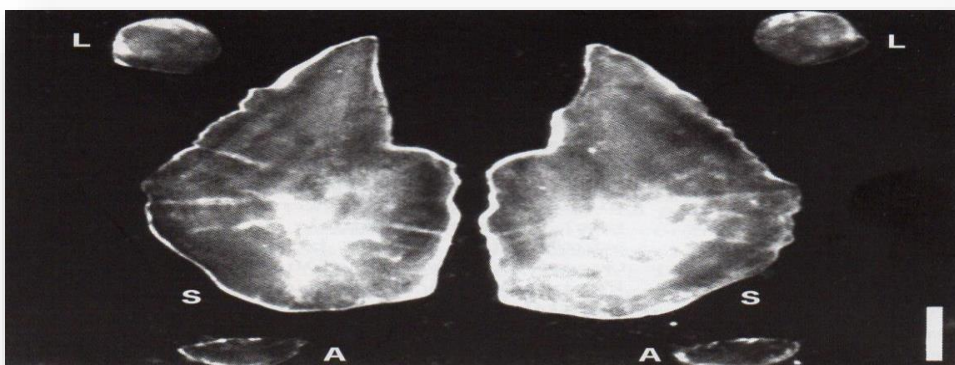
Les 3 sacs otiques sont le *sacculus* (sacculle), l'*utricle* (utricule) et la *lagena*, qui contient respectivement la *sagitta*, le *lapillus* et l'*asteriscus* (Fig. 8). Chaque otolithe est fixé au-dessus de la *macula* par une membrane otolithique, dans laquelle se projettent les cils sensoriels. D'après Dunkelberger *et al.* (1980), la membrane otolithique est divisée en 2 zones : a) zone à structure gélatineuse qui couvre la région sensorielle de la *macula* et qui représente habituellement une architecture réticulée (en nid d'abeille), b) une zone sous capulaire qui est

## II. L'OTOLITHOMETRIE

un réseau très lâche de fibres couvrant des régions sensorielles et non sensorielles de la *macula*. La zone gélatineuse s'étend de la surface de l'otolithe à l'extrémité des cils sensoriels et sa fonction première est probablement la mécano-réception. La lumière du système entier est remplie d'endolymphe. Chez les Ostariophyses, la vessie natatoire intervient dans la stimulation auditive de l'oreille interne (Popper et Fay, 1993). Les otolithes des 3 paires de sacs otiques diffèrent en taille et en forme (Fig. 8).



**Figure 7** : Position des otolithes à l'intérieur de l'oreille interne des poissons Téléostéens (modifié d'après Secor *et al.*, 1992).

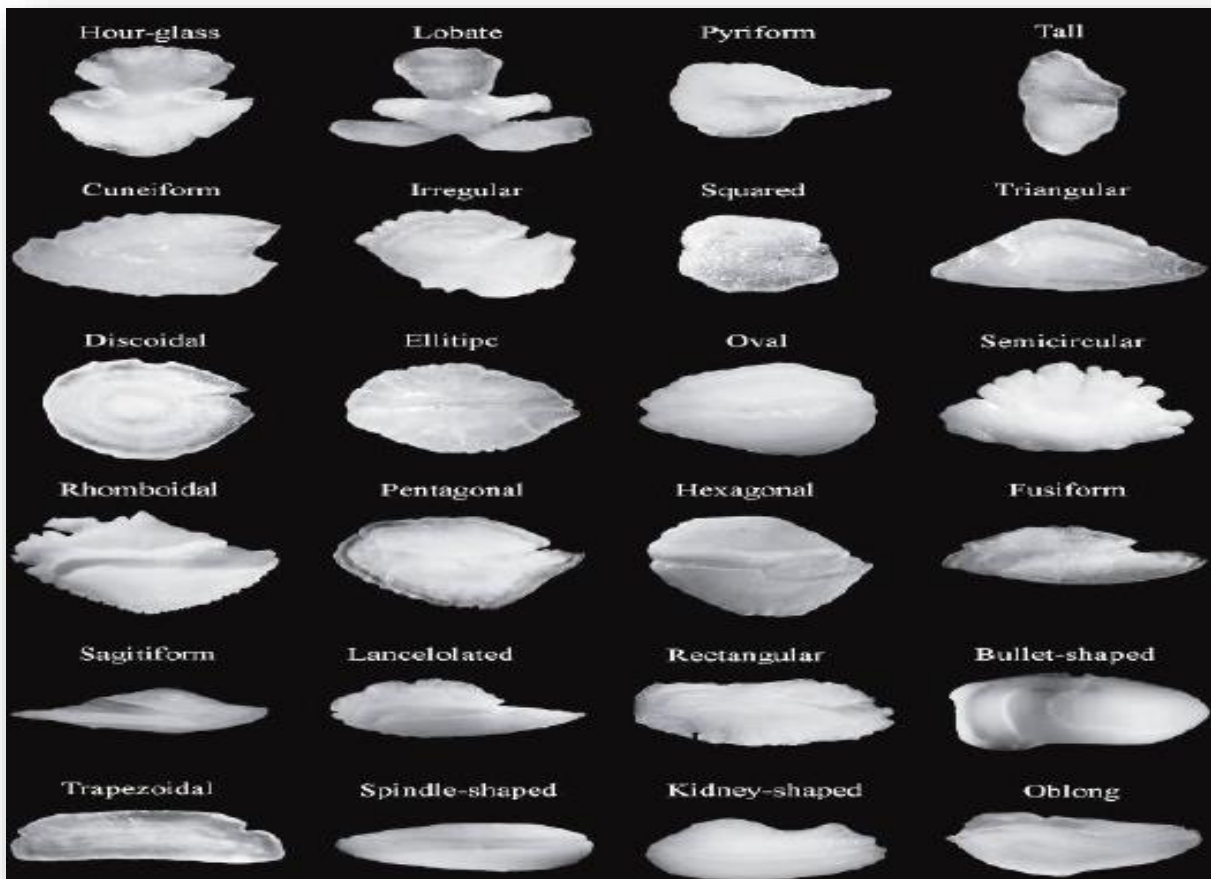


**Figure 8** : Les trois paires d'otolithes d'un poisson Photichtidae (S: *sagitta*, L: *lapillus*, A: *asteriscus* ; échelle=300  $\mu\text{m}$ ) (Thomas et Panfili, 2000).

## II. L'OTOLITHOMETRIE

Les différences morphologiques des otolithes tendent à refléter leur phylogénie et leur développement, bien qu'il y ait une variation considérable inter- et intra-spécifique (Fig. 10). Des différences inter-spécifiques de la forme apparaissent être dues à des influences génétiques et environnementales (Lombarte et Leonart, 1993 ; Nolf, 1995 ; Torres *et al.*, 2000). A cause de leur variation morphologique inter-spécifique, les otolithes se sont avérés utiles en taxonomie (Hecht, 1979), permettant, par exemple, l'étude de la ration alimentaire à partir des contenus stomacaux partiellement digérés (Suter et Morel, 1996 ; Olsson et North, 1997 ; Watanabe et Saito, 1998 ; Alonso *et al.*, 1999).

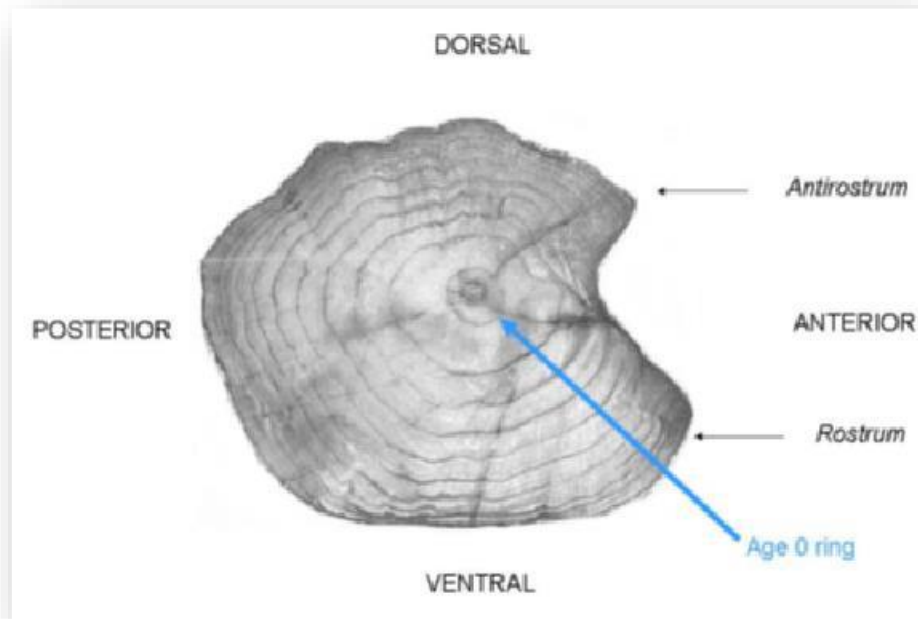
De même, les otolithes issus de sites archéologiques et paléontologiques permettent-ils de Reconstruire les paléo-environnements et les paléofaunes (Nolf, 1995). La morphométrie des otolithes a aussi été utilisée pour l'identification et l'étude des variations géographiques des populations et des stocks de poissons (Messieh *et al.*, 1989 ; Castonguay *et al.*, 1991 ; Campana et Casselman, 1993 ; Friedland et Reddin, 1994).



**Figure 09** : Différentes formes d'otolithes de poissons (Darnaude, 2012).

### II.3. Composition

Les otolithes sont composés de cristaux de carbonate de calcium sous forme d'aragonite ( $\text{CaCO}_3$ ). Ces cristaux s'accumulent de façon cyclique dans les trois dimensions à partir d'un noyau central ou primordium, et ce au travers d'une matrice protéique composée en majorité par une protéine proche de la kératine : l'otoline. L'alternance des couches de carbonate de calcium et de protéines fait apparaître une structure similaire à celle d'un bulbe d'oignon (Fig.10).



**Figure 10** : Otolithe d'une anguille européenne (coupe sagittale) (ICES, 2007).

Plusieurs niveaux de résolution temporelle sont observés dans cette structure :

- Le premier niveau, composé des accroissements primaires, a une résolution journalière (Pannella, 1971) même si chez certaines espèces le dépôt n'est pas journalier ou est difficilement discernable (Wright *et al.*, 2002). Ces accroissements primaires sont observables à fort grossissement. En lumière naturelle transmise, les zones riches en minéral appelées « zones L » apparaissent claires tandis que les couches riches en matière organique appelées « zones D » apparaissent sombres (Kalish *et al.*, 1995).

Leur épaisseur varie de moins de 1  $\mu\text{m}$  à 12  $\mu\text{m}$ . Les zones sombres sont moins épaisses (< 1  $\mu\text{m}$ ) que les zones claires (0,4 à 10  $\mu\text{m}$ ).

- Le deuxième niveau comprend les zones saisonnières. En lumière transmise, les zones opaques sont sombres et les zones translucides lumineuses. Par ailleurs, les deux types de zones

## II. L'OTOLITHOMETRIE

présentent des différences de la largeur d'accroissement primaires qui les constituent, de la fréquence des discontinuités de croissance et des couches organiques, du rapport carbonate de calcium/matrice protéique et les quantités d'éléments traces (Morales-Nin, 1987 ; Mugiya *et al.*, 1985 ; Kalish, 1989). La résolution est de l'ordre de quelques mois voire d'une saison de croissance.

- Le troisième niveau est constitué par les accroissements annuels. Les zones saisonnières sont parfois visibles à l'oeil nu ou à faible grossissement et ont une largeur pouvant faire une centaine de  $\mu\text{m}$ . Enfin, à l'occasion de stress, des discontinuités structurales de l'otolithe plus ou moins régulières peuvent apparaître (Wright *et al.*, 2002).

# *Matériel et méthodes*

---

### II.1. Zone d'étude :

#### 1.1.1. Lac Oubeira

- **Coordonnées géographiques**

Longitude : 36°50' N ; Latitude : 08°23' E

- **Altitude**

Altitude moyenne : 25 mètres

- **Descriptif**

Lac d'eau douce d'origine naturelle occupant une superficie de 2.200 hectares de forme subcirculaire, il est situé au centre d'un bassin versant de 9.900 hectares, à 4 kilomètres à vol d'oiseau de la mer. Très important pour l'hivernage des oiseaux d'eau et, à un degré moindre, pour la nidification de quelques espèces rares. C'est également le lieu d'une pêche artisanale.

- **Justification des Critères Ramsar :**

Le lac Oubeïra est un bon exemple d'une zone humide représentative, rare et unique de type « Zone humide naturelle » de la région méditerranéenne se situant dans un complexe de zones humides qui viendrait en troisième position après ceux du Delta de l'Ebre, en Espagne et la Camargue en France.

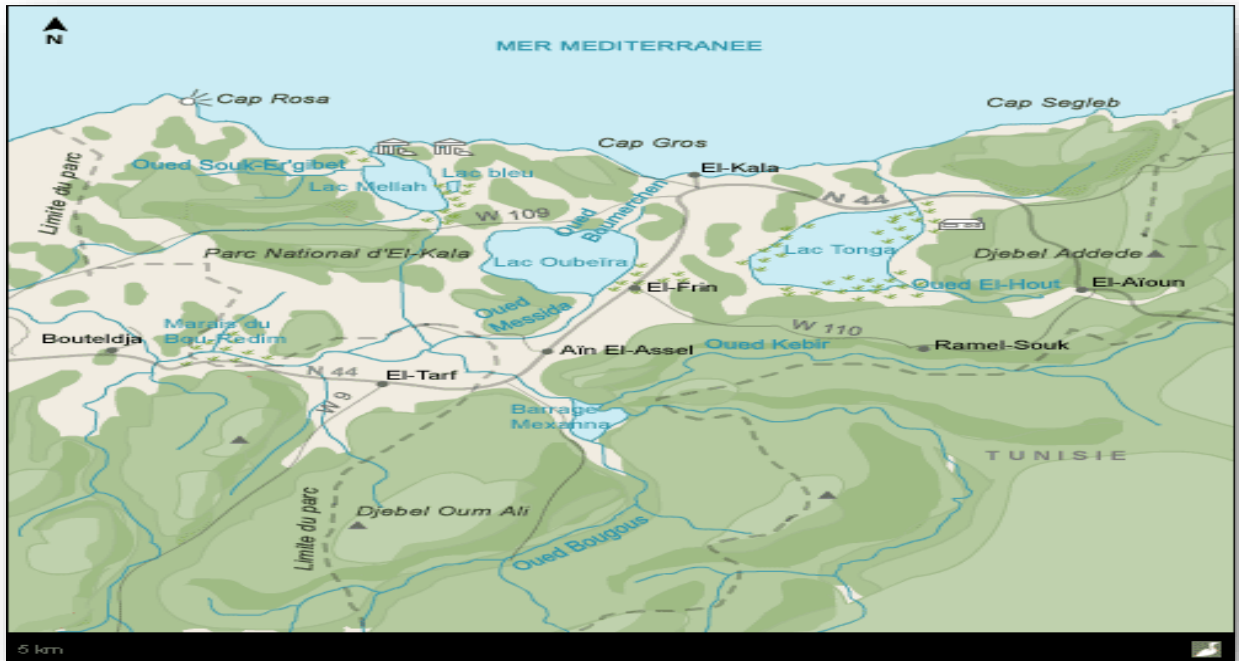
Le lac Oubeïra abrite des populations d'espèces animales et végétales parmi lesquelles plusieurs sont rares. Une ceinture d'Hélophytes indispensable à la nidification des oiseaux d'eau. Parmi les espèces rares et très rares, nous citons : la châtaigne d'eau *Trapanatans* (unique station en Algérie), le Nénuphar blanc *Nymphaea alba*, le Nénuphar jaune *Nupharluteum*, dont le site est désormais la seule station nord-africaine pour cette espèce qui auparavant existait aussi au niveau du Lac Noir, situé au nord-ouest de l'Oubeïra, aujourd'hui sec. Le Polygonome *Polygonum senegalense*, le Scirpe incliné *Scirpus inclinatus*, et l'Utriculaire *Utricularia exoleta*. On note également le *Sparganium erectum* et le Rubanier rameux *Zanicheliapalustris*.

Le lac abrite également plusieurs espèces aviaires, parmi lesquelles nous citons : la Talève sultane *Porphyrioporphyrus*, l'Erismature à tête blanche *Oxyura leucocephala*, le Fuligule nyroca *Aythya nyroca*, l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus*, l'Oie cendrée *Anser anser*, le Flamant rose *Phoenicopterus ruber*, le Grand cormoran *Phalacrocorax carbo*, le Blongiosnain *Ixobrychus minutus* et le Balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus*, etc... Les Mammifères sont notamment représentés par la loutre *Lutra lutra*. Sont présents habituellement 20.000 oiseaux d'eau, les grands effectifs sont dénombrés au début de l'hivernage

## II. MATERIEL ET METHODES

(novembre, décembre), dont 1% espèces aviaires notamment les canards plongeurs : Fuligule morillon *Aythya fuligula* et Fuligule milouin *Aythya ferina*.

Le Lac Oubeïra est situé à 3 Km à l'Ouest de la ville d'El-Kala, dans la Wilaya d'El-Tarf à l'extrême Nord-Est de l'Algérie. La grande ville la plus proche est Annaba située à 70 Km à l'Ouest. L'Oubeïra est situé entre la lagune El Mellah et le lac Tonga (Fig. 11).



**Figure 11** : Localisation du lac Oubeïra ([googleearth.fr](http://googleearth.fr)).

### o Caractéristiques physiques

Géologie, géomorphologie et hydrologie : le lac Oubeïra est en forme de cuvette à fond plus ou moins plat légèrement incliné vers le Nord, d'origine naturelle ayant une profondeur maximale de 4m, la profondeur moyenne étant de 1,24 m. La première profondeur constitue le toit d'une couche de 1,30 m en moyenne avec une valeur maximale de 2,50 m, son fond constitue le substratum réel du lac avec une forme concave inclinée vers le Sud-Ouest. Le lac contient un volume de vase de 30.207.685,30 m<sup>3</sup>, par contre son volume d'eau varie selon les saisons. En période estivale, il est de 22.031.078,80 m<sup>3</sup> avec une profondeur moyenne de 0,96m et en période hivernale un volume d'eau de 32.535.096,80 m<sup>3</sup> avec une profondeur moyenne de 1,24 m. Le substrat est entièrement composé d'argile de Numidie datant du Tertiaire, avec la présence tout autour du lac de dépôts récents du Quaternaire. Les alluvions limoneuses du fond de vallée, datant du Quaternaire, sont localisées au Sud-Est du

lac. Le lac est alimenté par quatre oueds dont le plus important : l'oued Messida au Sud-Est qui recueille les eaux de crues de l'oued El Kebir au Nord d'El Tarf. En été le système hydrologique fonctionne dans le sens inverse donnant à cet oued la particularité de couler dans les deux sens (affluent et émissaire). Les autres affluents du lac sont oued DemmetErrihana au Nord, oued Boumerchène au Nord-est, oued DeyGraa à l'Est et de petits affluents des collines avoisinantes, qui forment des ripisylves.

Climat : le lac Oubeïra, avec la région d'El Kala, se place dans l'étage sub-humide à hiver chaud, avec des vents permanents à dominance Nord-Ouest. La pluviométrie annuelle moyenne est située entre 700 et 800 mm et s'étale essentiellement du début du mois d'octobre jusqu'à la fin mars. La région est caractérisée par deux saisons, l'une sèche de mai jusqu'à septembre et l'autre humide de septembre à avril. La température de l'eau varie de 8,8 à 15,2°C au mois de janvier. La température moyenne de l'air, calculée sur une période de 28 ans allant de 1968/69 à 1995/96 est de 17,50°C avec 11,65°C pour janvier (le mois le plus froid) et une moyenne de 25°C en août (le mois le plus chaud). L'évaporation moyenne est de 4,15 mm, avec un maximum de 152,08 mm et un minimum de 22,47 mm. Les eaux du lac sont très turbides surtout en hiver (10 à 15 m au disque de Secchi en 1976) avec un pH variant entre 8 et 10,65.

### ○ Valeurs hydrologiques

Le lac Oubeïra joue un rôle de réservoir permettant la maîtrise des crues parfois spectaculaires, de l'oued El-Kebir. Le lac constitue un réservoir de dépôt des sédiments provenant du bassin versant et charriés par les eaux de crues.

### ○ Flore remarquable

Une ceinture d'Hélophytes indispensable à la nidification des oiseaux d'eau. Parmi les espèces rares et très rares, nous citons : la châtaigne d'eau *Trapanatanset* le Nénuphar jaune *Nupharluteum* (seule station en Algérie), le Nénuphar blanc *Nymphaea alba*, le Polygonum *Polygonum senegalense*, le Scirpe incliné *Scirpus inclinatus* et l'Utriculaire *Utricularia exoleta* (Fig. 12).



**Figure 12** : Châtaigne d'eau (à gauche) et Nénuphar jaune (à droite).

### ○ Faune remarquable

Oiseaux d'eau : les sédentaires sont représentés par le Blongios nain *Ixobrychus minutus*, la Talève sultane *Porphyrioporphyrus*, la Rousserolle turdoïde *Acropcephalus arundinaceus*, le Butor étoilé *Botaurus stellaris*, le Busard des roseaux *Circus aeruginosus* et le balbuzard pêcheur *Pandion halieetus*.

Les hivernants sont représentés par l'Erismature à tête blanche *Oxyura leucocephala*, la Grande aigrette *Egretta alba*, la Spatule blanche *Platalea leucorodia*, l'Oie cendrée *Anser anser*, le Grand cormoran *Phalacrocorax carbo*, la Grue cendrée *Grus grus* et plusieurs espèces de limicoles, telles que l'Avocette *Recurvirostra avosetta*, les chevaliers, les bécasseaux, la bécassine des marais *Gallinago gallinago* etc... Les oiseaux d'eau observés tout au long de l'année mais de façon irrégulière sont l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus* et le Flamant rose *Phoenicopterus ruber*.

### 1.1.2. Le lac Tonga :



**Figure 13** : Photographie du lac Tonga (PNEK 2009).

### ○ Position et dimensions :

Le lac Tonga est situé dans le parc nationale d'El Kala (latitude 36° 53' N, longitude 08° 31' E), classé réserve intégrale et site Ramsar d'importance internationale depuis 1983. Il est alimenté par le ruissellement sur un bassin versant de 75 km<sup>2</sup>. Le niveau est régulé au moyen de vannes. L'exutoire en direction de la mer est constitué par le canal de Messida. La surface du lac est de 2600Ha, recouverte en mosaïque à plus de 80%. Caractérisé par une végétation émergente avec de grandes plages d'eau libre occupées partiellement par le nénuphar blanc et abritant une diversité biologique très importante du fait de la qualité et la diversité de ce plan d'eau.

### ○ Bathymétrie :

## II. MATERIEL ET METHODES

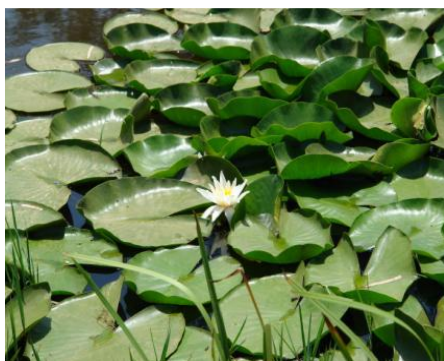
Les mesures bathymétriques font ressortir que le lac Tonga est un plan d'eau peu profond. La profondeur maximale mesurée en période estivale est de 1,80 m et la profondeur moyenne est de 1,20 m. (source M.P.R.H. 2004).

### ○ **Caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac Tonga :**

De par sa faible profondeur, le fonctionnement du lac Tonga, se trouve sous une forte influence de facteurs majeurs tels que la température, les vents, les précipitations et l'ensoleillement ; de ce fait, les variations de ces paramètres ont des effets immédiats sur l'écosystème et sont par ailleurs liés au rythme des saisons (source M.P.R.H. 2004). Dans le lac Tonga la température de l'eau est comprise entre 18,7 et 22,5°C ; Les températures les plus basses sont relevées en mai et les plus élevées en juillet. Le pH de l'eau du lac Tonga est compris entre 6,65 et 9,81 (source M.P.R.H. 2004). ;

### ○ **Flore remarquable :**

Le lac Tonga compte 82 espèces végétales qui appartiennent à 31 familles, parmi elles 32 espèces, soit 39% sont rares à rarissimes, comme *Marsilea diffusa*, *Nymphaea alba* et *Utricularia exoleta* (PNEK2009).



**Figure 14** : Photographie de flore présente dans le lac Tonga (PNEK 2009).

### ○ **Faune remarquable :**

Le lac abrite la loutre *Lutra lutra* et il est le site de nidification d'un nombre important d'espèces aviaires : le Râle d'eau *Rallusaquaticus*, l'Erismature à tête blanche, le Fuligule nyroca, la Talève sultane, le Blongios nain *Ixobrychus minutus*, la Guifette moustac *Chlidonias hybrida*, l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus*. On y rencontre également la Sarcelle marbrée *Marmaronetta angustirostris* occasionnelle et le Flamant rose. Sa richesse avifaunistique s'élèverait à 23 espèces d'oiseaux d'eau nicheurs, qui dépasserait les 45 si l'on retient l'ensemble des espèces nicheuses, notamment Passereaux, Marouettes et Rapaces (PNEK 2009).



**Figure 15** : Photographie de la faune présente dans le lac Tonga (PNEK 2009).

Le lac Tonga abrite des poissons essentiellement l'Anguille, Mulet, Carpe et Gambusie, des mollusques (Unios, Sangsue), des vertébrés (Grenouille, Tortue d'eau) (PNEK2009).

Une filière est prévue portant sur l'exploitation d'anguille. La pêche est théoriquement autorisée de septembre à février pour ne pas déranger la nidification des oiseaux d'eau pour lesquels le lac Tonga constitue la zone privilégiée de nidification à l'échelle du Maghreb. Seule l'anguille fait l'objet d'une exploitation par des concessionnaires privés. Les seules statistiques dont nous disposons concernent les quantités pêchées pour la période de 1990 à 2003 (tab.1). **Tableau 3** : Production (en tonnes) d'anguilles dans le lac Tonga de 1999 à 2003 (source M.P.R.H. 2004).

Année	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03
Prod.	22	9	12	-	18	17	26	19	28	12	13	36	22	17

Les anguilles sont capturées par un système de nasse et stockées vivantes dans des viviers jusqu'à la vente.

### 1.3. L'estuaire du Mafrag

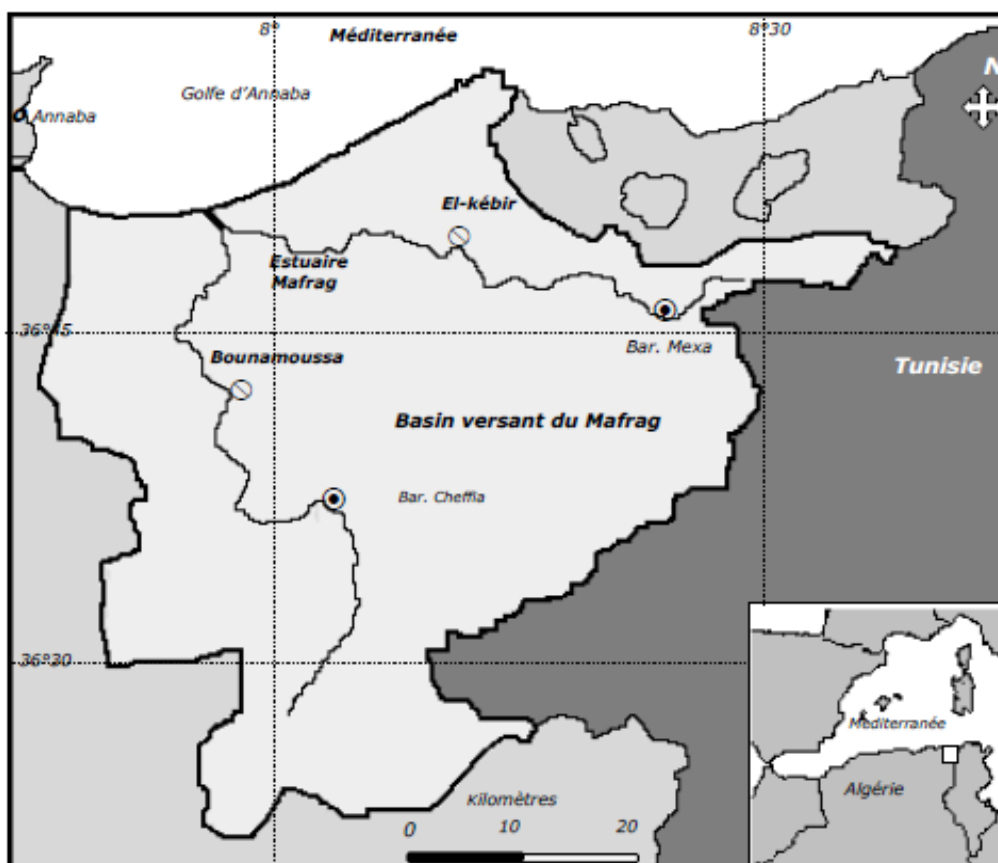
L'Estuaire de la « Mafrag » se forme à 1800 mètres de la Méditerranée ; s'étend sur une longueur de 2 km avec des largeurs de 50 m en amont à 100 m en aval (à l'approche de l'embouchure avec la mer). Cette partie de la Mafrag fait suite à la rencontre de l'oued Bounamoussa et de l'oued El Kébir.

L'oued « Bounamoussa » draine une vaste dépression de marécages et de terres basses située du côté Ouest de l'estuaire. L'oued El Kébir et son confluent l'oued Chourka drainent la partie Est constituée d'une vaste étendue marécageuse de plusieurs milliers d'hectares ; L'ensemble des zones marécageuses de part et d'autre du cours du « Mafrag » et de « Bounamoussa » couvre une surface d'environ 15 000ha

## II. MATERIEL ET METHODES

Cet oued a une profondeur de 2 à 3 m selon les endroits. L'eau y est saumâtre durant une bonne partie de l'année ; des baisses de la salinité sont, cependant, notées en période hivernale (au moment des pluies)

Le long des rives de l'oued et au point de convergence des trois Oueds : « El Kébir », « Chorka » et « Bounamoussa », se développe une végétation riche en phragmite et par endroits en tamaris. Sur les terrains inondables se développent des salicornes



**Figure 16.** Contexte géographique de l'estuaire du Mafrag et de son bassin versant. \_ : Barrages ; Limite de coin salé([www.google.fr](http://www.google.fr)).

### II.2. Méthodologie de travail

Un total de **60** anguilles a été échantillonné sur une période de 2 mois de prélèvement (entre Novembre 2019 et Décembre 2019) (tableau .3). Les anguilles ont été transportées vivantes au laboratoire, où leurs longueur totale (Lt) ainsi que leurs poids total (Pt) ont été mesurés (au cm près et au gramme près respectivement).

#### Structure de la sous population étudiée

- *Mesure des caractères morphologiques externes*

La longueur totale (Lt) ainsi que le poids total (Pt) des individus ont été mesurés (au mm près et au gramme près respectivement) (Fig. 17).



**Figure 17** : Mesures biométriques des anguilles capturées (à gauche : mesure de la taille ; à Droite : prise de poids) (Tahri, 2011).

- *Calcul de l'indice de la nageoire pectorale (ILp%)*

La longueur de la nageoire pectorale (Lp) a été mesurée au mm près (Figure : 18), elle est pondérée par la longueur totale de l'individu, ce qui permet de calculer l'indice de la nageoire pectorale (ILP, exprimé en %) selon la formule :

$$IL_p = (L_p/L_t) \times 100$$



**Figure 18** : Mesure de la longueur de la nageoire pectorale (Tahri, 2011).

### o Calcul de l'Indice Oculaire (IO)

Les diamètres oculaires horizontaux et verticaux des yeux droit et gauche (DhG, DhD, DvG, DvD) ont été mesurés au dixième de millimètre près (Fig. 19).

Défini par Pankhurst (1982) comme la relation entre la longueur totale de l'anguille et la taille moyenne de ses deux yeux, il a été calculé de la manière suivante :

$$IO = \{((DvG + DhG)/4 \times ((DvD + DhD)/4) \times \pi/L_t\} \times 100$$



**Figure 19** : Mesure des diamètres oculaires horizontale (à gauche) et verticale (à droite) (Tahri, 2011).

### *o Distribution des classes de taille selon la grille GRISAM (Briand et al., 2006b)*

Des classes de taille (Tab. 3) ont été établies par le Groupe « Anguille » du GIS Poissons Amphihalins : GRISAM (Briand et al., 2006b) pour la mise en place du plan de gestion de l'anguille dans les bassins versants français.

**Tableau 3**: Classes de taille et les stades correspondants établis pour l'anguille européenne par GRISAM (Briand et al., 2006b)

### **Croissance corporelle de la sous population étudiée**

#### *o Relation taille/poids*

La relation entre la longueur totale (Lt) et le poids total (Pt) s'exprime par l'équation suivante (Ricker, 1973) :

$$Pt = a \cdot Lt^b$$

Pt : poids frais du poisson

Lt : longueur totale

a : constante

b : coefficient d'allométrie

## II. MATERIEL ET METHODES

Le coefficient d'allométrie (b) exprime la forme du corps du poisson. Il peut varier entre 2 et 4. Si  $b=3$ , la croissance est dite isométrique (Ricker, 1973), ce qui implique d'après Folkvordet Mosegaard (2002) que le taux de croissance est identique entre les différentes parties du corps. Par contre, si b est différent de 3, la croissance est alors allométrique (minorante si  $b < 3$  et majorante si  $b > 3$ ), ce qui indique qu'il existe des différences entre la croissance en poids et en longueur.

### o coefficient de condition (K)

Le coefficient de condition constitue une évaluation rapide de l'état physiologique des individus et permet d'appréhender de manière relative le potentiel énergétique des anguilles considérées.

$$K = 10^6 \times [Pt/(Lt)^3]$$

### o Dissection des anguilles

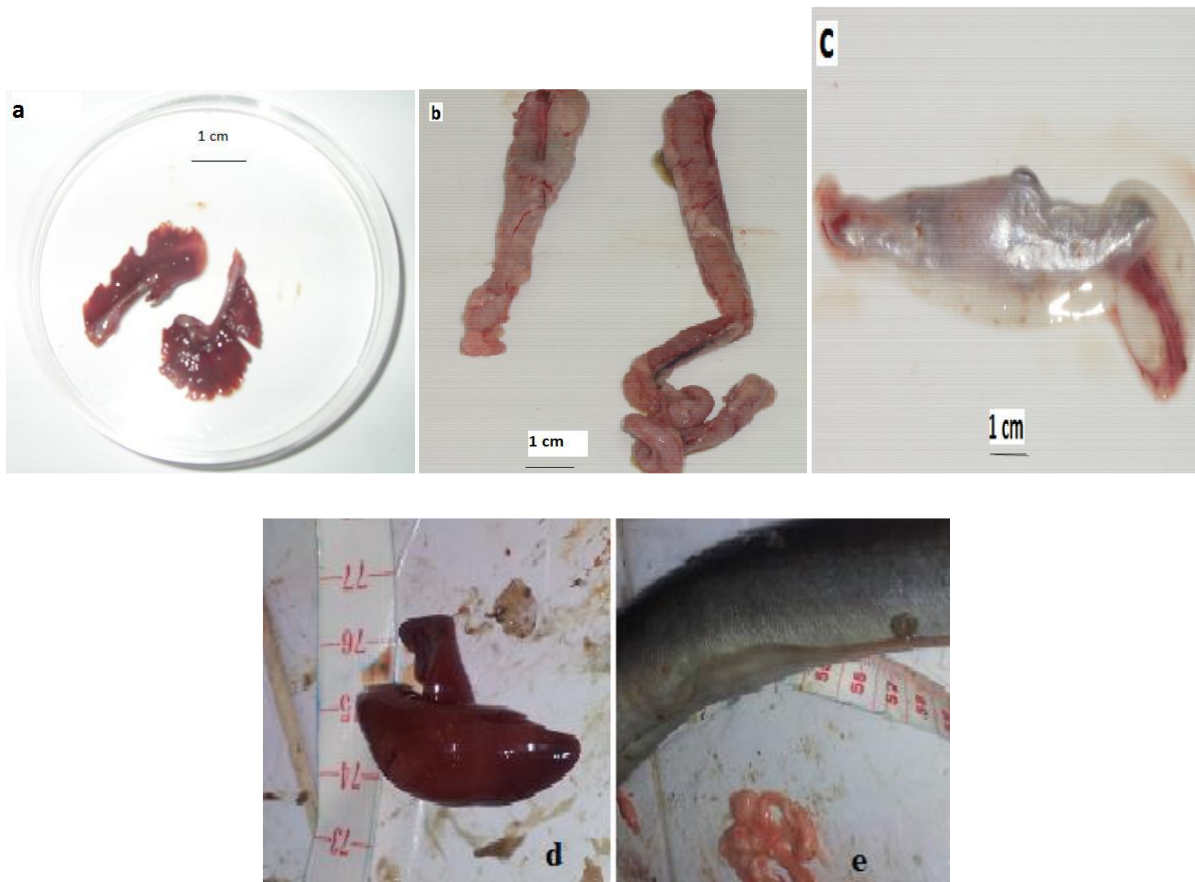
La dissection se fait par l'ouverture d'une « fenêtre » au niveau de l'abdomen en commençant par introduire les ciseaux dans l'anus : faire une coupe le long de l'abdomen horizontalement jusqu'à la base des pelviennes ; ensuite à partir de l'anus remonter verticalement jusqu'au muscle du dos avant de continuer l'incision horizontalement le long de la base du muscle du dos. Une dernière incision pour rejoindre la base des pelviennes permet de décoller la dite fenêtre et exposer les organes internes (Fig. 20).



**Figure 20** : Photographie d'une anguille disséquée (Tahri, 2011).

## II. MATERIEL ET METHODES

Les anguilles sont ensuite éviscérées (Fig. 21)



**Figures 21** : Organes prélevés après dissection (a : branchies ; b : tube digestif ; c : vessie gazeuse ; d : foie et e : gonades) (Tahri, 2011).

o *Le rapport gonado-somatique (RGS%)*

Le poids des gonades ( $P_g$ ) a été mesuré au gramme près (Fig. 21) pour calculer le rapport gonado-somatique (RGS) de la manière suivante :

$$\text{RGS (en \%)} = (P_g/P_t) \times 100$$



**Figure 22** : Pesée des gonades (Tahri, 2011).

o *Le rapport hépato-somatique (RHS)*

Le poids du foie (Pf) a été mesuré au gramme près (Fig. 22) pour calculer le rapport hépato somatique (RHS) selon la formule :

$$\text{RHS (en \%)} = (\text{Pf/Pt}) \times 100$$



**Figure 23** : Pesée du foie (Tahri, 2011).

o *Le Rapport Tube Digestif Vide Somatique (RTDVS %) :*

Le poids du tube digestif vide (Ptdv) a été mesuré au gramme près (Fig. 23) pour calculer le rapport tube digestif vide-somatique (RTDVS) selon la formule :

$$\text{RTDVS (en \%)} = (\text{Ptdv/Pt}) \times 100$$



**Figure 24** : Pesée du tube digestif vide (Tahri, 2011).

Lorsque le RTDVS  $\leq 1,5\%$ , l'anguille est considérée comme « argentée » ; au-dessus de cette valeur, elle est considérée comme « jaune ».

### II.3. Analyse statistique

Nous avons appliqué le test t de Student entre 2 échantillons indépendants pour détecter une éventuelle différence entre les 2 méthodes appliquées pour la détermination de l'âge des anguilles. Le test statistique a été réalisé grâce au logiciel GraphPadPrism 7.

En ce qui concerne la modélisation de la croissance, les paramètres de croissance ( $K$ ,  $L_\infty$  et  $t_0$ ) ont été déduits avec le logiciel VONBIT\_ALXL Software, à partir des clés longueur-âge de chaque méthode.

# Résultats

---

Structure de la sous-population

1. Caractérisation de la sous-population d'anguilles capturées

- *Classes de taille des anguilles capturées*

On remarque immédiatement l'absence totale d'anguilles en dessous de 35cm au cours de la période d'échantillonnage. La taille des anguilles échantillonnées durant cette étude, varie entre 35cm 67.5 cm ; nous notons, par ailleurs, que la classe dominante est [47,5-50[cm dans le lac Tonga ainsi que l'estuaire du Mafragh; et 45-47.5[cm dans le lac Oubeira (Fig.25).

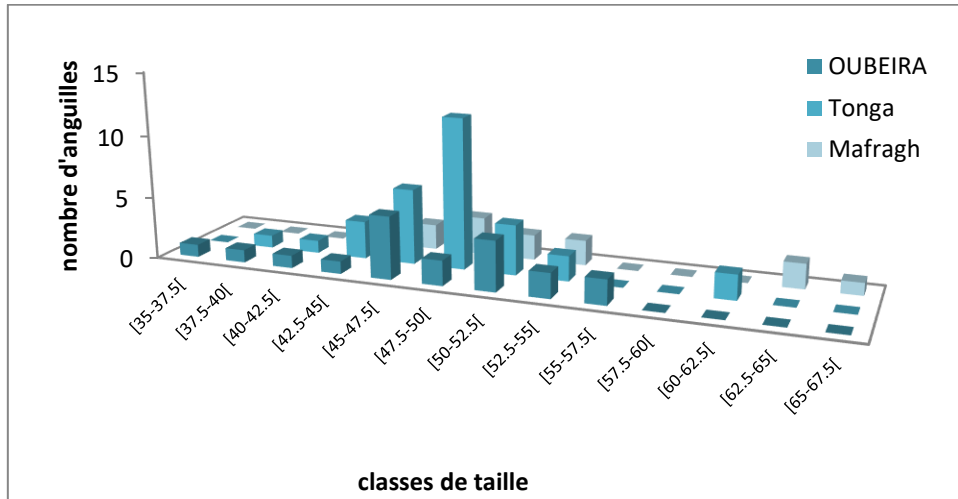


Figure 25 : Distribution des classes de taille des anguilles capturées au niveau des 3 sites.

- *Classes de poids des anguilles capturées*

Le poids varie entre 100 et 300 g chez 57 anguilles capturées dans les 3 sites de prélèvement ; nous avons par ailleurs, échantillonné 2 individus pesants moins de 100 g dans les lacs Tonga et Oubeira, 3 anguilles dont la taille est comprise entre 300 et 400 g dans les mêmes sites et 2 spécimens dont la taille est comprise entre 400 et 500 g dans le lac Tonga et l'estuaire du Mafragh (Fig.26).

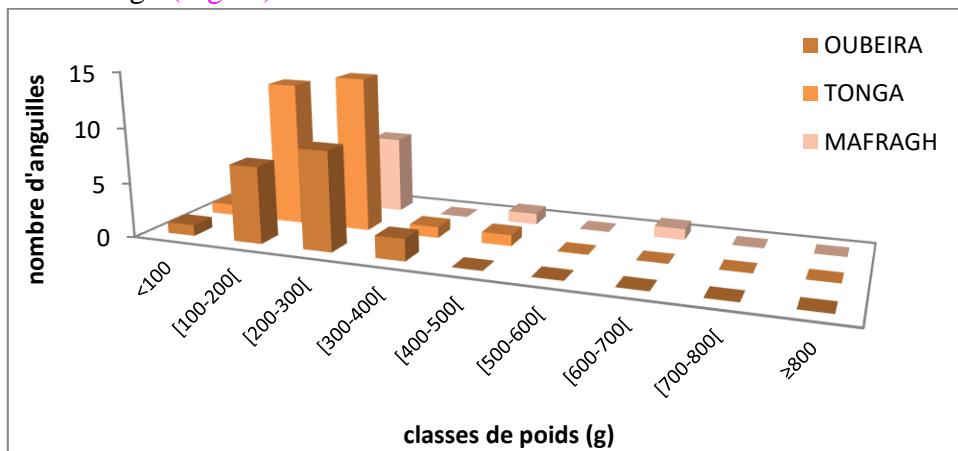
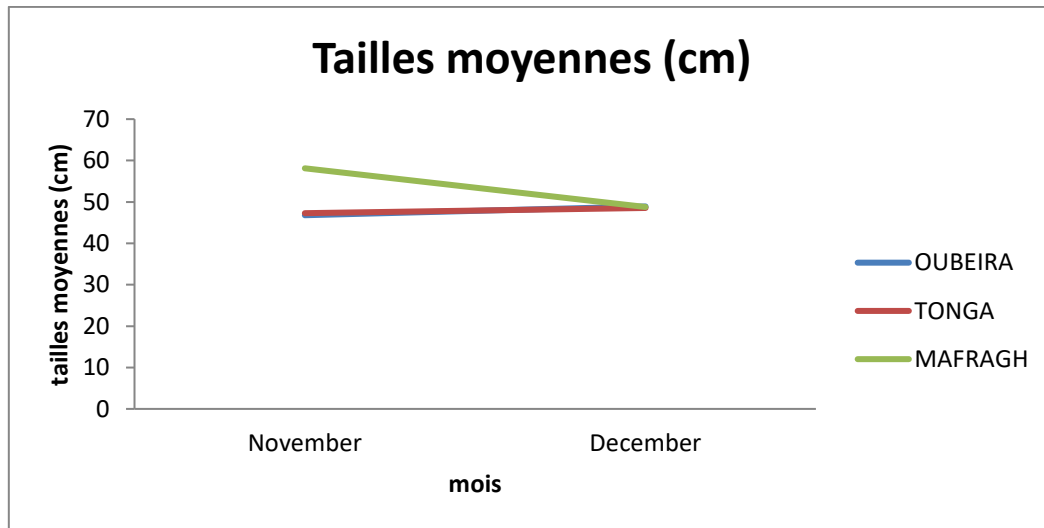


Figure 26 : Distribution des classes de poids des anguilles capturées au niveau des 3 sites.

### III.RESULTAS

#### ○ *Variation mensuelle des tailles moyennes des anguilles capturées*

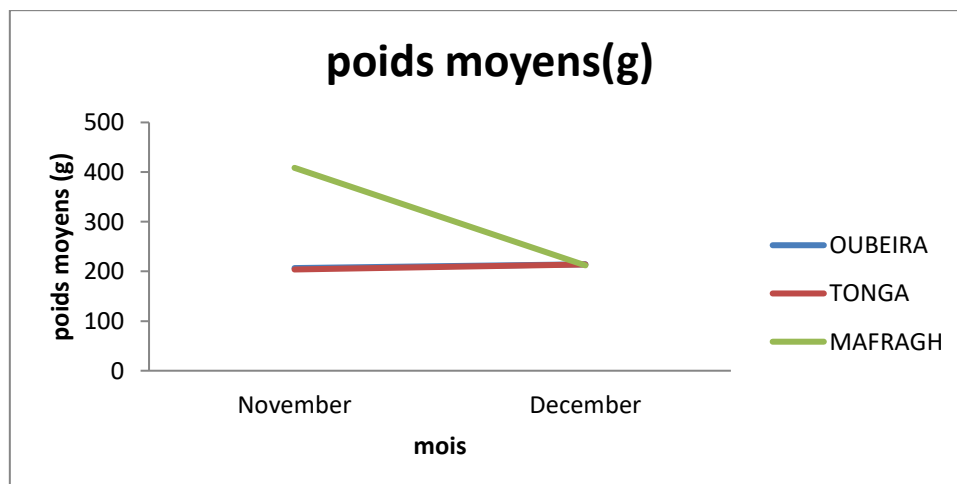
La taille moyenne, durant les 2 mois de prélèvement, varie entre 35.5 et 67 cm ; nous notons une fluctuation similaire des tailles moyennes dans les 3 sites d'étude sauf en novembre où nous nous enregistrons des tailles moyennes assez importantes (fig. 27).



**Figure 27 :** Variation mensuelle des tailles moyennes des anguilles capturées dans les 3 sites.

#### ○ *Variation mensuelle des poids moyens des anguilles capturées*

Nous constatons que les valeurs des poids moyens varient entre 99.3 g et 640.3g durant la période de prélèvement, les mêmes fluctuations que celles enregistrés pour les tailles moyennes (fig.28).



**Figure 28 :** Variation mensuelle des poids moyens des anguilles capturées dans les 3 sites.

## 2. Application des indicateurs de qualité d'anguilles argentées :

- *Proportion des anguilles selon l'Indice Oculaire*

- ♣ *Oubeira*

La totalité des anguilles capturées dans le lac Oubeira sont considérées comme « jaunes », selon l'IO (Fig.29).

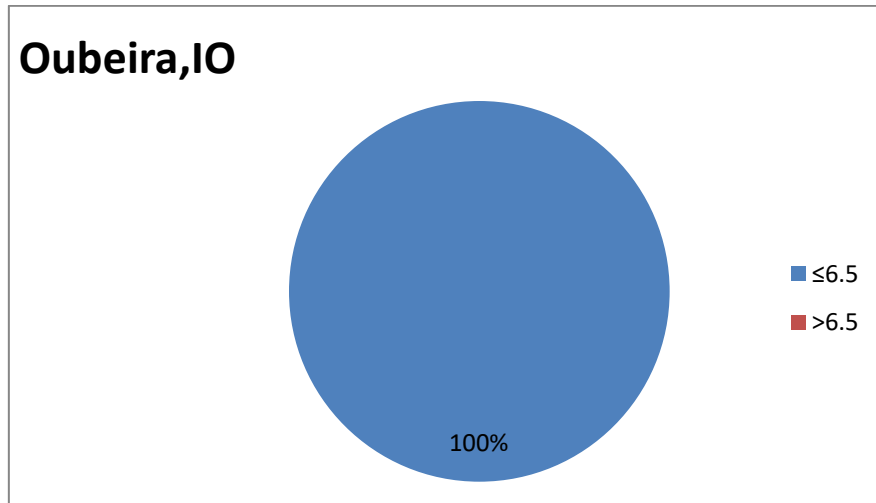


Figure 29 : Proportion des anguilles capturées dans le lac Oubeira, selon l'IO.

- ♣ *Mafragh*

La même constatation pour les poissons de l'estuaire Mafragh, elles sont toutes des anguilles jaunes selon l'IO (Fig.30).

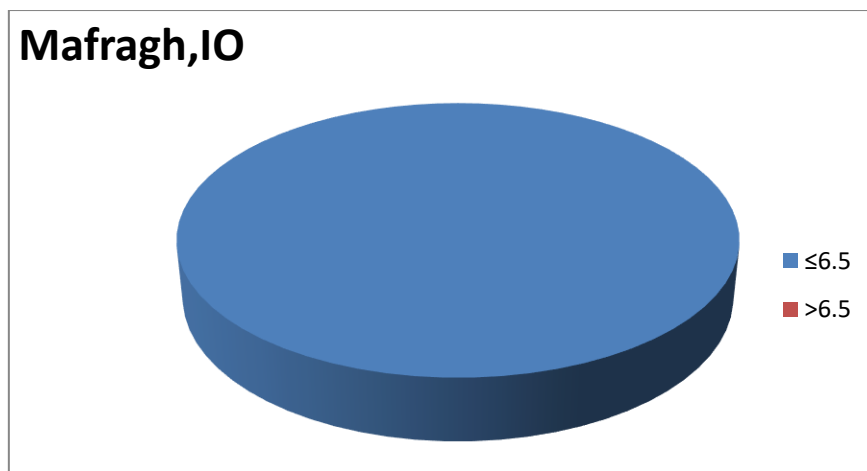


Figure30 : Proportion des anguilles capturées dans l'estuaire du Mafragh, selon l'IO.

#### ♣ Tonga

La quasi-totalité des anguilles capturées dans le lac Tonga sont considérées comme « jaunes », selon l'IO (Fig.31).

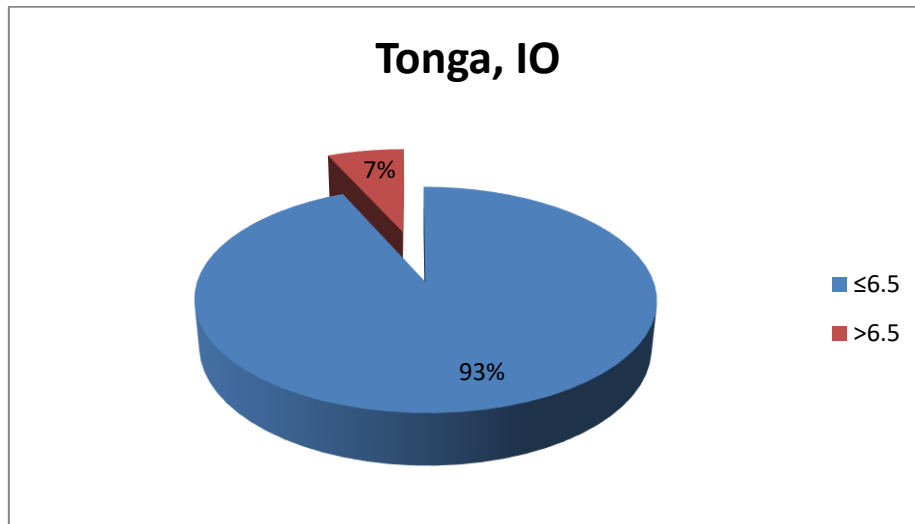


Figure 31 : Proportion des anguilles capturées dans le lac Tonga, selon l'IO.

#### ○ Variation saisonnière de l'indice de l'Indice Oculaire (IO)

Selon l'Indice Oculaire de Pankhurst, c'est le stade « anguille jaune » qui prédomine durant toute la période d'étude avec une légère hausse en novembre pour les anguilles capturées dans le lac Tonga (Fig.32).

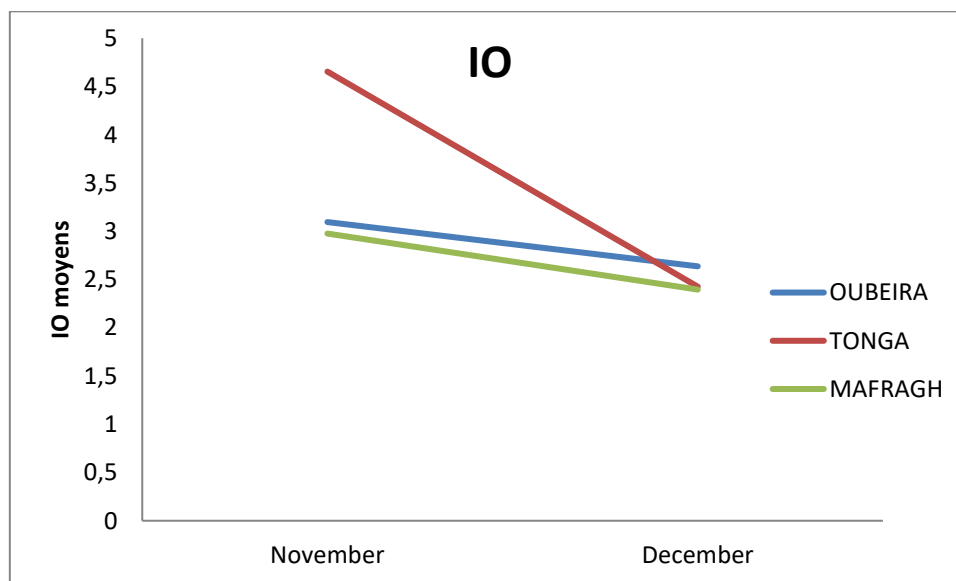


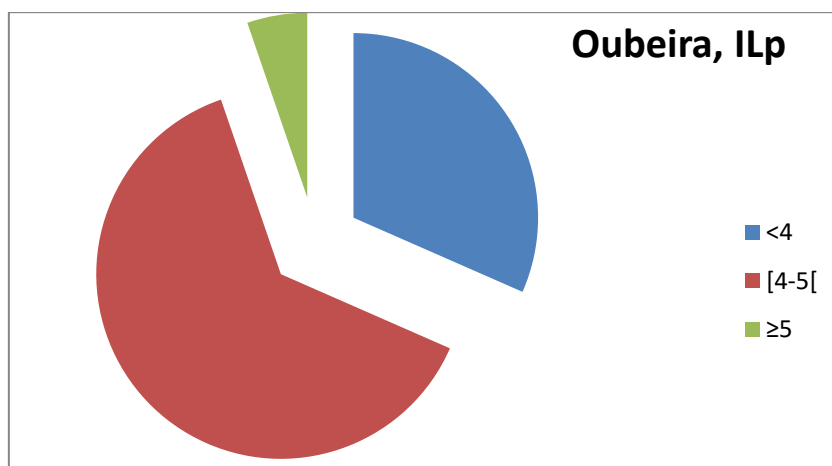
Figure32 : variation saisonnière de l'IO des anguilles capturées dans les 3 sites.

### III.RESULTAS

- *Proportion des anguilles selon l'indice de la nageoire pectorale (ILp)*

- ♣ *Oubeira*

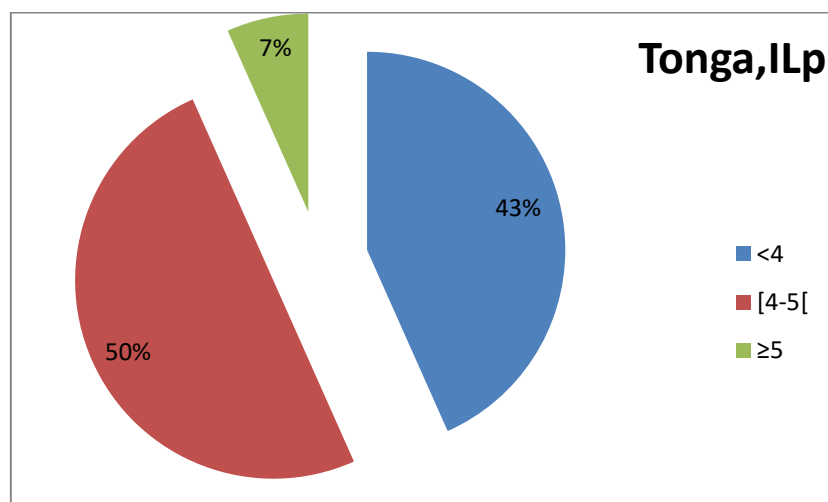
Le tiers des anguilles capturées dans le lac Oubeira sont considérées, selon l'ILp, comme jaunes ; alors que seulement 5% sont argentées (Fig.33).



**Figure33** : Proportion des anguilles capturées dans le lac Oubeira, selon l'ILp.

- ♣ *Tonga*

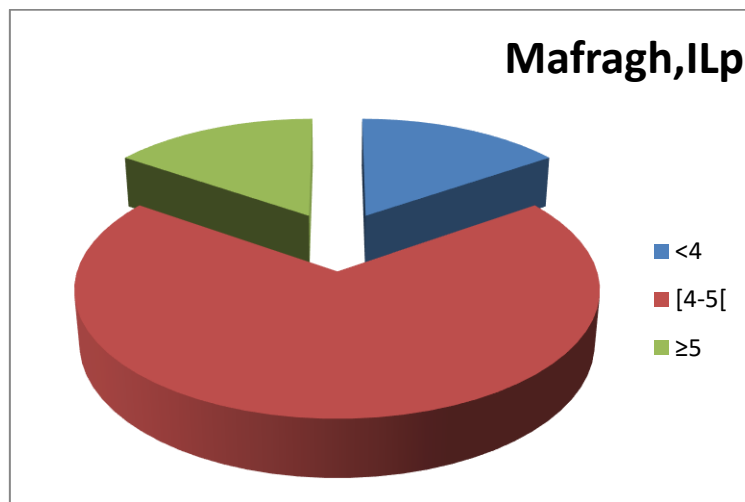
Dans le lac Tonga, pratiquement la moitié des anguilles (43%) sont considérées comme « jaunes », selon l'ILp(Fig.34).



**Figure34** : Proportion des anguilles capturées dans le lac Tonga, selon l'ILp.

#### ♣ Mafragh

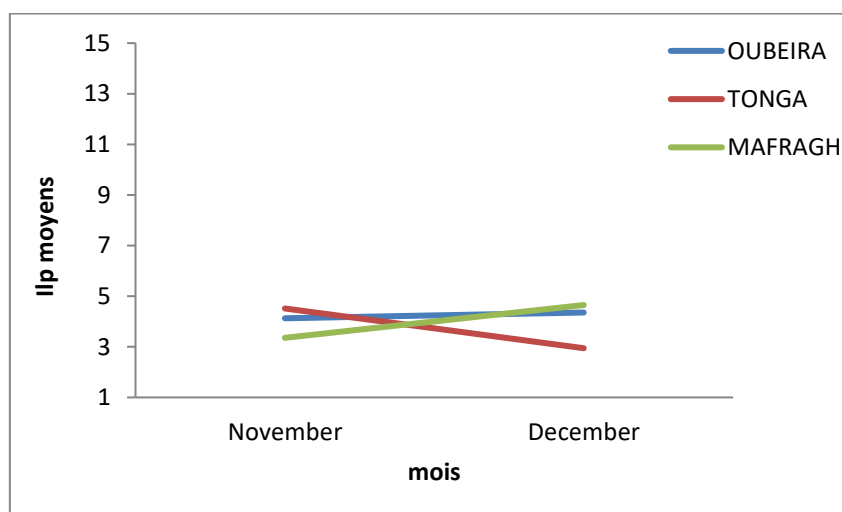
Le tiers des anguilles échantillonnées dans l'estuaire du Mafragh, est partagé entre jaunes et argentées ; selon l'ILp (Fig.35).



**Figure35** : Proportion des anguilles capturées dans l'estuaire du Mafragh, selon l'ILp.

#### ♣ Variation saisonnière de l'indice de la nageoire pectorale (ILp)

Dans les 3 sites de prélèvement, les valeurs moyennes de l'ILp, des anguilles capturées, sont strictement inférieures à 4% ; sauf chez celles capturées dans le lac Tonga où nous avons enregistré une valeur de 4.6 % en novembre (Fig.36).



**Figure36** : Variation saisonnière de l'ILp moyen des anguilles capturées dans les 3 sites.

### III.RESULTAS

#### ○ Distribution des classes de taille selon GRISAM

La totalité des anguilles capturées dans les 3 sites, se trouve dans une classe de taille comprise entre 45 et 60 mm (Fig.37). Selon la classification de GRISAM, on constate que :

#### **\*Dans la classe de taille [300-450[ mm :**

Les individus appartenant à la classe de taille [300-450[ mm sont considérés comme individu mâle pouvant s'argenter ou individu femelle en croissance ; 12 anguilles appartiennent à cette classe de taille;

#### **\*Dans la classe de taille [450-600[mm :**

Ce sont des individus femelles pouvant s'argenter. Petits gabarits (150-400 g) le plus souvent associés aux milieux peu profonds ; au cours de cette étude, 58 anguilles appartiennent à cette classe de taille ;

#### **\*Dans la classe de taille [600-750[mm :**

Considérés comme individus femelles pouvant s'argenter. Gabarits moyens (400-800 g). Seulement 2 anguilles appartenant à la classe de taille [600-750[mm

#### **\*Dans la classe de taille > 700 mm :**

Ce sont des individus femelles pouvant s'argenter ; gros gabarits (+ de 800 g) le plus souvent associés aux milieux profonds. Aucun individu n'a été enregistré dans cette classe de taille.

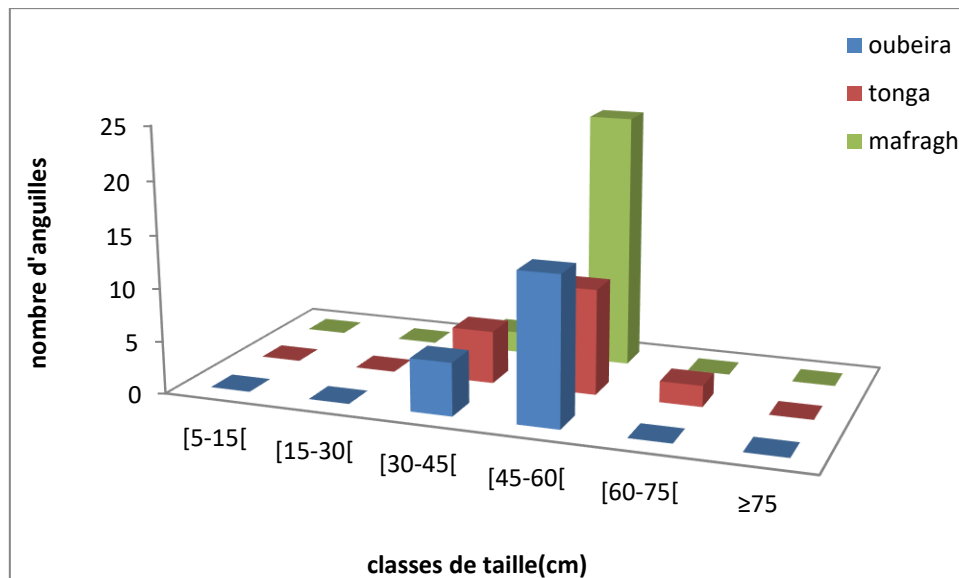
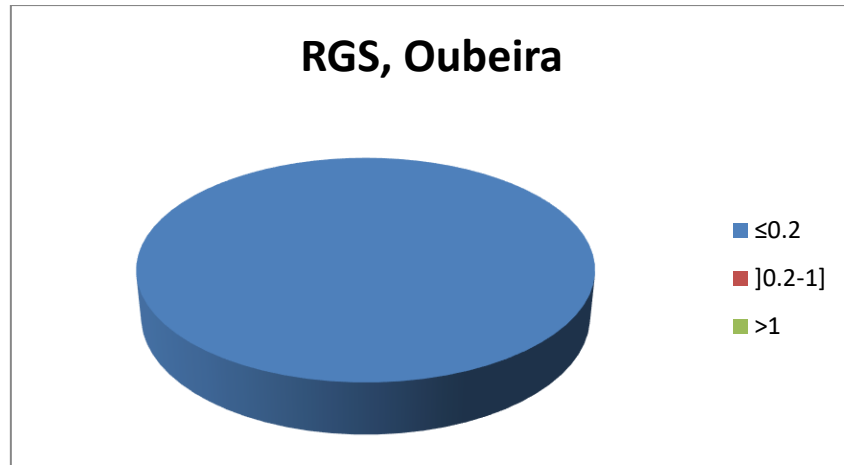


Figure 37 : Classes de taille des anguilles capturées et stades correspondants établis par GRISAM.

#### 3. Rapport Gonado-Somatique (RGS%)

##### ○ Oubeira

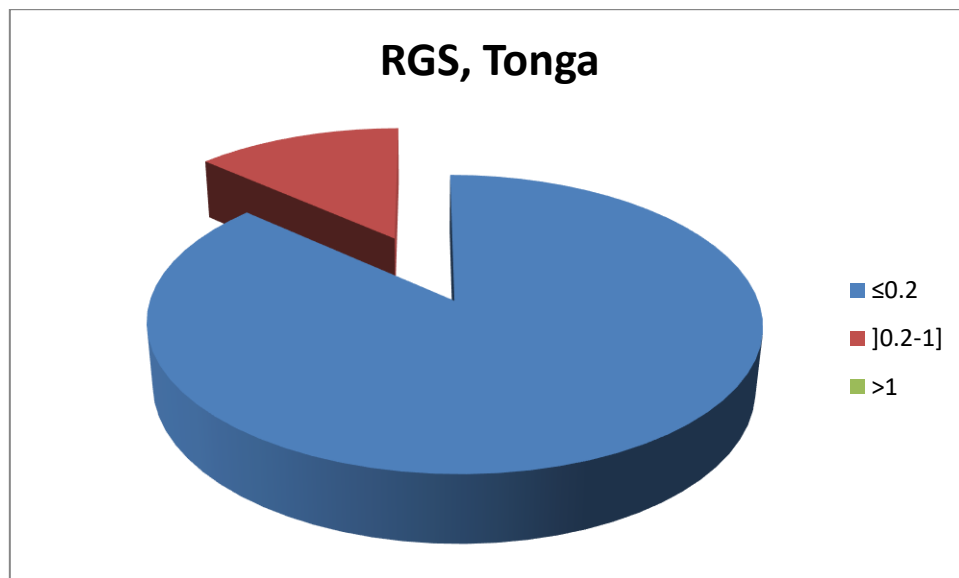
Selon les valeurs du RGS, nous remarquons que la sous-population des anguilles capturées dans le lac, comporte 100% d'individus indéterminés (Fig.38).



**Figure38** : Proportion du RGS (%) des anguilles du lac Oubeira.

##### ○ Tonga

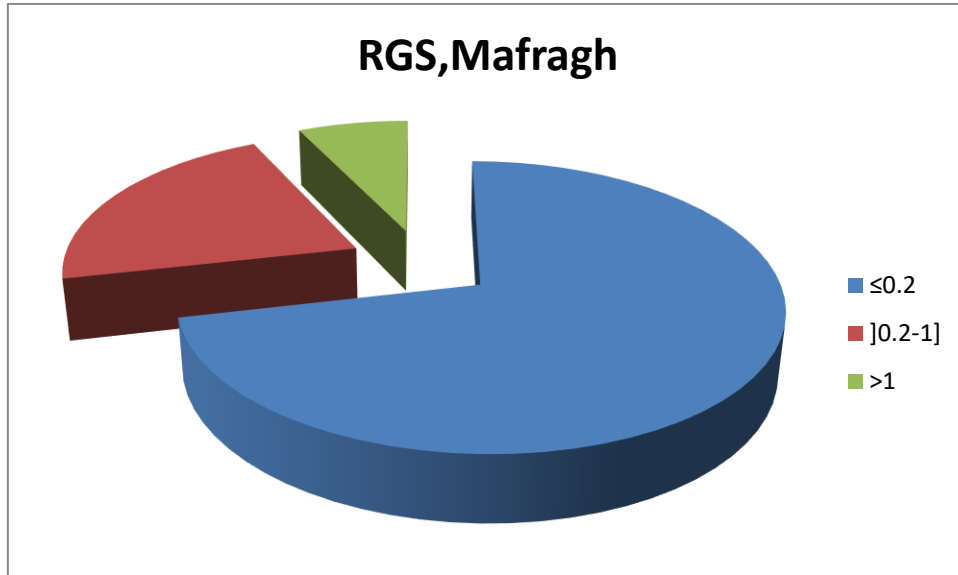
Seulement 13% des anguilles capturées dans le lac Tonga sont considérées comme mâle, selon le RGS (Fig.39).



**Figure39** : Proportion du RGS (%) des anguilles du lac Tonga.

#### ○ *Mafragh*

Les valeurs du RGS des anguilles capturées dans l'estuaire du Mafragh, varient entre 0 et 1.01%. 21% des anguilles échantillonnées est considérée comme mâle et 7% comme femelle (Fig.40).

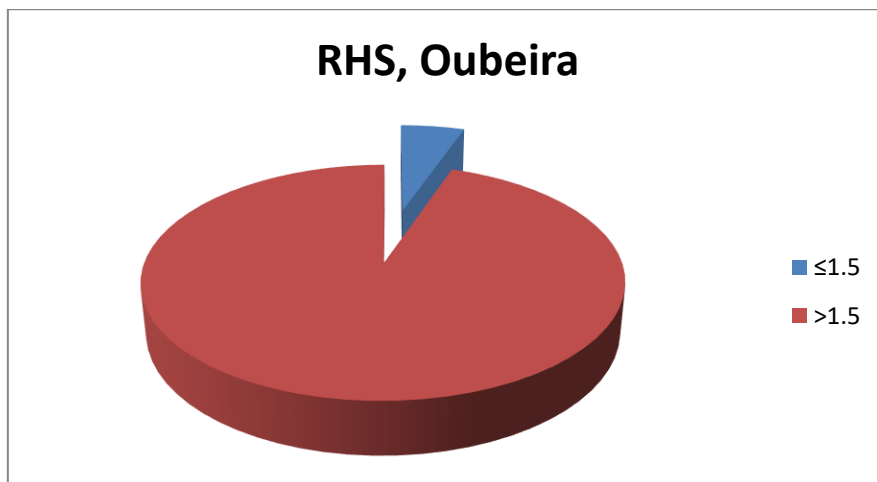


**Figure40** : Proportion du RGS (%) des anguilles de l'estuaire du Mafragh.

#### 4. Rapport Hepato-Somatique (RHS%)

#### ○ *Oubeira*

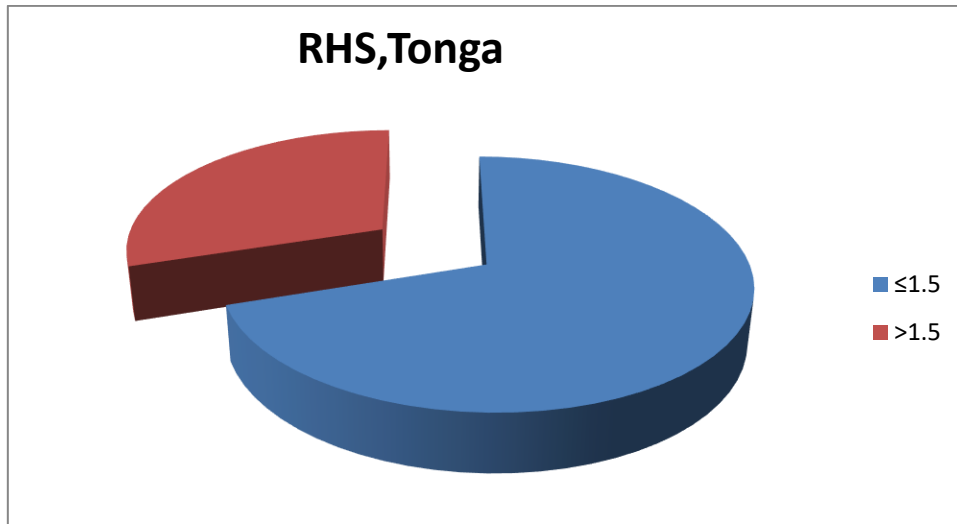
Le Rapport Hépat-Somatique varie entre 0,1 et 3,87% dans le lac Oubeira ; nous notons que 95% des anguilles montrent un RHS qui dépasse 1,5 et sont de ce fait considérées comme jaunes (Fig.41).



**Figure41** : Proportion du RGS (%) des anguilles du lac Oubeira.

- *Tonga*

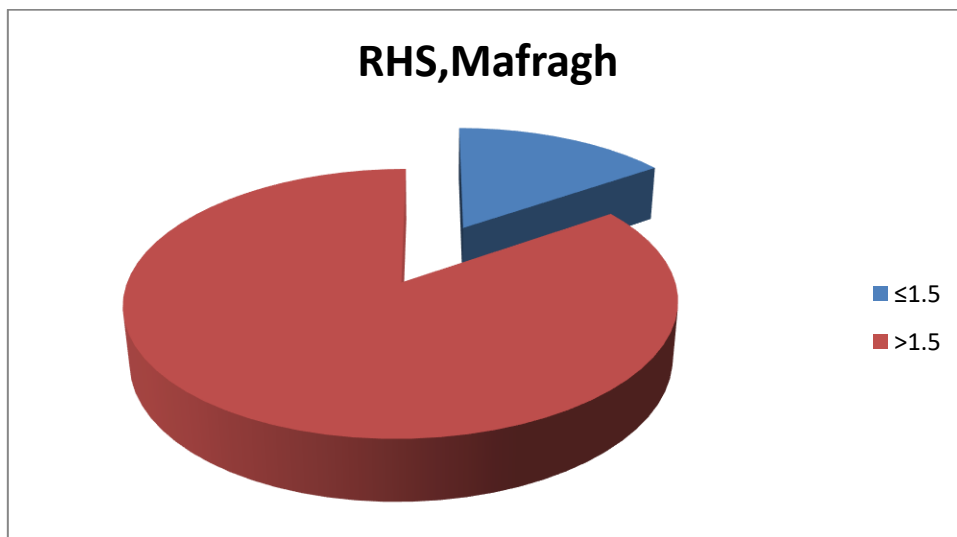
Dans le lac Tonga, le Rapport Hépat-Somatique varie entre 1 et 2,34% ; il est toutefois noté que presque le tiers des anguilles (30%) sont considérées comme jaunes du fait que leur RHS est strictement supérieur à 1,5% (Fig. 42).



**Figure42** : Proportion du RHS (%) des anguilles du lac Tonga.

- *Mafragh*

Le Rapport Hépat-Somatique varie entre 1 et 2,57% dans l'estuaire ; nous notons que 85% des anguilles montrent un RHS qui dépasse 1,5 et sont de ce fait considérées comme jaunes (Fig.43).

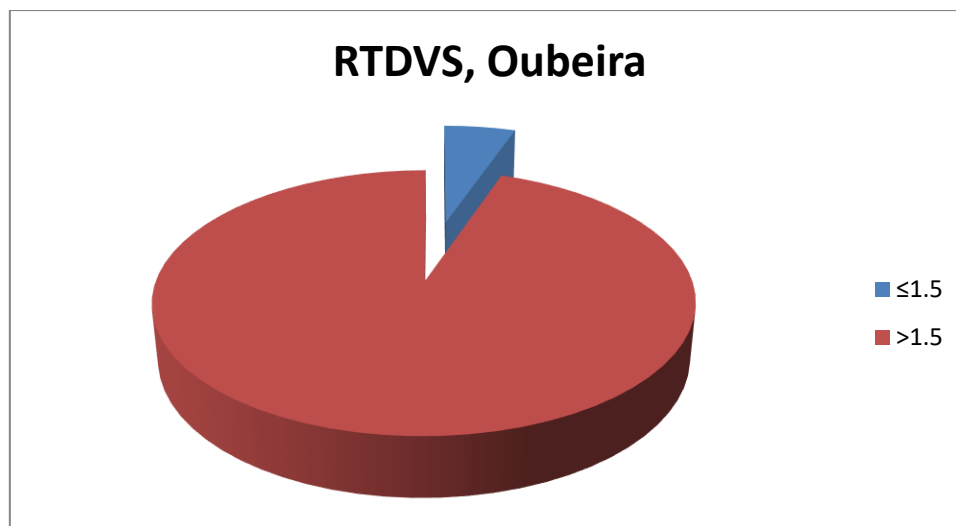


**Figure43** : Proportion du RHS (%) des anguilles de l'estuaire du Mafragh.

#### 5. Rapport Tube Digestif Vide-Somatique (RTDVS%)

##### ○ Oubeira

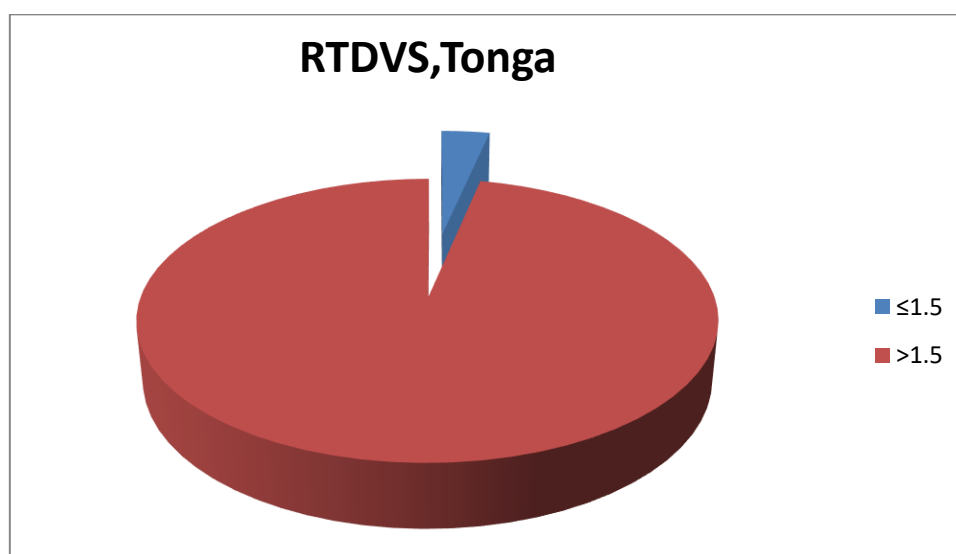
95% des anguilles échantillonnées dans le lac Oubeira présentent un RTDVS  $>1,5\%$ , et de ce fait sont considérées comme « jaunes » (Fig. 44).



**Figure44** : Proportion du RTDVS (%) des anguilles du lac Oubeira.

##### ○ Tonga

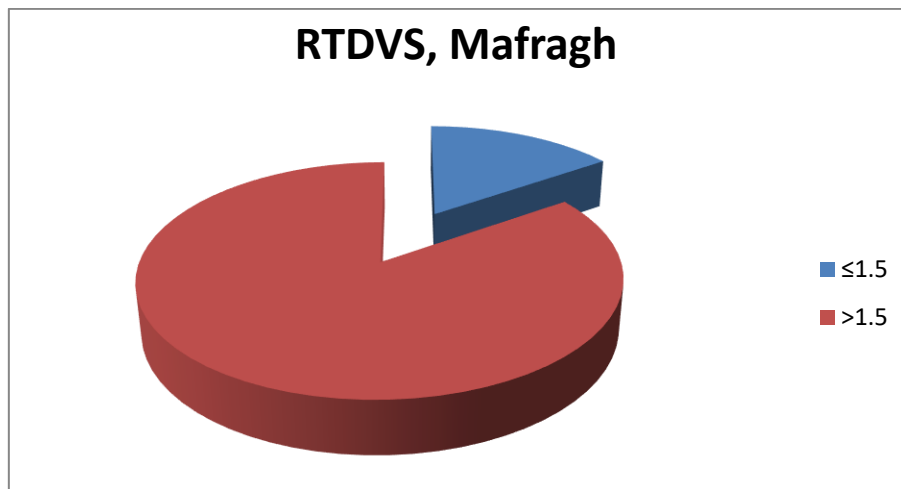
Pratiquement la quasi-totalité (97%) des anguilles capturées dans le lac Tonga présente des valeurs du RTDVS  $>1,5\%$  et sont donc considérées comme « jaunes » (Fig.45).



**Figure45** : Proportion du RTDVS (%) des anguilles du lac Tonga.

#### ○ *Mafragh*

85% des anguilles échantillonnées dans l'estuaire du Mafragh présentent un RTDVS  $>1,5\%$ , et de ce fait sont considérées comme « jaunes » (Fig.46).

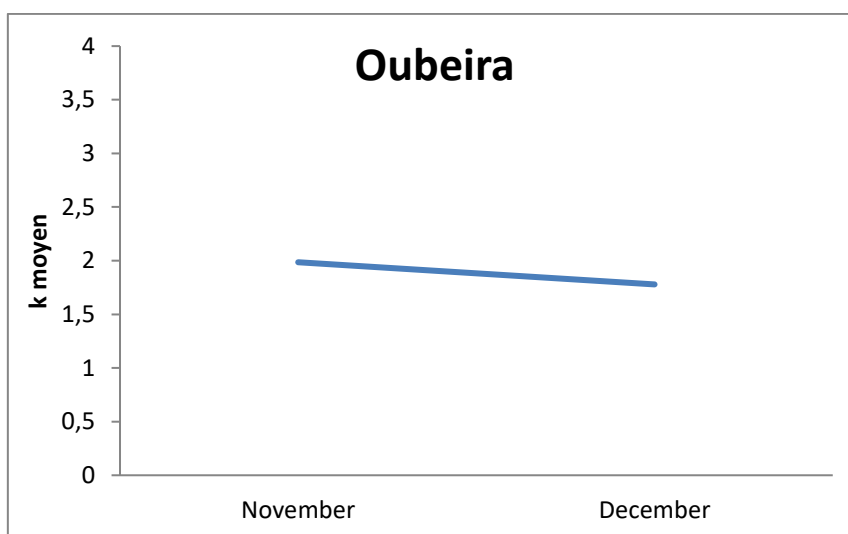


**Figure46** : Proportion du RTDVS (%) des anguilles de l'estuaire du Mafragh.

#### 6. Variation mensuelle de l'indice de condition K moyen

#### ○ *Oubeira*

Dans le lac Oubeira, le coefficient de condition moyen observé varie entre 1,2 et 2,2 ; c'est toutefois en décembre que nous avons enregistré les plus basses valeurs (Fig.47).

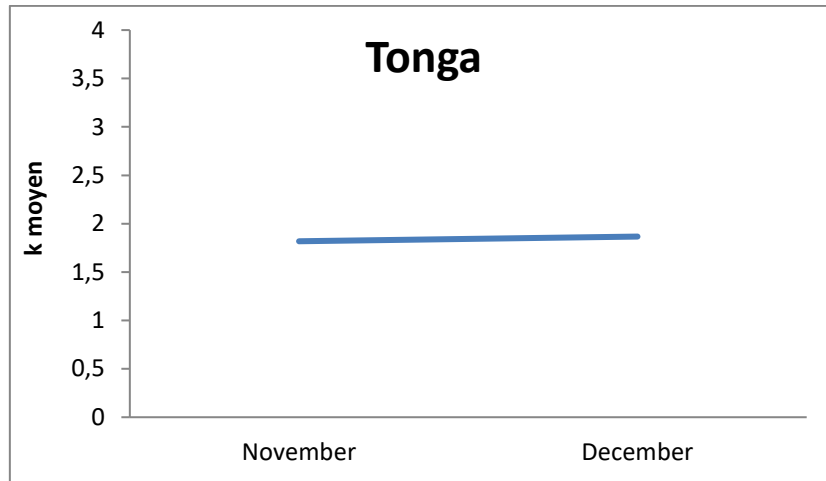


**Figure47** : Variation mensuelle de K moyen des anguilles du lac Oubeira.

### III.RESULTAS

#### ○ *Tonga*

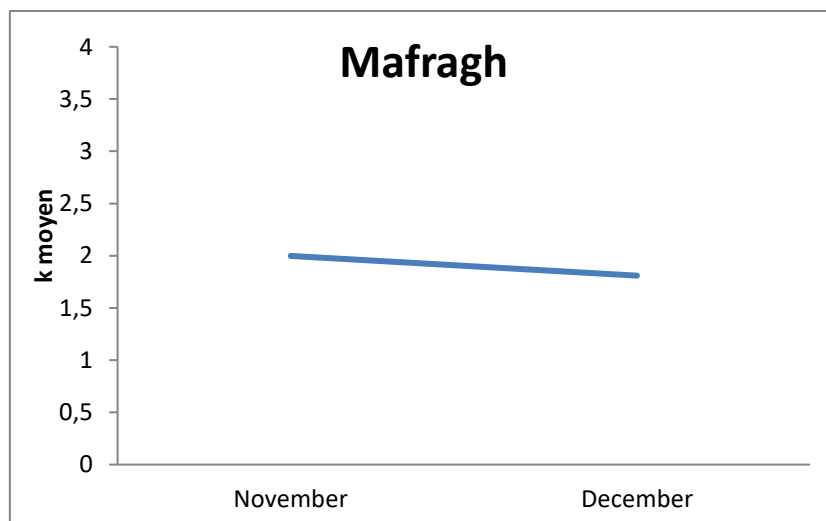
Les effectifs d'anguilles du lac Tonga, montrent un coefficient de condition moyen compris entre 1,3 et 2,1; c'est en novembre que les valeurs les plus faibles sont notées (Fig.48).



**Figure48** : Variation mensuelle de K moyen des anguilles du lac Tonga.

#### ○ *Mafragh*

Le coefficient de condition moyen observé dans l'estuaire du Mafragh, varie entre 1,7 et 2,1 ; c'est toutefois en novembre que nous avons enregistré les plus fortes valeurs (1,4) (Fig.49).



**Figure49** : Variation mensuelle de K moyen des anguilles de l'estuaire Mafragh.



# *Discussion*

---

### DISCUSSION

- **L'indice oculaire**

Durant notre période d'étude, l'Indice Oculaire variait entre « 1,7 et 3,7 », entre « 1,9 et 10.5 » et entre « 2.05 et 4.4 » dans le lac Oubeira, le lac Tonga et l'estuaire du Mafragh ; la quasi-totalité des anguilles dans les 3 sites d'étude présentait une hypotrophie oculaire ( $IO < 6.5$ ). En France, [Acouet al. \(2010\)](#) rapportent qu'environ 97% des anguilles argentées mâles et femelles de la Loire ont un  $IO > 6.5$ .

L'indice oculaire apparaît comme un critère potentiellement utilisable pour évaluer le degré de transformation de l'anguille. Cet indice a également l'avantage de ne nécessiter aucun sacrifice d'individus. Il s'agit toutefois de standardiser sa mesure afin de limiter les erreurs entre chaque expérimentateur. En plus, le développement de l'œil, ou hypertrophie oculaire, s'accompagne de nombreux changements structurels de la rétine comme par exemple la diminution de la densité de cônes qui est une adaptation à la vie en eaux profondes ([Pankhurst et Lythgoe, 1983](#)).

Les expériences de maturation artificielle ont pu montrer que l'indice oculaire pouvait atteindre la valeur de 27 ([Boëtius et Boëtius, 1967](#)). Un indice oculaire de 6.5 est, selon [Pankhurst \(1982a\)](#), la plus faible valeur, à partir de laquelle les anguilles entament leur migration ; parmi ces dernières, celles ayant une taille inférieure à 500mm sont des mâles ou des femelles et celles dont la taille est  $\geq 500$ mm sont des femelles.

Les anguilles dont l' $IO > 6.5$  sont toutes migrantes ; celles dont la taille est inférieure à 500 mm sont des mâles et celles dont la taille est  $\geq 500$ mm sont des femelles. Plus récemment [Marchelidonet al. \(1999\)](#) et [Acouet al. \(2003\)](#) ont estimé cette valeur seuil à 8.0. Des études ont montré que la valeur moyenne des indices oculaires chez les anguilles jaunes est moins importante que chez les anguilles argentées ([Durif, 2003 ; Acouet al., 2005](#)).

La valeur seuil de l' $IO$  permettant de caractériser une anguille ayant entamée sa métamorphose d'avalaison varie entre les auteurs. [Fontaine \(1994\)](#) montre que chez les individus n'ayant pas entamé leur pré-argenture, l' $IO$  est égal à  $4,33 \pm 0,24$  avec des limites égales à 2,94 et 5,70, tandis que chez les individus ayant effectué les trois étapes de l'argenture, il est de  $8,48 \pm 0,42$  avec des limites égales à 5,58 et 11,4. Il estime que, parmi une

population d'anguilles jaunes, celles ayant un IO supérieur à 5,6 et ayant donc sans doute amorcé leur argenture, effectueront leur avalaison dans l'année.

Avant d'entamer son ultime migration de reproduction, l'anguille doit obligatoirement se métamorphoser, pour s'adapter, alors qu'elle est encore en eau douce, aux conditions marines profondes (Fontaine, 1994). Parmi ces transformations morphologiques externes, la mesure du développement de l'œil et de la nageoire pectorale, sont des paramètres quantitatifs qui ont été largement étudiés (Pankhurst, 1982a ; Durif, 2003 ; Acouet *al.*, 2003 ; Acouet *al.*, 2005).

- **L'Indice de la Nageoire Pectorale**

La quasi-totalité des anguilles capturées dans les 3 sites d'étude présentaient un ILP < 5%, ce qui consiste à dire qu'elles étaient considérées comme « jaunes ».

Comme l'IO, l'ILP (**Indice de la Nageoire Pectorale**) traduit l'avancement des individus dans la préparation à la migration transocéanique. Un accroissement de l'ILP a été observé entre le stade jaune (ILP < 4%) et argenté (ILP  $\geq$  5%) (Durif, 2003). De plus, on voit bien l'intérêt des anguilles argentées de partir en migration avec des nageoires pectorales bien développées pour gagner en efficacité de nage.

- **Le Rapport Gonado-Somatique (RGS%)**

Le pourcentage du RGS calculé à partir des gonades d'anguilles échantillonnées dans la lagune Mellah et dans le lac Tonga durant la période d'étude, variait entre 0 et 1,01% dans les 3 sites d'étude ; Fontaine *et al.* (1964) ont pu montrer lors d'expériences de maturation artificielle que le poids des gonades pouvait constituer 31,8% du poids du corps de l'animal. Acouet *al.* (2010) rapportent que plus de 98% des anguilles argentées femelles capturées au niveau du bassin versant de la Loire ont des valeurs du RGS supérieures à 1,0% (en moyenne :  $1,68 \pm 0,39\%$  ; 0,15-7,22%) et que le RGS moyen variait significativement au cours du temps (Anova:  $F = 4,6$  ;  $ddl = 4$  ;  $P < 0,01$ ). Les auteurs expliquent cela par un important avancement

dans le processus de maturation des gonades et confirment les résultats obtenus avec les critères morphologiques externes (index oculaire et indice de la nageoire pectorale).

Le RGS permet d'évaluer la maturité des gonades chez les anguilles argentées mâles (RGS > 0.2%) et femelles (RGS > 1%) au moment de la migration d'avalaison (Fontaine, 1994 ; Marchelidonet *al.*, 1999 ; Acouet *al.*, 2003 ; Durif, 2003). Les modifications s'effectuent de façon progressive et ne se manifestent pas forcément par des changements de pigmentation.

Pankhurst et Lythgoe (1983) ont comparé la structure et la pigmentation du tégument d'anguilles à la maturité sexuelle. Leurs résultats montrent que la composition pigmentaire ne change pas radicalement avec la maturation. La couleur peut donc être utilisée pour distinguer une anguille jaune d'une anguille argentée, mais elle ne peut servir de base comme indice de maturité. Il s'agit également d'un critère très subjectif qui tient compte de l'expérience de chaque observateur. Lors de la dévalaison, l'anguille est encore immature mais sexuellement différenciée. Le poids des gonades augmente de façon nette au cours de la métamorphose. La maturité sexuelle ne surviendra réellement qu'une fois l'animal en mer, la pression hydrostatique jouant un rôle dans le déblocage de la fonction gonadotrope (Dufour et Fontaine, 1985). Toutefois, en milieu continental, on observe une légère augmentation de la teneur en hormone gonadotrope, elle-même corrélée au poids des gonades (Marchelidonet *al.*, 1999). Selon Fontaine (1994), le début de développement des gonades interviendrait relativement tôt dans la métamorphose, suivi de l'augmentation de la surface oculaire, de changements de pigmentation du tégument et enfin de modifications de l'appareil digestif.

Dans le continent américain, Desjardins *et al.* (1983a) ont récolté 600 anguilles jaunes et argentées dans le système du fleuve Saint-Laurent et d'autres tributaires. Les anguilles migrantes possédaient un RGS de 2,1% à 3,7% et le diamètre moyen des ovocytes dépassait 0,085 mm (0,100-0,210 mm), tandis que le RGS chez les anguilles résidentes était de 0,3-0,7% et les ovocytes avaient une taille moyenne inférieure à 0,085 mm (0,049-0,072 mm).

Dans le lac Saint-Pierre, la limite servant à départager les anguilles a été fixée à 0,07mm car la migration est plus hâtive dans ce secteur. Des résultats similaires ont été observés par Dutillet *al.* (1985) pour les anguilles du Saint-Laurent. Ces derniers ont aussi établi un seuil critique distinctif à 0.085 mm et ils ont observé une progression de la taille des

ovocytes jusqu'à 0,200mm chez les anguilles argentées capturées à Kamouraska en période automnale.

Michener (1980) a déterminé que le RGS des anguilles jaunes augmentait pendant la saison de croissance. Le RGS et le diamètre des ovocytes augmentaient aussi avec l'âge ; par exemple à l'âge de 2 ans le RGS atteignait 0,336% et les ovocytes 0,071 mm ; à 8 ans, ils atteignaient 0,76 % et 0,125 mm. Couillard *et al.* (1997) ont constaté que le RGS augmentait pendant les 7 semaines de la période de dévalaison dans le Saint-Laurent.

- **Le Rapport Hépat-Somatique (RHS%)**

Le foie est un organe essentiel pour le métabolisme (Fontaine, 1994 ; Durif, 2003), il subit des modifications au niveau de sa structure avec une accumulation de réserves lipidiques (Bertin, 1951 ; Deelder, 1970 ; Lecomte-Finiger, 1990). **Le Rapport Hépat-Somatique (RHS%)** des anguilles argentées peut varier entre 0.5 et 5% en fonction des sexes et des individus (Durif, 2003). Du stade jaune à argenté, le RHS va passer en moyenne de  $1.72 \pm 0.59\%$  à  $1.24 \pm 0.30\%$  car l'anguille cesse de se nourrir avant son départ en migration (Durif, 2003).

Sur l'ensemble de la période d'étude, le RHS (%) des anguilles échantillonnées au niveau dans les 3 sites d'étude était compris entre 1% et 2,5%. En France, Durif (2003) a analysé, sur 9 bassins versants français (Loire, Rhin, Nive, etc...), l'évolution de ce paramètre et a constaté une moyenne du RHS de  $1,28 \pm 0,26 \%$  (0,77-2,45%). D'autre part, Acouet *al.* (2010) signalent dans la Loire un RHS moyen de  $1,34 \pm 0,25\%$  (0,66-2,12%) et que 94% des femelles possédaient un RHS supérieur à 1%, les auteurs rajoutent que le RHS moyen variait significativement au cours du temps (Anova :  $F = 7,7$  ;  $ddl = 2$  ;  $P < 0,001$ ) ; le RHS des anguilles argentées capturées au cours de la saison 2003-2004 était significativement plus élevé que celui des anguilles capturées les 2 saisons suivantes) ; selon eux, cela est probablement dû aux variations des conditions environnementales et trophiques survenues pendant la phase de croissance des anguilles.

- **Le Rapport Tube Digestif Vide-Somatique (RTDVS%)**

L'estimation du **RTDVS (%)** a montré que plus de 85% des anguilles capturées à partir 3 sites d'échantillonnage étaient considérées comme « jaunes ».

La régression du tractus digestif n'est pas initiée au stade jaune, et survient seulement à l'argenture ( $x = 0,26$ ), avec une valeur seuil  $\leq 1,5$  % caractérisant le stade argenté (Nilo et Fortin, 2001). A l'approche de la phase d'argenture, il a été avancé que l'alimentation cessait pendant la dévalaison, probablement à cause d'une certaine dégénérescence (ou réduction) du tractus digestif (Gray et Andrews, 1971 ; Tesch, 1977). Chez les anguilles argentées d'*Anguilla anguilla* et d'*Anguilla rostrata* en maturation avancée (induite expérimentalement), on constate une dégénérescence de l'appareil digestif (Pankhurst et Sorensen, 1984).

L'anguille ne s'alimente pas en eau salée et réussit à régler l'osmorégulation avec des structures réduites (le phénomène est interprété comme la « fermeture » (shut down) d'un système redondant), l'énergie ainsi « économisée » pour le maintien des tissus fonctionnels peut être mise à contribution pour la migration. Fontaine *et al.* (1982) ont néanmoins démontré que cet état de dégénérescence n'était pas irréversible. Frost (1946) a capturé des anguilles argentées qui avaient ingéré des proies dans le cours supérieur du bassin de drainage. Facey et Helfman (1985) mentionnent que, parmi les anguilles argentées d'*A. rostrata* en début de migration en eau douce, certains individus (2/6) avaient des proies dans l'estomac et aucun ne présentait de signes de régression du tractus digestif. Dans les régions septentrionales, le synchronisme de la dévalaison avec le moment de l'année où les températures sont à la baisse pourrait en partie expliquer la diminution de l'activité alimentaire des individus en migration catadrome.

- **L'indice de condition**

Les appellations facteur de condition ou coefficient de conditions correspondent, en fait, aux différents paramètres mathématiques qui ont été définis pour mettre en évidence l'écart existant entre le poids réel d'un individu (ou d'une classe de tailles) et son poids théorique d'après la relation tailles-poids. Il augmente de 0,16 à 0,18 entre la taille moyenne 200 mm à 400 mm, puis il oscille entre 0,18 et 0,19 pour des tailles supérieures. Avant l'atteinte d'une taille de 400 mm, les différences entre les populations sont peu marquées. Ce sont surtout les caractéristiques des individus en dévalaison qui permettent de différencier les populations (Nilo et Fortin, 2001). Un facteur de condition voisin de 1, dénote d'un bon équilibre

pondéral ; mais dans le cas contraire, il peut témoigner d'un effet d'une perturbation chronique.

Comme le révèle les résultats de l'évaluation du coefficient de condition, les anguilles échantillonnées dans les 3 sites d'étude possèdent un potentiel énergétique important, avec des valeurs assez élevées (entre 1 et 2,5). Dans le lac Oubeïra, [Boudjadi \(2010\)](#) a montré une faible relation du coefficient de condition K avec la taille, le poids et même l'âge des anguilles. En revanche, dans le Mafrag, [Tahri \(2009\)](#) a noté que le coefficient de condition était relativement élevé chez les anguilles de petites et de grande taille et chez celles de poids relativement élevé ; ce sont toutefois, les anguilles les plus âgées qui enregistrent les valeurs les plus élevées du coefficient de condition.

Nos valeurs demeurent beaucoup plus élevées que celles signalées dans les bassins versants français comme le Frémur ou l'Oir (0,168 et 0,196 respectivement ; [Acouet al., 2009](#)) ou encore dans les neuf sites échantillonnés par [Durif \(2003\)](#), où K était égale à  $0,190 \pm 0,003$ .

*Conclusion*

---

## Conclusion

Jusqu'à présent, nous ne disposons pas de données –exhaustives- sur l'état de transformation et de croissance des anguilles peuplant les différents plans d'eau du Parc National d'El Kala. Le travail que nous avons effectué sur 62 anguilles prélevées du lac Oubeira, du lac Tonga et de l'estuaire Mafragh, révèle les points suivants :

♣ Selon les indicateurs de qualité d'anguilles argentées, nous avons constaté que la majorité des anguilles capturées dans les 3 sites étaient considérées comme « jaunes » selon l'IO ; et que également la quasi-totalité des anguilles capturées dans les 3 plans d'eau étaient aussi considérées comme « jaunes » selon l'ILp ;

♣ Des indices morphologiques internes moyens de : RGS moyen=0%, 0.11%, 0.23% ; RHS moyen=2.06%, 1.41%, 1.75% et RTDVS moyen=3.59%, 3.6%,4.02% pour les anguilles de la lagune et RGS moyen=0,81%, RHS moyen=1,41% et RTDVS moyen=1,93% pour celles du échantillonnées dans le lac Oubeira, le lac Tonga et l'estuaire du Mafragh respectivement;

♣ Une bonne condition des anguilles capturées aussi bien dans le lac Oubeira (K=1,88), le lac Tonga (K=1,84) ainsi que l'estuaire du Mafragh (K=1,88).

Ce travail permet d'envisager de nombreuses voies pour des recherches futures, il serait donc intéressant :

- ♣ De poursuivre les mêmes études dans différents écosystèmes aquatiques sur plusieurs cycles d'étude (eau saumâtre, eau douce) et de dresser des études comparatives ;
- ♣ D'augmenter l'effectif des anguilles pêchées afin de toucher toute la population et de pouvoir établir une comparaison entre les différentes classes de taille ;

*Références  
bibliographiques*

Références bibliographiques

A

**Acou A., Lefebvre F., Contournet P., Poizat G., Panfili J. and Crivelli A. J. 2003.** A preliminary analysis of the dynamics of metamorphosis in the eel (*Anguilla anguilla*) in the Camargue. Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture, 368 : 55-68.

**Acou A., Boury P., Laffaille P., Crivelli A. J. and Feunteun E. 2005.** Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver European eel (*Anguilla anguilla*, L.). Archiv für Hydrobiologie, 164 : 237-255.

**Acou A., Boury P., Boisneau C., Bodin M. et Feunteun E. 2010.** Estimation du potentiel Reproducteur en anguilles argentées de la Loire amont : saisons de migration 2001-05 à 2008-09. Rapport du Muséum National d'Histoire Naturelle, CRESCO, Dinard.

**Anonyme, 1984A.** Rapport de synthèse et programme quinquennal. Groupe National Anguille. 60 p.

**Arias A. M. and Drake P. 1985.** Estructura de la población y régimen alimentario de *Anguilla anguilla* L, 1758 (Osteichthyes, Anguillidae), en los esteros de San Fernando (Cadiz). Invest. Pesq., 49(4) :475-491.

B

**Baisez A. 2002.** Informations sur le tableau de bord anguille du bassin Loire. Rencontres scientifiques, l'anguille en Loire, 50 p.

**Bardonnat A., Bolliet V. and Belon V. 2005.** Recruitment abundance estimation: Role of glass eel (*Anguilla anguilla* L.) response to light. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 321:181-190.

**Bertin L. 1951.** Les Anguilles. Payot, Paris 1951.

**Boëtius J. 1967.** Experimental indication of lunar activity in European silver eels, *Anguilla anguilla* (L.). Medd.Danm. Fisk. Havunders, 6 : 1-6.

**Bonhommeau S. 2008.** Effets environnementaux sur la survie larvaire de l'Anguille (*Anguilla anguilla*) et conséquences sur le recrutement. Thèse de Doctorat Halieutique,

**Boudjadi Z. 2010.** Etat de santé de l'anguille *Anguilla anguilla*, peuplant deux hydrosystèmes de l'extrême nord est Algérien (cas de l'estuaire du Mafrag et du lac Oubeïra).Thèse de Doctorat, Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie, 246p.

**Bruslé J. 1994.** L'anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture, 335: 237-260.

### C

**Cullen P. and McCarthy T. K. 2003.** A comparison of two otolith age determination techniques commonly used for eels *Anguilla anguilla* (L.). Irish Naturalists Journal, 27(8): 301-305.

**Couillard C. M., Hodson P.V. and Castonguay M. 1997.** Correlations between pathological changes and chemical contamination in American eels, *Anguilla rostrata*, from St. Lawrence River. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 54 : 1916-1927.

### D

**Darnaude A., 2012.** Migrations des poissons marins et microchimie des otolithes : avantages et limites d'une boîte noire naturelle, Université Montpellier II. Thèse de doctorat

**Deelder C. L. 1970.** Synopsis of biological data on the eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus), 1758.

FAO Fisheries Synopsis, 80 p.

**Deelder CL. 1985.** Exposé synoptique des données biologiques sur l'anguille, *Anguilla anguilla*(Linnaeus, 1758), FAO, Rome.

**Dekker W. 1986.** Age reading of European eels using tetracycline labellesotoliths.

International Council for the Exploration of the Sea C.M. 1986/M: 16, 14 pp.

**Dekker W. 1998.** Long-term trends in the glass eels immigrating at Den Oever, the Netherlands. Bulletin Français de la Pêche et de Pisciculture, Conseil Supérieur de la Pêche, Paris (France), 349 : 199-214.

**Dufour S. and Fontaine Y. A. 1985.** The reproductive migration of the European Eel (*Anguilla anguilla*) - the probable importance of hydrostatic pressure in stimulation of The gonadotropic function. Bulletin de la Société Zoologique de France, 110 : 291-299.

**Durif C. 2003.** La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*: Caractérisation des fractions dévalantes, phénomènes de migration et franchissement des obstacles. Doctorat de l'Université en Ecologie Aquatique, Université de Toulouse II, 357 pp.

**Dutil J. D., Legare B. et Desjardins C. 1985.** Discrimination d'un stock de poisson, l'anguille (*Anguilla rostrata*), basée sur la présence d'un produit chimique de synthèse, le mirex. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 42: 455-458.

**Dunkelberger D. G., Dean J. M. and Watabe N. 1980.** The ultrastructure of the otolithic membrane and otolith in the juvenile mummichog, *Fundulusheteroclitus*. Journal of Morphology, 163: 367-377.

## E

**Edeline E., Dufour S., Briand C., Fatin D. and Elie P. 2004.** Thyroid status is related to migratory behavior in *Anguilla anguilla* glass eels. Marine Ecology Progress Series, 282: 261-270.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Edeline E., Bardonnnet A., Bolliet V., Dufour S. and Elie P. 2005a.** Endocrine control of *Anguilla anguilla* eel dispersal: Effect of thyroid hormones on locomotor activity and rheotactic behavior. *Hormones and Behavior*, 48: 53-63.

**Edeline E., Lambert P., Rigaud C. and Elie P. 2006.** Effects of body condition and water temperature on *Anguilla anguilla* eel migratory behavior. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 331: 217-225.

**Ehrenbaum E. and Marukawa H. 1913.** Ueberalterbestimmung und wachstum beim Aal. *Zeitschrift für Fischerei und deren Hilfswissenschaften*, B. 14(2): 89-127.

**El Hilali M. 2007.** L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758) dans le Bas-Sebou : Biologie et infestation par *Anguillicola crassus*. Thèse de doctorat, Université Mohamed V, Rabat, Maroc, 201 p.

**Elie P. et Rochard E. 1994.** Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 335: 81-98.

## F

**Facey D. E. and Helfman G. S. 1985.** Reproductive migrations of American eels in Georgia. *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies*, 39: 132-138.

**Feunteun E. 2002.** Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. *Ecological Engineering*, 18: 575-591.

**Fernandez-Delgado C. J., Hernando A., Herrera M. and Bellido M. 1989.** Age and growth of yellow eels, *Anguilla anguilla*, in the estuary of the Guadalquivir river (southwest Spain). *Journal of Fish Biology*, 34: 561-570.

**Fontaine M. M., Bertrand E., Lopez E. et Callamand O. 1964.** Sur la maturation des organes génitaux de l'anguille femelle (*Anguilla anguilla* L.) et l'émission spontanée des œufs

en aquarium. Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris, 295 : 2907-2910.

**Fontaine M., Delerue-Le Belle N., Lallier F. et Lopez E. 1982.** Biologie générale. Toutes les anguilles succombent-elles après la reproduction et frayent-elles nécessairement en mer ? Compte-Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, Série III, 294 : 809-811.

**Fontaine Y. A. 1994.** L'argenture de l'anguille : métamorphose, anticipation, adaptation (Eelsilvering: metamorphosis, anticipation, adaptation). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 335:171-185.

**Fossum P., Kalish J. and Moksness E. 2000.** Special issue: 2<sup>nd</sup> International Symposium on Fish Otolith Research and Application, Bergen, Norway, 20-25 June 1998. Fisheries Research, 46: 373 p.

**Frost W. E. 1945a.** The age and growth of eels (*Anguilla anguilla*) from the Windermere catchment area. Journal of Animal Ecology, 14 (1): 26-36.

### G

**Ginneken VAN V. J. T. et Maes G. E. 2005.** The European eel (*Anguilla anguilla*, Linnaeus), its life cycle, evolution and reproduction: a literature review. Reviews in fish biology and fisheries. 15:367-398.

**Gray R. W. and Andrews C. W. 1971.** Age and growth of the American eel (*Anguilla rostrata* (LeSueur)) in New foundland waters. Canadian Journal of Zoology, 49: 121-128.

**Gordo L. S. and Jorge M. I. 1991.** Age and growth of the European eel, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), in the Aveiro lagoon, Portugal. Science Marine, 55 (2): 389-395.

### H

**Hansen R. A. and Eversole A. G. 1984.** Age, growth, and sex ratio of American eels in

brackish-water portions of a South Carolina river. Transactions of the American Fisheries Society, 113: 744-749.

### I

**ICES 2007.** Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL), 3–7 September 2007, Bordeaux, France, *ICES CM 2007/ACFM:23*, 534 p.

### J

**Jellyman D. J. 1979b.** Scale development and age determination in New Zealand freshwater eels (*Anguilla* spp.). New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 13(1):23-30.

### K

**Kara M. H. et Chaoui L. 1998.** Niveau de production et rendement d'une lagune méditerranéenne : le lac Mellah (Algérie). Rapp. Comm. Int. Mer Médit., 35: 548-549.

**Keith P., Allardi J. (COORD.), 2001.** Atlas des poissons d'eau douce de France. Patrimoines Naturels, 47, 387 p.

**Koie M. 1988a.** Parasites in european eels, *Anguilla anguilla*(L.) from Danish freshwater, brackish and marine localities. Ophelia, 29: 93-118.

### L

**Lecomte-Finiger R. 1990.** Métamorphose de l'anguille jaune en anguille argentée *Anguilla anguilla*L. et sa migration catadrome. Annales de Biologie, 29:183-194.

**Lecomte-Finiger R. 1992b.** Growth history and age at recruitment of European glass eels (*Anguilla anguilla*) as revealed by otolith microstructure. Marine Biology, 114: 205- 210.

**Legault A. 1987.** L'anguille dans le bassin de la Sèvre Niortaise Biologie Ecologie exploitation. Publications du Département d'halieutique n°6- ENSA Rennes, 305 p.

**Lowenstein O. 1971.** The labyrinth. In Fish Physiology (Hoar W. S. and Randall D. J., ed.), pp. 207-240. New York, USA: Academic Press.

### M

**Mann R. H. K. and Blackburn J. H. 1991.** The biology of the eel *Anguilla anguilla* (L.) in an English chalk stream and interactions with juvenile trout *Salmo trutta* L. and salmon *Salmo salar* L. Hydrobiologia, 218: 65-76.

**Macewan A. et Hecht T. 1984.** Age and growth of the longfin eel, *Anguilla mossambica* Peters, 1852 (Pisces: Anguillidae) in Transkei rivers. S. Air. J. Zool., 19 (4): 280-285.

**Melià P., Bevacqua D., Crivelli A. J., De Leo G. A., Panfili J. and Gatto M. 2006.** Age and growth of *Anguilla anguilla* in the Camargue lagoons. Journal of Fish Biology, 68: 876-890.

**Michener W. K. 1980.** Age, growth, and sex ratio of American eel, *Anguilla rostrata* (LeSueur), from Charleston Harbor, South Carolina. M. S. Thesis. Clemson University, Clemson, South Carolina, 49 p.

**Moriarty C. 1987.** Factors influencing recruitment of the Atlantic species of anguillid eels. Am. Fish. Soc. Symp. 1: 483-491.

**Moriarty C. and Dekker W. 1997.** Management of the eel. Fisheries Bulletin Dublin, 15: 110 p.

**Moriarty C. and Steinmetz B. 1979.** On the age determination of eels. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil Permanent et International pour l'Exploration de la Mer, 174: 70-74.

**Mounaix B. 1992b.** Intercalibration et validation des méthodes d'estimation de l'âge de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) : application au bassin versant de la Vilaine, Bretagne. Thèse Doctorat, ENSA Rennes, France, 146 p.

### N

**Nilo P. et Fortin R. 2001.** Synthèse des connaissances et établissement d'une programmation de recherche sur l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). Université du Québec à Montréal, Québec, 308p.

### O

**Okamura A., Yamada Y., Mikawa N., Tanaka S. & Oka H.P., 2002.** Exotic silver eels *Anguilla anguilla* in Japanese waters: seaward migration and environmental factors. Aquatic Living Resources, 15 (6): 335-341.

**ONEMA 2010.** Le plan français de gestion de l'anguille, une réponse au règlement européen. Des mesures pour reconstituer la population d'anguilles européennes, 4 p.

### P

**Panfili J. 1993.** Estimation de l'âge des poissons : méthodologies et applications à des populations tropicales et tempérées. Paris, France : Collection Travaux et Documents, ORSTOM.

**Panfili J., Ximenes M. C. and Crivelli A. J. 1994.** Sources of variation in growth of the European eel (*Anguilla anguilla*) estimated from otoliths. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 51: 506-515.

**Panfili J., Pontual H. (de), Troadec H., Wright P. J. (éd.) 2002.** Manuel de sclérochronologie des poissons. Coédition Ifremer-IRD, 464 p.

**Pankhurst N. W. 1982a.** Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel, *Anguilla anguilla* L. *Journal of Fish Biology*, 21: 417-428.

**Pankhurst N. W. and Lythgoe J. N. 1983.** Changes in vision and olfaction during sexual maturation in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*, 23: 229-240.

**Pankhurst N. W. and Sorensen P. W. 1984.** Degeneration of the alimentary tract in sexually maturing European *Anguilla anguilla* (L.) and American eels *Anguilla rostrata* (Le Sueur). *Canadian Journal of Zoology*, 62: 1143-1149.

**Pannela G. 1971.** Fish otoliths: daily growth layers and periodical pattern. *Science*, 173: 1124- 1127.

**Popper A. N. and Fay R. R. 1993.** Sound detection and processing by fish: critical review and major research questions. *Brain Behavior and Evolution*, 50: 13-221.

## R

**Reibisch J. 1899.** Ueber die Einzahl bei *Pleuronectes platessa* und die Altersbestimmung dieser Form aus den Otolithen. *Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen* (Kiel), 4: 233-248.

## S

**Saraiva A. et Eiras J. C. 1996.** Parasite community of European eel, *Anguilla anguilla* (L.) in the river Este, Northern Portugal. *Res. Rev. Parasitol.*, 56: 179-183.

**Schmidt J. 1922.** The breeding places of the eel. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 211: 179-208.

**Schmidt J. 1923.** Breeding places and migrations of the eel. *Nature*, 111: 51-54.

**Schmidt J. 1925.** The breeding places of the eel. *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, report for 1924*: 279-316.

**Secor D. H., Dean J. M. and Campana S. E. 1995a.** Recent developments in fish otolith research. Columbia, SC, USA: University of South Carolina Press.

**Sloane R. D. 1984.** Distribution, abundance, growth and food of freshwater eels (*Anguilla spp.*) in the Douglas River, Tasmania. Australian Journal of Marine and Freshwater Research, 35: 325-339.

**Smith M. W. and Saunders J. W. 1955.** The American eel in certain freshwaters of the maritime provinces of Canada. Journal of Fisheries Research Board of Canada, 12(2): 238-269.

**Sorensen U. B. S. and Larsen J.L. 1986.** Serotyping of *Vibrio anguillarum*. Applied and Environmental Microbiology, 51: 593-7 (In DIPNET, 2007).

**Stevenson D. K. and Campana S. E. 1992.** Otolith microstructure examination and analysis. Ottawa, Canada: Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Science, 117p.342-351.

## T

**Tahri M. 2009.** Les parasites de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* peuplant l'estuaire du Mafrag. Mémoire de Magistère, Université Badji Mokhtar, Annaba, 122 p.

**Tucker D. W. 1959.** A new solution to the Atlantic eel problem. Nature, 183: 495-501.

**Tulonen J et Pursiainen M. 1992.** Eel stockings in the waters of the Evo State Fisheries and Aquaculture Research Station. Suomen Kalatalous, 60: 246-261.

**Tesch F.W. 1977.** The eel. Biology and management of anguillid eels. London, Chapman & Hall. 434 p.

**Tesch F. W. 2003.** The Eel Fifth Edition. Thorpe JE, Oxford, UK.

**Tosi L., Sala L., Sola C., Spampanato A. and Tongiorgi P. 1988.** Experimental analysis of the thermal and salinity preferences of glass-eels, *Anguilla anguilla*(L.), before and during the upstream migration. *Journal of Fish Biology*, 33: 721-733.

**Tosi L., Spampanato A., Sola C. and Tongiorgi P. 1990.** Relation of water odour, salinity and temperature to ascent of glass- eels, *Anguillaanguilla*(L.): a laboratory study. *Journal of Fish Biology*, 36:327-340.

**Tzeng W. N. and Iizuka Y. 2003.** Identification and growth rates comparison of divergent migratory contingents of Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Aquaculture*, 216: 77-86.

### V

**Van den Thillart G., van Ginneken V., Korner F., Heijmans R., van der Linden R. et GluversA. 2004.** Endurance swimming of European eel. *Journal of Fish Biology*, 65: 312-318.

**Van Ginneken V. J. T. and van den Thillart G. 2000.** Eel fat stores are enough to reach theSargasso. *Nature*, 403: 156-157.

**Van danThillart G. 2005a.** Eel migration to the Sargasso: Remarkably high swimmingefficiency and low energy costs. *Journal of Experimental Biology*, 208: 1329-1335.

**Verreault G. and Dumont P. 2003.** An estimation of American eel escapement from the UpperSt. Lawrence River and Lake Ontario in 1996 and 1997, *in* D.A. Dixon (éd.), *Biology, Management, and Protection of Catadromous Eels*, American Fisheries Society Symposium 33 (Missouri): 243-251.

**Vibert R. etLagler K. F. 1961.** *Pêches continentales. Biologie et aménagement.* Paris, France : Dunod.

**Vøllestad L. A. 1985.** Age determination and growth of yellow eels, *Anguilla anguilla* (L.), from a brackish water, Norway. *Journal of Fish Biology*, 26: 521-525.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Vøllestad L. A. 1992.** Geographic variation in age and length at metamorphosis of maturing European eel: environmental effects and phenotypic plasticity. *Journal of Animal Ecology*, 61: 41-48.

**Vøllestad L. A. and Jonsson B. 1988.** A 13-year study of the population dynamics and growth of the European eel *Anguilla anguilla* in a Norwegian river: evidence for densitydependent mortality, and development of a model for predicting yield. *Journal of Animal Ecology*, 57: 983-997.

**Vøllestad L. A. and Næsje T. F. 1988.** Reading otoliths *Anguilla anguilla* (L), of known age from Kolderveen, The Netherlands. *Aquaculture and Fisheries Management*, 19: 387- 391.

**Vøllestad L. A., Lecomte-Finiger R. and Steinmetz B. 1988.** Age determination of *Anguilla anguilla* (L.) and related species. EIFAC Occasional Paper No. 21: 28 p.

### W

**Wariaghli F. 2013.** Etude écotoxicologique et parasitologique chez l'Anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires marocains : Sebou et Loukkos (Atlantique). Thèse de Doctorat, Université Mohamed V, Maroc, 190 P.

### X

**Ximénès M. C. 1986.** L'anguille en Méditerranée française : aspects éco-biologiques et halieutiques. Rapport du Ministère de la Mer, CEMAGREF Montpellier-ALA, France, 166 p.

### Site internet :

**[www.bateaux.com](http://www.bateaux.com).**

**[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr).**

**[Googleearth.fr](http://Googleearth.fr).**

**[www.google.fr](http://www.google.fr)**

## *REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES*