

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة باجي مختار عنابة
Badji Mokhtar University–Annaba
Université Badji-Mokhtar, Annaba



Laboratoire d'Ecobiologie des
Milieux Marins et Littoraux

Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Mer

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences de la Mer

**Facteurs environnementaux et qualités
organoleptiques des anguilles du complexe des zones
humides du PNEK**

Option : Aquaculture.

Par : LADJAMA IMENE

Devant le jury

-Président :	Ouakid M ^{ed} laid	(Pr. Univ. Annaba)
-Directeur :	Bensouilah Mourad	(Pr. Univ. Annaba)
-Co-directeur :	Ladjama Ali	(Pr. Univ. Annaba)
-Examineur :	Ouzrout Rachid	(Pr. Univ. El Tarf)
-Examinatrice :	Kaouachi Nouha	(MCA. Univ. Souk Ahras)
-Examineur :	Oumeddour Rabah	(Pr. Univ. Guelma)

Année 2016

Remerciements

Avant tout je remercie Dieu qui a éclairé mon chemin afin de mener au mieux ce travail.

Je remercie particulièrement les personnes suivantes :

Dr Bensouillah. M et Dr Ladjama .A. pour leur soutien moral, leur compréhension et leur patience. La régularité de leur suivi, leur esprit de critique constructive, la ténacité qu'ils ont manifesté à mon égard exigeant de moi des progrès incessants ont fédéré le don du meilleur de moi-même. Mes respectueux remerciements vont à Monsieur le professeur Ouakid M^{ed} laid qui a fait l'honneur de présider cet honorable jury.

Je suis très honorée que Madame Kaouachi N, Monsieur Oumeddour Rabah et Ouzrout Rachid Examinent ce modeste travail.

Mes respectueux remerciements vont à Monsieur le professeur Taher A et l'enseignante Tahri M pour leur aide remarquable en matière de statistique.

Par ailleurs, ce travail n'aurait pas vu le jour sans la collaboration d'un nombre de personnes envers qui, j'exprime toute ma gratitude.

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A la mémoire de mon père Daif, professeur de chimie à l'université de Badji Mokhtar – Annaba et ancien député, précocement disparu , je conserve un souvenir indélébile d'un père aimant et d'un homme soif de savoir, qui a traversé les océans pour des études de post graduation . Je sais que là- haut, il doit être fier de moi. Merci papa pour cet incommensurable héritage.

A ma mère qui n'a cessé de m'encourager pour atteindre les plus grands succès académiques .Maman je prie Dieu de te récompenser pour ton sacrifice.

A mon oncle Ali ladjama qui a été un deuxième papa pour moi, je tiens à lui exprimer mes sincères remerciements pour son soutien.

A mon unique frère bien aimé Djalel.sa femme et sa petite fille Miral

A mes adorables sœurs : Yasmine – Cherifa – Djihane

A Toutes mes tantes, oncles, cousins, cousines

Imene

Résumé : Cette étude porte sur l'anguille européenne *Anguilla anguilla* peuplant un plan d'eau douce (lac Tonga) et un plan d'eau saumâtre (la lagune El Mellah) que le complexe de zones humides du Parc National d'El Kala abrite. Ce travail comprend deux parties : la première traite de la structure, l'état d'embonpoint et le parasitisme des fractions de population d'anguilles de chaque plan d'eau et la deuxième porte sur la qualité nutritionnelle des anguilles et les variations saisonnières des macronutriments rencontrés.

▪ Nos résultats montrent que plus de 75% des effectifs d'anguilles capturés dans les deux plans d'eau ont une taille comprise entre 37 et 57 cm et que les anguilles des deux plans d'eau montrent leur meilleur état d'embonpoint en automne et en hiver. Nous notons une augmentation des proportions de crustacés et de poissons et une baisse des proportions des plantes et des insectes avec l'augmentation de la taille des anguilles. En ce qui concerne la croissance relative des anguilles, nous notons en eau douce, l'existence d'une allométrie minorante pour les deux fractions de population de Tonga, et en eau saumâtre, une allométrie minorante pour l'échantillon du cycle I et majorante pour celui du cycle II. L'étude parasitaire montre que des signes d'infection passée, par *A. crassus*, sont relevés chez les anguilles des deux plans d'eau du fait de la présence de lésions des parois sans présence de vers dans la lumière de la vessie ; De ce fait les taux d'infestation réels des anguilles sont plus élevés et ce parasite représente un risque non négligeable pour le stock d'anguille des 2 plans d'eau. Les résultats de l'analyse statistique montrent que, selon le plan d'eau, les parasites rencontrés semblent subir l'influence de la température, des matières en suspension, du pH et de la salinité.

▪ Les résultats de l'analyse des différents macronutriments montrent que les taux de lipides totaux enregistrés sont situés entre $19,4 \pm 0,20$ pour l'anguille du lac Tonga et $22,15 \pm 0,11\%$ pour celle de la lagune El Mellah avec un maximum obtenu en hiver chez cette dernière. En revanche, c'est au printemps que les taux maximum de protéines, de cendres, d'humidité et d'hydrates de carbone sont notés dans les deux plans d'eau. L'anguille du lac Tonga montre un avantage nutritionnel par rapport à celle de la lagune du fait qu'elle soit plus riche en ces macronutriments. Les résultats de l'étude qualitative des lipides, par chromatographie en phase gazeuse, montrent la présence, dans le muscle des anguilles capturées dans les deux lacs, de 15 acides gras saturés et 7 acides gras insaturés; parmi les acides gras saturés (AGS), l'acide palmitique et l'acide stéarique sont les plus représentés ; l'acide palmitique atteint sa teneur maximale (21,52 %) chez l'anguille de la lagune El Mellah en hiver. En ce qui concerne les acides gras insaturés (AGI), ils comprennent quatre acides gras mono insaturés (AGMI) et trois acides gras polyinsaturés (AGPI); l'acide oléique est majoritaire et la teneur maximale est atteinte en hiver chez l'anguille d'El Mellah et au printemps chez l'anguille du lac Tonga. Quant aux oméga 6 et 3, leur teneur ne subit pas d'effet saison en milieu lagunaire mais en revanche, elle est maximale en hiver en eau douce. Le calcul du rapport AGI/AGS donne des valeurs supérieures à 1 au niveau des deux sites ; ce qui montre que la chair de l'anguille est riche en acide insaturés (surtout celle du lac Tonga au printemps).

Mots clés : *Anguilla anguilla*, eau douce ; eau saumâtre ; biométrie ; qualité nutritionnelle ; saisons.

Summary:

This study focuses on the European eel *Anguilla Anguilla* populates a freshwater lake (Lake Tonga) and brackish water (the lagoon El Mellah) that exists in the National Park of El Kala (PNEK). This work includes two parts: the first deals with the structure, the state of overweight and parasitism of each body of water eel population fractions and the second door on the nutritional quality of eels and seasonal variations macronutrients encountered.

Our results show that over 75% of number eels caught in both lakes have a size between 37 and 57 cm and the eels of the two bodies of water show their best overweight status (physical condition) in autumn and in winter. We note an increase in proportions of crustaceans and fishes and lower proportions of the plants and insects with increasing the size of eels. Regarding the relative growth of eels, we note in fresh water, the existence of minorant allometric for both Tonga population fraction, and brackish water, minorante allométric for sample cycle I and majorant for the cycle II. The study shows that parasitic signs of past infection by *A. crassus*, are raised in eels of two bodies of water due to the presence of lesions of the walls without the presence of worms in the lumen of the bladder; Therefore the actual infection rate eels are higher and this parasite poses a significant risk to the stock of eel in 2 lakes. The results of the statistical analysis show that, pests encountered seem to be influenced by temperature, suspended solids, pH and salinity.

The results of the analysis of different macronutrients showed the registered total lipid levels are between 19.4 ± 0.20 for eel from Lake Tonga and $22.15 \pm 0.11\%$ for the Lagoon El Mellah with maximum obtained in winter with it. However, it is in spring that the maximum levels of protein, ash, moisture and carbohydrates are noted in the two lakes. Eel Lake Tonga shows a nutritional advantage over that of the lagoon because it is richer in these macronutrients. The results of the qualitative study of lipids by gas chromatography show the presence in the muscle of eels caught in both lakes, 15 of saturated fatty acids and unsaturated fatty acids 7; from saturated fatty acids (SFA), palmitic acid and stearic acid are the most represented; palmitic acid content reaches its maximum (21.52%) in eel from El Mellah lagoon in winter. As regards the unsaturated fatty acids (UFA), they comprise four monounsaturated fatty acids (MUFA) and three polyunsaturated fatty acids (PUFA); the majority is oleic acid and the maximum level is reached in winter with eel El Mellah and spring in eels from Lake Tonga. As for omega 6 and 3, their content does not undergo lagoon environment seasonal effect but on the other hand, it is maximum in winter in freshwater. Calculating the ratio AGI / AGS give values greater than 1 at two sites; which shows that the flesh of the eel is rich in unsaturated acid (especially that of Lake Tonga in spring).

Keywords: *Anguilla Anguilla*, freshwater; brackish water; biometrics; nutritional quality; seasons.

ملخص

تركز هذه الدراسة على الحنكليس الأوروبي الموجود ببحيرة المياه العذبة (بحيرة تونغغا) والمياه المالحة (بحيرة الملاح) المتواجدين في الحديقة الوطنية للقالا التي تعد كمنطقة رطبة . ويشمل هذا العمل قسامين: الأول يتناول هيكل، زيادة الوزن والطفيليات والقسم الثاني على الجودة الغذائية للانقليس والتغيرات الموسمية للمغذيات الرئيسية التي تحتويها.

نتائجنا تظهر أن أكثر من 75% من الأنقليس ذات حجم بين 37 و 57 سم و تظهر أفضل ما لديهم من حالة زيادة الوزن في الخريف والشتاء. نلاحظ زيادة في نسب القشريات والأسمك ونسب أقل من النباتات والحشرات مع زيادة حجم الانقليس. وفيما يتعلق النمو النسبي للانقليس ، في المياه العذبة نلاحظ وجود قياس التنامي أقل في تونغغا ، *allométrie minorante* والمياه المالحة لعينة الدورة الأولى والحد الأعلى بالنسبة للدورة الثانية *allométrie majorante*. للمياه المالحة أيضا. وتشير الدراسة إلى أن علامات العدوى الطفيلية من قبل *A. crassus* كراسوس تسبب جروح في غشاء المتانات الغازية. وبالتالي فإن معدل الإصابة الفعلية أعلى وهذا الطفيلي يشكل خطرا كبيرا على مخزون الحنكليس في البحيرات. أظهرت نتائج التحليل الإحصائي أن الطفيليات، والآفات التي تواجهها في المياه يبدو أنه يخضع لتأثير درجة الحرارة، المواد الصلبة العالقة، ودرجة الحموضة والملوحة.

أظهرت نتائج تحليل المغذيات المختلفة مجموع مستويات الدهون المسجلة ما بين 0.20 ± 19.4 لانقليس البحر لبحيرة تونغغا و 22.15 ± 0.11 في الملاح مع أقصى حد في الشتاء . ومع ذلك، نسجل في الربيع أقصى مستويات البروتين، الرماد، الرطوبة والكاربوهيدرات و في البحيرتين. يظهر انقليس بحيرة تونغغا ميزة غذائية اكبر لأنه غني بالسكريات. وتشير نتائج الدراسة النوعية من الدهون في عضلة هذا الأخير الى وجود 15 من الأحماض الدهنية المشبعة والأحماض الدهنية غير المشبعة 7؛ من الأحماض المشبعة الدهنية، (AGS)، حمض البالمتيك *l'acide palmitique* و حمض الستيرايك *l'acide stéarique* حمضيين دهنيين الأكثر تمثيلا. محتوى حمض البالمتيك يصل حده الأقصى (21.52%) في بحيرة الملاح في فصل الشتاء. وفيما يتعلق الأحماض الدهنية غير المشبعة (AGI)، فإنها تضم أربعة احماض غير المشبعة الاحادية الدهنية (AGMI) وثلاثة أحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة (AGPI)؛ الأغلبية هي حمض الأوليك وصلت إلى الحد الأقصى في فصل الشتاء لانقليس الملاح وفي الربيع لانقليس بحيرة تونغغا. أما بالنسبة اوميغا 6 و 3 فمضمونها لا يخضع لتأثير الموسمي ولكن من ناحية أخرى، الحد الأقصى سجل في فصل الشتاء في المياه العذبة. حساب نسبة AGI/AGS تعطي القيم أكبر من 1 في الموقعين. مما يدل على ان الحنكليس غني بالاحماض غير المشبعة (وخاصة بحيرة تونغغا في الربيع).

كلمات البحث: أنغليا أنغليا، المياه العذبة. المياه المالحة. القياسات الحيوية. الجودة الغذائية. مواسم.

Listes des figures

N°	Titre	Page
1	Distribution géographique et aire de reproduction de l'anguille européenne (Migado, 2005).	11
2	Larve leptocephale (Acou, 2006).	15
3	Civelle de l'anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i>) phase de pénétration en estuaire (INRA, 2005).	16
4	Anguilles jaunes (Baisez, 2009).	18
5	Anguille argentée « <i>Anguilla anguilla</i> » (photo. Ladjama, 2010)	20
6	Cycle biologique de l'Anguille européenne (Alain et Coralie, 2013).	22
7	Représentation schématique de <i>Bothriocephalus claviceps</i> (A-C:scolex, D: proglottis mature, E-F:proglottis gravides, G:organe génital) (Scholz, 1997).	26
8	Larve de second stade (L2) : A : L2 entourée de la cuticule de l'œuf ; B : L2 libre (d'après Blanc et <i>al.</i> , 1992).	30
9	Larve de 4 ^{ème} stade (L4) (d'après Blanc et <i>al.</i> , 1992).	31
10	Représentation schématique d' <i>A. crassus</i> adulte	31
11	Forme Cis et Trans	37
12	Exemples	37
13	(a, b) : Structure chimique de l'acide linoléique (oméga 3) et de l'acide linoléique (Oméga 6)	38
14	Voies métaboliques de conversion des acides linoléique et alpha-linoléique alimentaires en leurs acides gras polyinsaturés à longue chaîne	45
15	Carte représentant le Park. National d'El kala (PNEK 2009).	51
16	Carte générale du lac Tonga (source M.P.R.H. 2004).	52
17	Ph photographie de la flore présente dans le lac Tonga (PNEK 2009)	53
18	Photographie de la faune présente dans le lac Tonga (PNEK 2009)	53
19	Carte générale de la lagune El Mellah (source M.P.R.H. 2004).	54
20	Photographie du chenal de la lagune El Mellah (PNEK 2009).	55
21	Photographie de la flore présente dans la lagune El mellah (PNEK 2009).	56
22	Photographie de la bordigue de la lagune El Mellah (P.N.E.K., 2009).	56
23	Nasse utilisée pour la capture des anguilles.	57
24	Pesée de l'anguille (photo de gauche) ; mesure de la taille (photo de droite) (Ladjama, 2013)	61
25	Ouverture de la cavité générale : vue sur les organes internes (Ladjama, 2013).	62

26	Boîte de Pétri contenant le tube digestif, le foie et les gonades ; vessie natatoire toujours en place chez une anguille argentée (Ladjama, 2013).	62
27	Proies rencontrées dans l'estomac d'anguille : crustacés (photo de gauche) et poisson (photo de droite) (Ladjama, 2013).	63
28	Cestode parasite <i>B. claviceps</i> présent dans les intestins de l'anguille (Ladjama, 2013).	63
29	Prélèvement de la vessie natatoire d'une anguille argentée (Ladjama, 2013)	63
30	Vessie natatoire d'anguille présentant une paroi opaque (photo de gauche), présence de nématodes parasites (photo de droite) (Ladjama, 2013).	64
31	Photographie montrant des vers nématodes hors de la vessie ; noter l'état hémorragique de la paroi avec présence de bulles de gaz (Ladjama, 2013)	64
32	Présence d'un poisson dans le tube digestif d'une anguille capturée (Tahri, 2011).	66
33	Protocole d'extraction des glucides, protéines et lipides totaux	69
34	Distribution des classes de taille des anguilles capturées dans la lagune El Mellah	79
35	Variation mensuelle des tailles moyennes des anguilles de la lagune (cycle I et II).	79
36	Distribution des classes de taille des anguilles capturées dans le lac Tonga	80
37	Variation mensuelle des tailles moyennes des anguilles du lac Tonga (cycle I et II).	81
38	Distribution des classes de poids des anguilles capturées dans la lagune El Mellah	82
39	Variation mensuelle des poids moyens des anguilles de la lagune (cycle I et II).	83
40	Distribution des classes de poids des anguilles capturées dans le lac Tonga	84
41	Variation mensuelle des poids moyens des anguilles du lac Tonga.	85
42	Variation mensuelle de l'indice de condition de la fraction de population d'anguilles de la lagune (cycle I et cycle II).	86
43	Variation saisonnière de l'indice de condition de la fraction de population d'anguilles de la lagune (cycle I et II).	87
44	Variation mensuelle de l'indice de condition de la fraction de population d'anguilles du lac Tonga (cycle I et II).	88
45	Variation saisonnière de l'indice de condition de la fraction de population d'anguilles du lac Tonga (cycle I et II).	88
46	Relation taille / poids chez les anguilles du Mellah (cycle I).	89
47	Relation taille / poids chez les anguilles du Mellah (cycle II).	89

48	Relation taille / poids chez les anguilles du Tonga (cycle I).	90
49	Relation taille / poids chez les anguilles du Tonga (cycle II)	90
50	Evolution mensuelle du coefficient de vacuité chez les anguilles des deux plans d'eau durant les deux cycles d'étude	92
51	Evolution du coefficient de vacuité en fonction de la classe de taille des anguilles.	93
52	Proportions des proies ingérées par les anguilles des différentes classes de taille (lagune El Mellah)	95
53	proportions des proies ingérées par les anguilles des différentes classes de taille (lac Tonga).	96
54	Pourcentage en nutriments du muscle de l'anguille des deux plans d'eau pour la saison d'hiver. (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, *** : $p \leq 0,001$)	99
55	Pourcentage en nutriments exprimé en % du muscle de l'anguille des deux plans d'eau pour la saison du printemps. (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, ***: $p \leq 0,001$).	99
56	Pourcentage en nutriments du muscle de l'anguille du lac Tonga pour les deux saisons (hiver-printemps). (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, *** : $p \leq 0,001$)	100
57	Pourcentage en nutriments du muscle de l'anguille de la lagune El mellah pour les deux saisons (hiver-printemps). (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, ***: $p \leq 0,001$).	101
58	Composition en acides gras (%) : Saturés (Σ AGS), insaturés (Σ AGIS), mono-insaturés (Σ AGMI), Σ n-6, Σ n-3, dans le muscle de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah pour le cycle II : (a) hiver/ (b) Printemps. (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, *** : $p \leq 0,001$)	110
59	Composition en acides gras (%) : Saturés (Σ AGS), insaturés (Σ AGIS), mono-insaturés (Σ AGMI), Σ n -6, Σ n -3, dans le muscle de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah pour le cycle II (2014) : (a)Tonga : hiver-Printemps /(b) El mellah : Hiver-Printemps. (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, N.S : $p > 0,05$, *** : $p \leq 0,001$)	111
60	Taux d'infestation des parasites recensés chez les anguilles capturées dans les deux plans d'eau.	113
61	Intensité d'infestation des parasites recensés chez les anguilles capturées dans les deux plans d'eau.	114
62	Abondance des parasites recensés chez les anguilles provenant des deux plans d'eau.	115
63	Distribution mensuelle des prévalences d' <i>A. crassus</i> chez les anguilles provenant des deux plans d'eau	117
64	Distribution mensuelles des intensités moyennes d'infestation par <i>Anguillicola</i>	118

	<i>crassus</i> chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.	
65	Distribution mensuelles des abondances d' <i>Anguillicola crassus</i> chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.	119
66	Distribution mensuelle des prévalences de <i>Bothriocephalus claviceps</i> chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.	121
67	Distribution mensuelle des intensités moyennes d'infestation par <i>B. claviceps</i> chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.	122
68	Distribution mensuelle des abondances de <i>Bothriocephalus claviceps</i> chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.	123
69	Répartition du taux d'infestation par <i>Anguillicola crassus</i> en fonction de la taille des anguilles.	125
70	Répartition des charges de l'infestation par <i>Anguillicola crassus</i> en fonction de la taille des anguilles peuplant le lac Tonga	126
71	Répartition des charges de l'infestation par <i>Anguillicola crassus</i> en fonction de la taille des anguilles peuplant la lagune El Mellah	127
72	Répartition du taux d'infestation par <i>Bothriocephalus Claviceps</i> en fonction de la taille des anguilles	128
73	Répartition des charges d'infestation de <i>B. Claviceps</i> en fonction de la taille des anguilles peuplant le lac Tonga	129
74	Répartition des charges d'infestation de <i>B. Claviceps</i> en fonction de la taille des anguilles peuplant la lagune El Mellah	130
75	états de la vessie natatoire (Ladjama, 2009).	133
76	Proportions des vessies lésées (VNL) et des vessies saines (VNS) chez les anguilles du lac Tonga (cycle I).	134
77	Proportions des vessies lésées (VNL) et des vessies saines (VNS) chez les anguilles du lac Tonga (cycle II).	134
78	Proportions des vessies saines parasitées (VNSP) et non parasitées (VNS) chez les anguilles du lac Tonga (cycle I)	135
79	Proportions des vessies saines parasitées (VNSP) et non parasitées (VNS) chez les anguilles du lac Tonga (cycle II)	135
80	Proportions des vessies lésées parasitées (VNLP) et non parasitées (VNL) chez les anguilles du lac Tonga (cycle I)	136
		136

81	Proportions des vessies lésées parasitées (VNLP) et non parasitées (VNL) chez les anguilles du lac Tonga (cycle II)	
82	Proportions des vessies lésées (VNL) et des vessies saines (VNS) chez les anguilles de la lagune (cycle I).	139
83	Proportions des vessies lésées (VNL) et des vessies saines (VNS) chez les anguilles de la lagune (cycle II).	139
84	Proportions des vessies lésées non parasitées (VNL) et parasitées (VNLP) chez les anguilles de la lagune El Mellah (cycle I).	140
85	Proportions des vessies lésées non parasitées (VNL) et parasitées (VNLP) chez les anguilles de la lagune El Mellah (cycle II).	140
86	Analyse en Composante Principale basée sur la variation inter saison des paramètres biotiques (relatifs à <i>A. crassus</i>) et abiotiques au niveau du lac Tonga. Plan factoriel (1-2).	144
87	Analyse en Composante Principale basée sur la variation inter saison des paramètres biotiques (relatifs à <i>B. claviceps</i>) et abiotiques au niveau du lac Tonga. Plan factoriel (1-2).	146
88	Corrélogramme (corrplot) présentant les corrélations entre les 7 paramètres biotiques et abiotiques (<i>A. crassus</i> à gauche et <i>B. claviceps</i> à droite) rencontrés dans le lac Tonga.	147
89	Analyse en Composante Principale basée sur la variation inter saison des paramètres biotiques (relatifs à <i>A. crassus</i>) et abiotiques au niveau de la lagune El Mellah. Plan factoriel (1-2).	148
90	Corrélogramme (corrplot) présentant les corrélations entre les 7 paramètres biotiques et abiotiques (<i>A. crassus</i> à gauche et <i>B. claviceps</i> à droite) rencontrés dans la lagune El Mellah.	149

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	L la classification de l'anguille européen	09
02	Caractéristiques comparatives (Coudre, 2002)	10
03	Relevé bibliographique des localités et des hôtes dans lesquels <i>Bothriocephalus claviceps</i> a été signalé.	27
04	Catégories de lipides et exemples (Fahy <i>et al.</i> , 2005).	36
05	Les acides gras saturés courants dans les graisses et les huiles alimentaires .Rapport nutrition	39
06	Les acides gras mono-insaturés Cis courants dans les graisses et les huiles (Rapport nutrition)	40
07	Sources d'EPA et de DHA dans chez les poissons D. Brasseur	42
08	Les acides gras polyinsaturés (PGPI) famille oméga n- 3 importants en nutrition (Rapport nutrition)	43
09	Les acides gras polyinsaturés (PGPI) famille oméga n-6 importants en nutrition (Rapport nutrition)	44
10	Composition biochimique de la chair de quelques espèces de poissons les plus courants pour 100 g: www.nutraqua.com	48
11	Liste et abondance des espèces pêchées dans la lagune El Mellah (source M.P.R.H. 2004).	58
12	Réalisation de la gamme d'étalonnage pour le dosage des glucides totaux	70
13	Réalisation de la gamme d'étalonnage pour dosage des protéines totales	71
14	Gamme d'étalonnage des lipids	72
15	Variation saisonnière inter- sites des paramètres biochimiques du muscle de l'anguille du lac Tonga et lagune El Mellah Moyenne. \pm ES ; n = 15/site	98
16	Variation saisonnière intra- site des paramètres biochimiques du muscle de l'anguille du lac Tonga et lagune El Mellah Moyenne. \pm ES ; n = 15/site	100
17	Identification des acides gras dans le muscle de l'anguille du lac Tonga et la lagune EL Mellah par CPG-FID pour les deux saisons (Hiver et printemps).	102
18	Variation saisonnière intersites du % d'Acides gras de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah pour le cycle 2 (Hiver-Printemps). Moyenne \pm ES; n = 15/site.	105
19	Variation saisonnière intrasite du % d'Acides gras de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah pour le cycle 2 (Hiver-Printemps). Moyenne \pm ES ; n = 15/site.	106
20	Proportion des endoparasites recensés chez les anguilles peuplant les deux plans d'eau	112

21	Distribution spatio-temporelle des indices parasitaires <i>d'Anguillicola crassus</i>	116
22	Distribution spatio-temporelle des indices parasitaires de <i>Bothriocephalus claviceps</i> chez les anguilles peuplant les deux plans d'eau pour le cycle I et II.	120
23	états des vessies natatoires des anguilles capturées dans les deux sites d'étude	132
24	Etat des vessies natatoires des anguilles capturées mensuellement dans le lac Tonga durant le cycle I	137
25	Etat mensuelle des vessies natatoire des anguilles capturées dans le lac Tonga pour le cycle II	138
26	Etat mensuelle des vessies natatoires des anguilles capturées dans la lagune El mellah pour le cycle I.	141
27	Etat mensuelle des vessies natatoires des anguilles capturées dans la lagune El mellah pour le cycle II.	142
28	Répartition mensuelle des paramètres physicochimiques des eaux du lac Tonga.	143
29	Répartition mensuelle des paramètres physicochimiques des eaux de la lagune El. Mellah	147

Sommaire

Résumé	
Introduction	1
(1)- rappels bibliographiques	
1.1. L'anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i> L)	8
1.1.1. Classification	8
1.1.2. Morpho-anatomie	9
1.1.3. Aire de répartition	11
1.1.4. Ecologie	12
1.1.5. Cycle biologique	14
1.2. Les endoparasites rencontrés	22
1.2.1. Les cestodes	22
1.2.2. les nématodes	27
1.3. Composition chimique de la chair du poisson	33
1.3.1 L'eau contenue dans la chair	33
1.3.2. Les protéines	33
1.3.3. les glucides	34
1.3.4. les lipides	35
1.3.4.1. Définition et classification des lipides	35
1.3.4.2. Nomenclatures des acides gras	36
1.3.4.3. Les différents acides gras alimentaires et aspect nutritionnel	38
1.4. Composition de la chair de poissons et facteurs de variation	46
1.4.1. composition	46
1.4.2. Facteurs de variation	49
2-Matériels et méthodes	
2.1. Zone d'étude	51
2.1.1. Le lac Tonga	51
2.1.2. la lagune El mellah	54

2.2. Modèle biologique « <i>Anguilla anguilla</i> »	59
2.3. Méthodes d'étude	61
2.3.1. Protocole d'étude des endoparasites et du régime alimentaire	61
2.3.2. Indices parasitaires	65
2.3.2. Etude du régime alimentaire	66
2.3.4. Croissance de la fraction de population examinée	67
2.3.5. Paramètres physicochimiques	67
2.3.6. Extraction et dosage des : Lipides, Glucides, Protéine	68
2.3.7. Analyse qualitative et quantitative de la composition en acides gras	72
2.3.7.1. Extraction des lipides au Soxhlet	72
2.3.7.2. Analyse qualitative et quantitative des acides gras par CPG –FID	74
2.3.8. Détermination de la teneur en eau	76
2.3.9. Détermination de la teneur en cendres	76
2.3.10. Analyses statistiques	77
(3)-Résultats	
3.1. Structure des fractions de population d'anguilles	78
3.1.1. Distribution des tailles des anguilles	78
3.1.2. Distribution des poids des anguilles	81
3.1.3. Indice de condition K	86
3.1.4. Croissance corporelle des anguilles	89
3.2. Etude du régime alimentaire des anguilles	91
3.2.1. Coefficient de vacuité (Cv%)	91
3.2.2. Variation du coefficient de vacuité en fonction de la taille de l'anguille	92
3.2.3. Fréquences d'apparition des proies (F%)	94
3.3. cratérisation biochimique	97
3.3.1. Macronutriments : lipides, protéines, hydrate de carbone, cendre et humidité	97
3.3.2 Composition en acide gras et variation saisonnière	101
3.4. Proportions des endoparasites recensés (Parasitisme)	112
3.4.1. Répartition spatiale des indices parasitaires globaux	113
3.4.2. Distribution spatio-temporelle des indices parasite des espèces recensées	116
3.4.1.1. L'espèce <i>Anguillicola crassus</i>	116
3.4.1.2. L'espèce <i>Bothriocephalus claviceps</i>	120
3.4.3. Distribution des indices parasitologiques en fonction de la taille de	

l'anguille	124
3.4.3.1. L'espèce <i>Anguillicola crassus</i>	124
3.4.3.2. L'espèce <i>Bothriocephalus claviceps</i>	127
3.5. Etat de la vessie natatoire	131
3.5.1. Impact d' <i>Anguillicola crassus</i> sur l'anguille européenne.....	133
3.6. Analyse statistique	143
3.6.1. Dans le lac Tonga.....	143
3.6.2. Dans la lagune El Mellah	147

(4)-discussion

Conclusion et perspectives	173
Références bibliographiques	176
Annexe	

Introduction

Selon la FAO (2014), contrairement à la pêche qui stagne autour de 90 millions de tonnes par an, l'aquaculture mondiale connaît une croissance annuelle de près de 8,6 % ; ce qui est bien supérieur à la croissance de la production animale terrestre. Toujours selon la FAO (2014), durant l'année 2012, la production mondiale de poissons de consommation, issus de l'aquaculture, a atteint 66,6 millions de tonnes parmi les 158 millions de tonnes produites au total entre les pêches de capture et l'aquaculture.

L'Algérie se distingue parmi les pays méditerranéens par sa très faible production en produits de la pêche (< 3 million de tonnes). Bien que le ratio alimentaire soit passé de 3,02 en 1999 à 5,4 kg/hab/an en 2010 (FAO, 2012), cela reste bien en dessous de la moyenne mondiale, qui a été estimée en 2012 à 19,2 kg/hab/an (FAO, 2014) et qui ne cesse d'augmenter. Cette situation a poussé le gouvernement algérien à mettre en place certaines mesures en vue d'augmenter la production de poissons issus aussi bien des captures que de l'aquaculture.

Les qualités nutritionnelles ou diététiques sont principalement liées à la composition de la chair. Du point de vue de la nutrition humaine, les poissons constituent une source en protéines de valeur biologique élevée (couvrant actuellement près de 20% de l'apport protéique), en minéraux (en particulier le phosphore et l'iode) et en vitamines comme la vitamine D. Elle contient une grande quantité d'acides gras polyinsaturés (AGPLI) à longue chaîne de la série n-3 tels que l'acide eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA).

L'effet bénéfique d'un apport régulier en AGLPI de la série n-3 sur la santé humaine commence à être bien démontré (Fontagné-Dicharry & Médale, 2010). Les AGLPI n-3 comme l'EPA et le DHA sont impliqués dans diverses actions connues : amélioration de la fluidité membranaire, diminution de l'agrégation plaquettaire et, par conséquent, diminution des maladies cardiovasculaires, augmentation de la résistance immunitaire et à la cancérogenèse (Simopoulos, 2001). Ces acides gras sont importants aussi pour la vision et le développement cérébral, on considère même qu'ils ont joué un rôle dès l'origine de l'humanité (Broadhurst, 1998 ; Crawford *et al.*, 1999).

La qualité de la chair de poisson peut se définir selon différents critères (la valeur nutritionnelle, la qualité sanitaire et microbiologique, la fraîcheur et les caractéristiques physiques et organoleptiques) et les composantes de la qualité sont sous la dépendance de multiples facteurs génétiques, environnementaux ou encore nutritionnels. En ce qui concerne

la qualité nutritionnelle et organoleptique de la chair de poisson, l'alimentation joue un rôle prépondérant.

En effet, il est courant de considérer que les poissons issus de l'aquaculture sont généralement plus gras que les poissons sauvages (Haard, 1992; Sérot *et al.*, 1998). Les réserves lipidiques des poissons varient dans les tissus selon l'âge, l'état physiologique, la saison et l'espèce. Ces dépôts lipidiques sont directement impliqués (1) dans la qualité nutritionnelle car les poissons possèdent une richesse en acides gras polyinsaturés (AGPI) de la série n-3 ; (2) dans la qualité organoleptique de la chair, au niveau de la coloration, de la texture et ou encore de la flaveur (Borresen, 1992) ; (3) dans la stabilité *post-mortem* de la chair telle que la peroxydation des lipides et dans l'aptitude à la transformation (Corraze *et al.*, 1996).

De plus, les poissons riches en graisses sont reconnus, contrairement à la viande, comme favorables à la santé humaine en raison de leur richesse en AGPI à longue chaîne de la série n-3 (Fontagné-Dicharry & Médale, 2010).

Contrairement aux animaux terrestres, les lipides d'origine aquatique contiennent une proportion importante d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne de la série n-3. Cette prédominance, encore plus importante en milieu marin, est due à la forte concentration d'acides gras polyinsaturés (n-3) dans le phytoplancton (Sargent *et al.*, 1989) ; la composition en acides gras étant le reflet de celle des lipides alimentaires (Reinitz, 1981; Watanabe, 1982; Henderson et Tocher, 1987). Comme les poissons se situent à niveau trophique élevé, la composition en acides gras des lipides neutres des poissons reflète bien cette particularité. La composition des phospholipides reste à peu près constante et se caractérise par une proportion d'acides gras n-3 à longue chaîne très élevée (Henderson et Tocher, 1987).

La composition de la chair de poisson varie selon les espèces. Cependant, au sein d'une même espèce, la teneur en lipides est sous l'influence de différents facteurs tels que l'origine génétique, l'âge et le poids du poisson ou encore le cycle sexuel. Chez les salmonidés, l'origine génétique influence la teneur en lipides du muscle (Gjedrem, 1983; Austreng et Krogdahl, 1987; Fauconneau et Laroche, 1995). Lorsque l'âge du poisson augmente, un accroissement des dépôts lipidiques est observé ; ce dernier est corrélé à une diminution de la teneur en eau alors que la teneur en protéines reste constante (Reinitz, 1983; Henderson et Tocher, 1987). Durant la maturation sexuelle, une partie des réserves lipidiques est utilisée pour la fabrication des gamètes, en particulier chez les femelles (Aksnes, 1986). Une forte

mobilisation des réserves lipidiques de la carcasse et des viscères est observée chez la truite arc-en-ciel femelle pour la formation des oeufs (Nassour et Léger, 1989). Après la ponte, les animaux reconstituent leurs réserves lipidiques corporelles. Les variations de la teneur en lipides dues à la maturation sexuelle seront encore plus importantes chez les poissons anadromes et les poissons catadromes car elles s'accompagnent d'une migration entraînant une forte dépense d'énergie (Henderson et Tocher, 1987).

La composition de la chair des poissons dépend du régime alimentaire. Chez la plupart des espèces, la teneur en lipides et la composition en acides gras du poisson sont corrélées avec l'incorporation de lipides dans les régimes alimentaires (Takeuchi *et al.*, 1978; Cowey, 1993). En effet, l'augmentation de la teneur en lipides dans les aliments entraîne une augmentation des lipides de la chair en relation avec une diminution de la teneur en eau en particulier chez les espèces stockant une proportion importante de lipides dans le muscle (Watanabe, 1982). En général, la nature des lipides alimentaires (origine marine ou végétale) n'influence pas la teneur lipidique du poisson (Arzel *et al.*, 1994), mais affecte, en revanche, la composition en acides gras de la chair (Thomassen et Rosjo, 1989; Arzel *et al.*, 1994) car la composition en acides gras du poisson (surtout des lipides neutres) est le reflet de la composition en acides gras des aliments (Watanabe, 1982 ; Sargent et Tacon, 1999). En général, lors d'une période de jeûne, le poisson consomme tout d'abord les réserves en glycogène qui sont faibles, ensuite les réserves lipidiques et enfin protéiques. La diminution des réserves lipidiques est due principalement à une mobilisation des triglycérides (Takeuchi et Watanabe, 1982).

Les facteurs environnementaux (la température, la salinité, l'oxygénation, ...) vont influencer de manière directe mais surtout indirecte la composition de la chair de poisson. En effet, selon la saison, des variations en particulier des teneurs en eau et en lipides du poisson dues aux fluctuations de température et aux changements alimentaires (géographiques ou ontogéniques) vont apparaître. Une augmentation de la teneur lipidique de la truite arc-enciel est observée pour une élévation de la température de l'eau en raison d'une consommation d'aliments plus importante (Brauge *et al.*, 1995b). La composition en acides gras de la chair est influencée par la température du fait du caractère poïkilotherme des poissons. Une augmentation de la teneur en AGPI et une diminution des AG saturés dans les phospholipides des membranes sont observées lorsque la température diminue (Greene et Selivonchick, 1987). Une augmentation de la salinité induit un enrichissement en AGPI en particulier en DHA dans les phospholipides des branchies chez le saumon atlantique (Takeuchi *et al.*, 1989). De même, la salinité influence la composition en acides aminés libres (Kaushik et

Luquet, 1997). Selon El Oudiani et Missaoui (2013) la baisse de salinité de l'eau serait à l'origine d'une augmentation du rapport AGI/ AGS résultant de l'importante utilisation d'acides gras saturés ou d'une importante biosynthèse de AGMI ou d'acides gras insaturés ; dans tous les cas une faible salinité semble favoriser une plus grande insaturation d'acides gras. Si la quantité d'oxygène du milieu diminue, une augmentation de la teneur en glycogène entraîne une variation du pH *post-mortem* dans le muscle (Haard, 1992). Toutes ces variations dues aux facteurs environnementaux seront importantes chez les poissons sauvages.

Dans le cadre de cette thèse nous nous sommes intéressés à l'anguille car c'est un poisson de haute valeur marchande dont la demande est très élevée dans les marchés européens et asiatiques ; En revanche, elle n'est pas très appréciée par le consommateur algérien. D'autre part, ce poisson est classé comme poisson gras avec un taux de lipides pouvant atteindre 20% dans le muscle quand il est en phase argentée (Larsson *et al.*, 1980). En outre, sa composition en acides gras est relativement riche en acides gras poly-insaturés de la famille n-3, notamment le DHA et l'EPA qui ont des effets bénéfiques pour la santé humaine (Lauritzen *et al.*, 2001).

En Algérie, la région d'El Kala, dispose d'une grande zone de pêche et de potentialités hydriques naturelles appréciables telles que le complexe de zones humides du PNEK qui abrite la lagune El Mellah, le lac Oubeira et le lac Tonga. La pratique de la pêche de l'anguille dans ces trois plans d'eau a débuté depuis déjà quelques décennies ; La production annuelle moyenne signalée 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, 2012).

Les données FISHSTAT pour la zone CGPM montrent que la production méditerranéenne a suivi la tendance mondiale, diminuant de 4000 à 5000 tonnes par an durant les années 1980 jusqu'à 1000 tonnes en 2000 et 700 tonnes en 2007. L'anguille est maintenant listée dans le Livre 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).

Selon de nombreux auteurs les causes évoquées pour la diminution des stocks d'anguilles sont :

(1) l'effet des xénobiotiques qui provoque la diminution des capacités de reproduction, de migration et de résistance aux stress (Bruslé, 1990; Couillard et *al.*, 1997; Robinet et Feunteun, 2002; Yamaguchi et *al.*, 2003) ;

(2) l'installation de nombreux obstacles à la migration (Moriarty et Dekker, 1997; McCleave, 1998) ; disparition de grandes surfaces d'habitats continentaux ;

(3) le risque de surpêche, avéré sur certains hydrosystèmes (Ciccotti, 1997; Dekker, 2000b);

(4) une augmentation de la mortalité naturelle avec l'explosion démographique de certains prédateurs suite à leur protection totale comme les populations de hérons (*Ardea sp.*) et de cormorans (*Phalacrocorax sp.*) depuis une vingtaine d'années (Feunteun et Marion, 1994; Adam, 1997)

(5) enfin les infestations parasitaires étant donné que l'anguille offre la particularité d'héberger un grand nombre de parasites ; il est rapporté la présence de 46 espèces de parasites dans les anguilles d'un lac danois (Koie, 1988 a et b).

Le parasitisme est très certainement l'une des causes principales du déclin. En effet depuis le début des années 1980 les populations locales d'anguille européenne montrent des taux d'infestation variant de 30% à 100% par *Anguillicoloïdes crassus*, un nématode parasite sanguin originaire d'Australie et d'Asie du sud-est où il parasite sans dommage l'anguille japonaise *Anguilla japonica*. Ce parasite est apparu en Italie au début des années 1980, en 1982 en Allemagne et en 1984 dans les lagunes du littoral méditerranéen français. Au début des années 1990 il est signalé dans les eaux continentales nord africaines. Selon Palstra. (2007) les lésions de la vessie gazeuse ne sont significatives que si l'infection est lourde (présence de plus de 5 vers) ; la forte présence de parasites réduirait la taille de la vessie et les lésions de cet organe altéreraient les capacités de nage de l'anguille compromettant ainsi la migration vers la mer des Sargasses. Selon Sures, (1999) les polluants et les parasites pourraient ainsi interagir soit par synergie soit par antagonisme.

Chez l'anguille, Quadroni. (2012) note l'existence d'une corrélation positive entre le poids du parasite, les lésions de la vessie et le niveau d'altération des gonades. Il est rapporté que le nématode est capable d'induire un stress chez l'anguille et d'augmenter le niveau du cortisol plasmatique (Sures *et al.* 2001) qui favoriserait, théoriquement, une augmentation du métabolisme et affecterait l'accumulation d'énergie (Robinet et Feunteun, 2002).

Boetius et Boetius (1980) estiment que le stock de lipides de l'anguille devrait être de l'ordre de 20% du poids du corps afin de supporter le coût de la migration et la production de gamètes ; car selon Van der Thillar et al. (2004) en deçà de 15% les réserves en lipides seraient insuffisantes pour l'atteinte de la mer des Sargasses.

D'après la bibliographie consacrée à l'anguille peuplant les plans d'eau algériens nous notons que la majorité des études traitent de parasitismes ; Les travaux sur l'anguille ont timidement commencé en 1999 (Meddour *et al.*, 1999) et ne se sont poursuivis qu'après 2004, dans le complexe de zones humides du PNEK (Djebbari *et al.*, 2005 et 2009 ; Loucif *et al.*, 2009 ; Boudjadi *et al.*, 2009 ; Djebbari *et al.* 2015 ; Tahri *et al.* 2016 ; Tahri et Bensouilah, 2016).

Vue l'état actuel des recherches effectuées 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 poids, en âges, en sexes, vitesse de croissance, embonpoint et qualité nutritionnelle des individus, niveau de contamination par les polluants, niveau d'infestation par les parasites...)

Ainsi, les fractions de populations d'anguilles argentées du lac Tonga et de la lagune El Mellah seront caractérisées d'un point de vue qualitatif sur la base de critères biométriques (taille, poids, coefficient de condition...), comportement alimentaire, qualité biochimique de la chair, et niveau de contamination par *A. crassus* (ver nématode parasite de la vessie gazeuse) et *Bothriocephalus claviceps* (cestode parasite du tube digestif)

Les objectifs de cette étude sont donc :

- De caractériser la fraction de population d'un plan d'eau douce (lac Tonga) et celle d'un plan d'eau saumâtre (lagune El Mellah) ;
- Suivre les oscillations de la balance métabolique des anguilles à travers l'embonpoint, par le calcul de l'indice de condition K (%);
- L'évaluation du régime alimentaire de l'anguille européenne peuplant les deux plans d'eau;
- Acquérir des données épidémiologiques sur les endoparasites de l'anguille européenne dans les deux plans d'eau et étudier particulièrement l'impact du ver nématode sur la vessie gazeuse.

- d'identifier et de comparer la composition en acides gras du muscle des anguilles argentées femelles provenant de deux plans d'eau (le lac Tonga et la lagune El mellah) afin de dégager les potentialités diététiques pour le consommateur algérien et surtout estimer leur réserve énergétique et leur capacité à atteindre la mer des Sargasses.
- Caractériser les qualités organoleptiques des anguilles de chaque plan d'eau
- Analyser les données par l'application de tests appropriés afin de montrer l'influence de paramètres environnementaux sur l'état des anguilles.

Structure de la thèse

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

Partie 1 : contexte de l'étude : Une présentation générale de la bio-écologie de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* (cycle de vie, reproduction, différentes pathologies et les menaces qui contribuent au déclin de l'anguille *Anguilla anguilla* etc...) et la composition chimique de la chair du poisson et l'importance des lipides dans les différentes phases de sa vie.

Partie 2 : matériel et méthodes : elle comprend un descriptif des sites d'étude, du matériel et des méthodes utilisés pour la réalisation de cette étude.

Partie 3 : résultats : cette partie comprend 5 chapitres présentés comme suit :

- Le chapitre 1 fera l'objet de l'étude de la structure des fractions de populations d'anguilles et leur état d'embonpoint ;
- Le chapitre 2 portera sur l'étude du régime alimentaire des fractions de populations d'anguilles ;
- Le chapitre 3 comprendra l'étude de la caractérisation biochimique de la chair des anguilles capturées dans les deux plans d'eau ;
- Le chapitre 4 traitera du parasitisme des fractions de populations d'anguilles ;
- Le chapitre 5 portera sur l'anguillicolose chez les anguilles des fractions de populations des deux plans d'eau

Partie 4 : discussion générale et conclusion générale.

1. Rappels bibliographiques :

1.1.L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L) :

1.1.1. Classification

Les anguilles font partie de la classe des *Osteichthyens*. Leur stade larvaire (i. e. leptocephale) qui présente une morphologie et des adaptations originales est caractéristique du super ordre des Elopomorphes (Pfeiler, 1999). Les anguilles font partie de la sous-classe des Apodes, de l'ordre des *Anguilliformes* et de la famille des *Anguillidés*. La famille des *Anguillidés* ne comprend qu'un seul genre, comportant, suivant les auteurs, 14 et 19 espèces Indo-pacifiques (Tesch, 1977).

Sur la base des critères morphologiques et génétiques, Watanabe et *al.* (2005) démontrent qu'il existe en fait 15 espèces au niveau mondial. Il existe des controverses quant à leur séparation phylogénétique (Bastrop et *al.*, 2000 ; Aoyama et *al.*, 2001 ; Aoyama, 2003) et leurs aires de ponte ne sont pas toutes localisées avec certitude (Tsukamoto et *al.*, 2003 ; Miller, 2003).

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 et myomères (Tesch, 1977 ; Lecomte-Finiger, 1984). L'espèce majoritairement représentée en Europe, *Anguilla anguilla*, a été décrite par Linné en 1758. L'anguille américaine, *Anguilla rostrata* peut également se rencontrer en Europe, par exemple en Islande (Feunteun et *al.*, 2002).

Les deux espèces Atlantiques occupent l'hémisphère nord ; De plus, elles possèdent des aires de répartition bien distinctes :

- ▶ L'anguille américaine *Anguilla rostrata* (Lesueur, 1817) colonise le Nord-Est du continent américain (du Sud du Groenland au Venezuela). Elle possèderait quelques représentants dans le Nord de l'Europe ;
- ▶ L'anguille européenne *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) est essentiellement localisée dans la partie Ouest de l'Europe.

Tableau 1: Classification de l'anguille européenne

	Termes scientifiques (international)	Descriptif/ caractéristiques succinctes du groupe
Embranchement	Chordata	Animaux à l'organisation complexe définie par 3 caractères originaux : tube nerveux dorsal, corde dorsale, et tube digestif ventral. Il existe 3 grands groupes de Chordés : les Tuniciers, les Céphalocordés et les Vertébrés.
Sous-embranchement	Vertebrata	Chordés possédant une colonne vertébrale et un crâne qui contient la partie antérieure du système nerveux.
Super-classe	Osteichthyes	Vertébrés à squelette osseux.
Classe	Actinopterygii	Ossification du crâne ou du squelette tout entier. Poissons épineux ou à nageoires rayonnées.
Sous-classe	NeopterygiiTeleostei	Poissons à arêtes osseuses, présence d'un opercule, écailles minces et imbriquées.
Super-ordre	Elopomorpha	La larve leptocéphale* se métamorphose en un individu morphologiquement très différent.
Ordre	Anguilliformes	Corps allongé, serpentiforme, nageoires anale et dorsale en continuité avec la caudale, pas de nageoires pelviennes.
Sous-ordre	Anguilloidei	
Famille	Anguillidae	
Genre	<i>Anguilla</i>	
Espèce	<i>anguilla</i>	

1.1.2. Morpho-anatomie :

La forme très particulière, de l'anguille est serpentiforme, allongé cylindrique et recouvert 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. 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 cachée dans les obstacles, à l'abri de la lumière. Les nageoires pelviennes sont absentes, les nageoires caudales, anales et dorsales sont soudées. 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
Dorsales	245 à 275 rayons souples
Anale	205 à 235 rayons souples
Pectorales	17 à 20 rayons
Ventrales	Absentes
Caudale	10 rayons souples
Ligne latérale	recouvre près de 120 vertèbres
Écailles	minuscules et incrustées dans la peau

1.1.3. Aire de répartition

L'anguille européenne possède une aire de répartition extrêmement vaste, séparée en deux régions distinctes, en relation avec le caractère migrateur de cette espèce.

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) ; La répartition des anguilles pendant leur migration de reproduction s'étend depuis l'Europe du Nord via l'océan Atlantique et jusqu'à la mer des Sargasses, au Nord Nord-Est des Antilles. Les larves nouvellement écloses sont portées par le Gulf Stream et par la dérive Nord Atlantique jusqu'à la côte continentale de l'Europe et de l'Afrique du Nord, qui représente l'aire de grossissement. Il est généralement admis que l'anguille européenne constitue un seul stock panmictique (DeLigny et Pantelouris, 1973 ; Tesch, 1977 ; Lintas-Hirano et Archer, 1998).

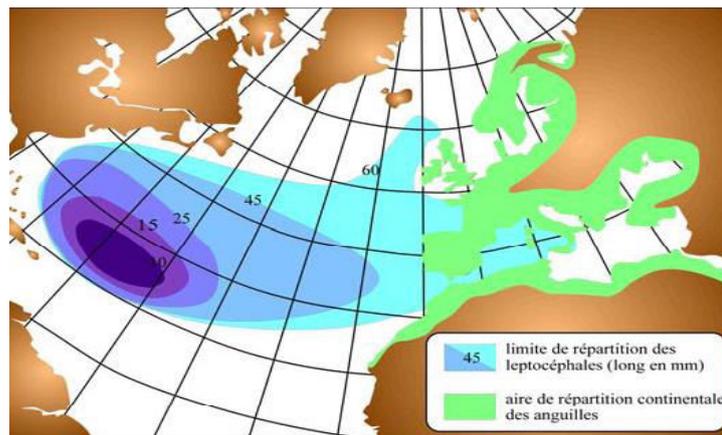


Figure 1 : Distribution géographique et aire de reproduction de l'anguille européenne (Migado, 2005).

L'anguille est un poisson amphihaline thalassotoque ; elle est 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).

1.1.4. Ecologie :

✚ **Capacité de nage** : L'anguille se déplace en nageant (pas très bien) et surtout par reptation, dans les milieux humides. Son activité est plutôt nocturne, elle se cache le jour. Les civelles nagent en moyenne 29 cm/s avec un courant à 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 elles, semblent rejoindre l'aire de ponte avec une vitesse moyenne de 2,7 à 3,9 km/heure.

✚ **Régime alimentaire** : 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 civelle et d'aiguillettes, 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'à 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).

✚ **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 à la mer et l'accessibilité de l'habitat par le réseau hydrographique. L'anguille est un bon indicateur du continuum fluvial piscicole.

Bien que l'anguille européenne soit considérée comme une espèce tempérée, on trouve néanmoins des adultes reproducteurs et des larves nouvellement écloses dans les eaux tropicales de la mer des sargasses, dans les eaux sub-tropicales des Açores, des îles Canaris, de Madère, de la côte Atlantique du Nord-Ouest de l'Afrique et de la côte africaine de la méditerranée, ainsi que dans les eaux arctiques d'Islande, de Jan Mayen et de l'extrême nord de la Norvège (Schmidt, 1909).

En revanche, le rendement élevé de la production et des pêcheries d'anguille dans les eaux tempérées est en contradiction avec les préférences thermiques de l'espèce ; ces dernières se situent entre 10 et 38°C, avec, selon certains auteurs, une température optimale comprise entre 22 et 23°C (Boëtius et Boëtius, 1967 ; Sadler, 1979 ; Dekker, 2003b).

La limite de l'aire de répartition nordique n'est pas nette ; la densité des anguilles diminue progressivement (Dekker, 2003). On considère généralement l'anguille comme une espèce catadrome, c'est-à-dire qui se reproduit en mer, puis migre vers des zones d'eau douce au stade jaune où elle atteint la maturité sexuelle (anguille argentée). On trouve, néanmoins, des anguilles jaunes dans les habitats estuariens et côtiers de toute la zone d'habitat naturel des civelles et des anguillettes; certaines demeurent même dans un habitat marin pendant tout leur cycle biologique (Tsukamoto-Nakai et Tesch, 1998 ; Daverat *et al.*, 2006).

Dans la mer Baltique, Wickström et Westerberg, (2006) rapportent que près de 80% des anguilles restent dans cet habitat marin pendant toute leur vie.

▪ **En conclusion,** 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).

(1) la reproduction, l'éclosion des larves et tous les stades de développement marins s'effectuent dans la zone marine pélagique de l'océan Atlantique,

(2) on trouve les civelles, quelques anguilles jaunes et argentées à tous les stades de développement dans des eaux marines côtières peu profondes,

(3) quelques civelles, des anguillettes, des anguilles jaunes et argentées colonisent et/ou croissent dans des lagunes et des estuaires,

(4) certaines civelles, anguillettes, anguilles jaunes et argentées colonisent et/ou croissent dans des habitats d'eau douce, remontent les ruisseaux et les rivières, puis les étangs, les lacs et les réservoirs où elles peuvent rester pendant plusieurs années jusqu'à leur dernière dévalaison vers l'aire de reproduction. De ce fait, toute destruction d'habitat survenant dans tout type de plan d'eau a un impact négatif sur l'anguille européenne.

✚ **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.

✚ **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.

✚ **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).

1.1.5. Cycle biologique :

L'anguille européenne est une espèce migratrice amphihaline thalassotoque, c'est à dire qu'elle est obligée, pour réaliser son cycle biologique, de vivre en eau saumâtre ou en eau douce et de rejoindre son lieu de reproduction situé en mer.

Le cycle de vie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.) est caractérisé par deux migrations transocéaniques de courte durée par rapport à la phase de croissance continentale, et deux métamorphoses avec, très certainement, une seule et ultime reproduction.

▪ **Stade « œuf »**

La ponte en Mer des Sargasses se déroule en février-mars. La femelle pond jusqu'à 4 millions d'œufs qui sont fertilisés par le mâle. Jamais aucun œuf d'anguillidé n'a été récupéré dans le milieu naturel (Nilo et Frotin, 2001). Les informations disponibles proviennent donc d'expérimentations. Les œufs mesurent en moyenne 1mm après la ponte ; ils ont une forme

ellipsoïdale (Tesch, 1993). Ils sont pélagiques (Tanaka, 2003) mais leur densité par rapport à l'eau de mer est variable. Après la ponte, les adultes meurent.

- **Stades larvaires** : phases de migration transocéanique

L'éclosion commence une quarantaine d'heures après la fécondation (Tanaka, 2003). La longueur des larves à l'éclosion est comprise entre 2,5 et 3,0 mm. La résorption vitelline intervient une dizaine de jours après (Pederson, 2003). L'éclosion des œufs de mars à juillet produit des larves (de 5 à 10 mm) appelées leptocéphales (en forme de "feuille de saule") qui, à tort, ont longtemps été considérées comme une espèce différente, *Leptocephalus brevirostris* (Grassi, 1896). La tête, petite, est comprimée latéralement d'où leur nom (fig. 2). Chez les anguillidés, la queue est arrondie. La longueur des larves capturées varie entre 5 et 80 mm (Schmidt, 1906). Ce stade, commun à tous les élopomorphes, est considéré comme une solution adaptative aux problèmes d'osmorégulation en zone marine (Hulet et Robins, 1989).

La migration transocéanique, depuis l'aire de ponte vers l'aire de répartition continentale, permet de distinguer quatre stades (I à IV) de leptocéphales (Strubberg, 1913). C'est Schmidt (1922) qui a décrit les stades et jugé que la migration est classiquement passive. Toutefois, des études plus récentes concluent à une migration active caractérisée par une nage à l'encontre du courant nord-équatorial pour une partie des individus (Tesch, 1982).

La migration transocéanique varierait alors entre 7 et 11 mois (Lecomte-Finiger, 1992 ; Desauvay et Guerault, 1997) ou 3 ans (Schmidt, 1909 ; McCleave et *al.*, 1998) en fonction des méthodes utilisées pour déterminer l'âge des leptocéphales. Les larves se nourrissent de zooplancton.

Aux abords du talus continental, les larves se métamorphosent en civelles (anguilles non pigmentées), préparant ainsi leur colonisation des eaux continentales.



Figure 2: Larve leptocéphale (Acou, 2006).

- **Stade civelle** : première métamorphose, phase de migration margino-littorale et continentale anadrome

La métamorphose des leptocéphales en civelles (ou pibales «jeunes translucides») intervient en Août-Septembre pour la plupart des individus. Elle s'accompagne d'une forte diminution du poids et de la longueur (Elie, 1979), ainsi que d'importantes modifications morphologiques, physiologiques et comportementales. On assiste entre autres à des transformations (1) au passage d'une forme aplatie à une forme sub-cylindrique identique à celle de l'adulte , (2) à un arrêt de la nutrition, avec la perte des dents caractéristiques de la larve planctonique et la régression du tractus digestif, (3) à une perte d'eau avec une augmentation conséquente de la minéralisation, (4) à un changement dans le fonctionnement du système endocrinien avec une activité accrue de la thyroïde et de l'hypophyse.

Ces civelles, après une courte phase de stabulation dans la zone littorale, entreprennent la remontée des estuaires d'abord par une "migration portée" (Gascuel, 1985) liée à l'utilisation des courants de marée, puis par une "migration nagée" correspondant à une nage active orientée vers l'amont (Gascuel, 1987).

La migration des civelles intervient essentiellement entre Octobre et Avril dans les estuaires du littoral Atlantique. L'entrée des civelles en estuaire est plus longue et plus précoce au sud de l'aire de répartition (octobre pour l'Adour, janvier-février pour la Somme). Au cours de cette phase de colonisation, les transformations amorcées au cours de la métamorphose se poursuivent : l'alimentation et par conséquent la croissance reprennent; la civelle d'abord transparente devient anguillette (Elie et *al.*, 1982).

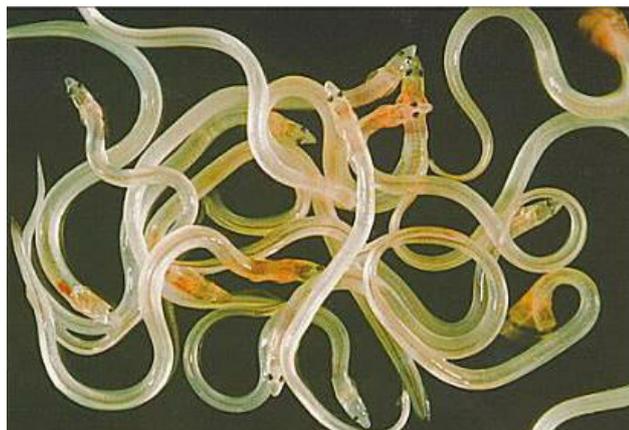


Figure 3 : Civelle de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) phase de pénétration en estuaire (INRA .2005).

- **Stade anguilette:** phase de colonisation des eaux continentales

L'anguilette présente une pigmentation généralisée et correspond au stade VII décrit par Elie et *al.* (1982). Le stade anguilette est très souvent assimilé au stade plus global d'anguille jaune, or, on considère que ce dernier correspond plutôt à une phase de sédentarisation de l'anguille (Laffaille et *al.*, 2005a). En fait, les anguillettes poursuivent leur migration vers l'amont comme en témoignent les observations dans les passes à anguilles (Elie et Rigaud, 1984 ; Moriarty, 1986; Legault, 1987; Laffaille et *al.*, 2000 ; Feunteun et *al.*, 2003). Il est donc nécessaire de distinguer les anguillettes des anguilles jaunes selon ce critère de dynamique migratoire, même si pratiquement la caractérisation du comportement reste difficile.

Globalement, on pourra caractériser le stade « anguilette » comme celui qui correspond à la phase de cycle de vie continentale durant laquelle l'anguille pigmentée poursuit une migration vers l'amont et n'est pas sexuellement différenciée (Adam, 1997). Dans les milieux continentaux qui ne sont plus sous influence tidale, c'est essentiellement cette écophase qui entreprend la colonisation des hydrosystèmes continentaux (Feunteun et *al.*, 2003). Les anguillettes poursuivent leur migration de colonisation plus ou moins loin à l'intérieur des terres selon l'état de saturation des milieux situés en aval, les obstacles rencontrés et la pente des rivières.

- **Stade anguille sédentaire "anguille jaune" : phase de sédentarisation et de croissance**

Les anguillettes se colorent et grandissent pour devenir des anguilles jaunes (dos olivâtre et ventre jaunâtre) ; L'anguille jaune qui intervient ensuite correspond à une phase de croissance essentiellement "sédentaire" (Laffaille et *al.*, 2005a). Cependant, il semble exister, selon Daverat et *al.* (2006) des déplacements importants entre les différentes zones d'un bassin versant, voire entre les zones dulçaquicoles et les zones marines côtières.

La croissance montre une grande variabilité individuelle et est de plus marquée par un fort dimorphisme sexuel. Les femelles croissent plus rapidement et surtout plus longtemps que les mâles (Kushnirov et Degani, 1995) ; Il en résulte que la longueur des mâles est nettement moindre que celle des femelles pour des âges avancés (Sinha et Jones, 1966 ; Lee, 1979 ; Vollestad et Jonsson, 1988).

La différenciation sexuelle, très labile, apparaît à partir de 15-20 cm et jusqu'à 30 cm. Le déterminisme sexuel est induit par des facteurs écologiques et/ou environnementaux (Wiberg, 1983; Colombo-Grandi et Rossi, 1984). Il semble exister une répartition géographique différentielle en fonction des sexes : les plus grandes femelles sont dominantes dans les zones

situées dans les zones de tête de bassin versant alors que les mâles sont majoritaires dans les zones situées en aval des hydrosystèmes (Haraldstad et *al.*, 1985; Vollestad, 1992).

Enfin, notons que la détermination de l'âge chez l'anguille est très difficile. Les méthodes utilisées font l'objet de nombreuses controverses engendrant, par conséquent, des incertitudes sur la durée de cette phase de croissance. Cependant, les études de Mounaix, (1992) et Panfili et *al.*, (1992) ont pu montrer que cette phase de sédentarisation correspond à une phase de croissance active et d'accumulation de réserves qui peut durer de 5 à 9 ans dans les eaux françaises. La deuxième et dernière métamorphose qui permet le passage de l'anguille jaune à l'anguille argentée, met fin à cette étape.

Selon Laffaille et *al.*,(2005a), le stade anguille jaune est l'écophase la mieux connue car facilement accessible et échantillonnable en milieu continental. En dynamique des populations, ce stade présente l'intérêt d'une relative stabilité spatiale dans les cours d'eau (Laffaille et *al.*, 2005a). De sorte que pour un site continental donné, il est possible de suivre l'évolution d'une cohorte entre son arrivée au stade anguillette et son départ au stade anguille argentée. Les effectifs de cette cohorte au stade sédentaire ne diminuent alors que sous l'influence des différents facteurs de mortalité.



Figure 4 : Anguilles jaunes (Baisez, 2009).

- **Stade anguille argentée**

La phase de croissance s'achève par une deuxième métamorphose transformant les anguilles jaunes en anguilles argentées (yeux plus grands et un ventre brillant).L'argenture est l'ultime métamorphose qui prépare l'anguille à la migration de reproduction grâce à tout un ensemble de modifications morphologiques et physiologiques qui marquent la limite entre deux étapes caractérisées par des modes de vie et des environnements très différents. Ces transformations débutent bien avant la migration elle-même et sont, à ce titre, anticipatrices (Fontaine, 1994).Elles débutent au printemps, sous l'effet de facteurs endogènes bien avant les manifestations externes qui n'apparaissent qu'à la fin de l'été et à l'automne et aboutissent à la

dévalaison sous l'effet de facteurs exogènes. A ce jour, aucun facteur interne ou externe n'a été clairement désigné comme initiateur de la métamorphose (Eelrep, 2005).

A son terme, les anguilles argentées prêtes à entreprendre leur migration d'avalaison sont caractérisées par une livrée très contrastée, sombre sur la partie supérieure (brun-noir) et claire sur la partie abdominale (blanc argenté). La peau (Bertin, 1951) et plus particulièrement le derme (Pankhurst, 1982b) s'épaississent et la longueur des nageoires augmente (Lee, 1979 ; Durif, 2003). On observe aussi un accroissement général des organes des sens, c'est le cas de la ligne latérale qui se différencie (Zacchéi et Tavolaro, 1988 ; Acouet *al.*, 2005), de l'épithélium olfactif (Sorensen et Pankhurst, 1988) chez *A. rostrata* et surtout de l'œil (Fontaine, 1994 ; Pankhurst, 1982a).

De nombreuses hormones interviennent également dans le déterminisme de l'argenture de l'anguille dont l'insuline, le cortisol et les hormones thyroïdiennes (Fontaine, 1994), ce qui suggère une hyperactivité des glandes interrénales et de la thyroïde (Fontaine, 1975). L'argenture donne lieu à une modification des cellules à chlorure (Na⁺/K⁺) dans les branchies, comparable à la smoltification des Salmonidés. Prototype du poisson amphihaline, l'anguille semble néanmoins pouvoir maintenir le même équilibre osmotique intérieur qu'elle soit en eau douce ou en mer (Fontaine, 1994).

Les mâles se métamorphosent à des tailles (< 450 mm) et âges (entre 3 et 14 ans) plus faibles que ceux des femelles (> 450 mm ; entre 6 et 18 ans) probablement parce que leur fertilité n'est pas liée à leur taille et qu'ils ont tout intérêt à migrer le plus tôt possible, contrairement aux femelles (Vollestad, 1992 ; Svedang *et al.*, 1996). Cette importante variabilité des tailles et âges à l'argenture suggère qu'il n'existe pas de taille ou âge seuil pour débiter l'argenture. Ainsi, aucun facteur interne (âge, taille) ou environnemental n'a à ce jour été clairement désigné comme initiateur de la métamorphose (EELREP, 2005). Seuls Vollestad *et al.* (1986) ont émis l'hypothèse que la température de l'eau pouvait contrôler à long terme cette période de préparation physiologique de la migration.



Figure 5 : Anguille argentée « *Anguilla anguilla* » (photo. Ladjama, 2010)

- **Phase de migration de reproduction**

S'il est communément admis que l'intensité migratoire des anguilles argentées est maximale pendant la deuxième moitié de l'année entre Août et Décembre, celle-ci est cependant observable toute l'année (Tesch, 1977 ; Deelder, 1984 ; Hvidsten, 1985 ; Vollestad *et al.*, 1986). Des migrations ont en effet été observées en juillet jusqu'au printemps, en particulier lorsque les conditions climatiques n'ont pas été favorables à l'automne et qu'elles le sont en hiver et au printemps (Frost, 1950 ; Deelder, 1984 ; Hvidsten, 1985 ; Lobon-Cervia et Carrascal, 1992 ; Wickström *et al.*, 1996 ; Holmgren *et al.*, 1997 ; Feunteun *et al.*, 2000).

A l'échelle de son aire de répartition, une grande variabilité spatiale des périodes de dévalaison est observée avec des périodes globalement plus précoces dans les plus hautes latitudes (d'Août à Octobre) par rapport aux sites les plus méridionaux (de Novembre à Décembre).

Compte tenu des écarts importants de latitude entre les sites les plus distants (entre la Norvège et le Sud de la France), l'influence de facteurs environnementaux qui varient de façon saisonnière et à une large échelle spatiale comme la température de l'eau ou la photopériode peut expliquer ces tendances. Mais ces variables étant très corrélées, il est difficile d'en discerner l'influence propre sur la période de migration (Vollestad *et al.*, 1986). En tout cas, il est probable que l'augmentation de ces deux variables au printemps contrôle et synchronise l'argenture et la migration d'avalaison des anguilles (Vollestad *et al.*, 1986) comme cela a été montré chez les salmonidés (Wedemeyer *et al.*, 1980).

De plus, les périodes de migration ne coïncident pas toujours entre les mâles et les femelles (Todd, 1981 ; Deelder, 1984). Généralement, les mâles et les plus petites femelles migrent plutôt dans la saison que les grandes femelles (Haraldstad *et al.*, 1985). Toutefois, ce

résultat est probablement plus lié à une distribution spatiale des sexes dans les bassins versants. En effet, les plus grandes femelles sont généralement dominantes dans les zones de tête de bassin versant alors que les mâles sont majoritaires dans les zones avales (Haraldstad *et al.*, 1985; Vollestad, 1992).

En phase océanique, les quelques travaux qui ont tenté de suivre le début de la migration (Tesch, 1974 ; 1979 ; 1989 ; 1992 ; Westin, 1990) montrent une orientation axée globalement vers la mer des Sargasses.

Les travaux de Dufour (1985) présentent des arguments pour une migration à grande profondeur, la pression hydrostatique jouerait un rôle primordial dans la stimulation de la fonction gonadotrope (Dufour et Fontaine, 1985). Même si la trace des anguilles argentées disparaît aux abords du plateau continental, il est quand même admis que ces dernières regagnent l'océan pour parvenir, à terme, à l'aire supposée de reproduction (Sinha et Jones, 1975 ; Tesch, 1977). Cette migration de reproduction qui permet de couvrir entre 5000 et 6000 km, est donc encore très mal connue. Certains auteurs estiment que le retour à la mer des Sargasses durerait 120 jours environ à une vitesse de 1,4 km/h (Boëtius et Boëtius, 1980). Les cellules sexuelles mûrissent au cours du voyage pendant lequel ils ne se nourrissent pas.

Le nombre d'ovules émis par la femelle est compris, selon Elie (1998), entre 800 000 et 1 400 000, ce qui confère à l'espèce une capacité de reproduction importante. Le pic d'intensité maximale des pontes se situerait entre les mois de mars et avril, en relation avec l'arrivée massive des civelles l'hiver suivant (Guerault *et al.*, 1991). Les potentialités de survie des géniteurs après la ponte restent inconnues (Lecomte-Finiger, 1990 ; Lecomte-Finiger, 2004). Cependant, il est supposé que l'acte reproducteur conclut le cycle de vie de cette espèce qui serait donc semelpare (Tesch, 1977 ; Westerberg, 1979).

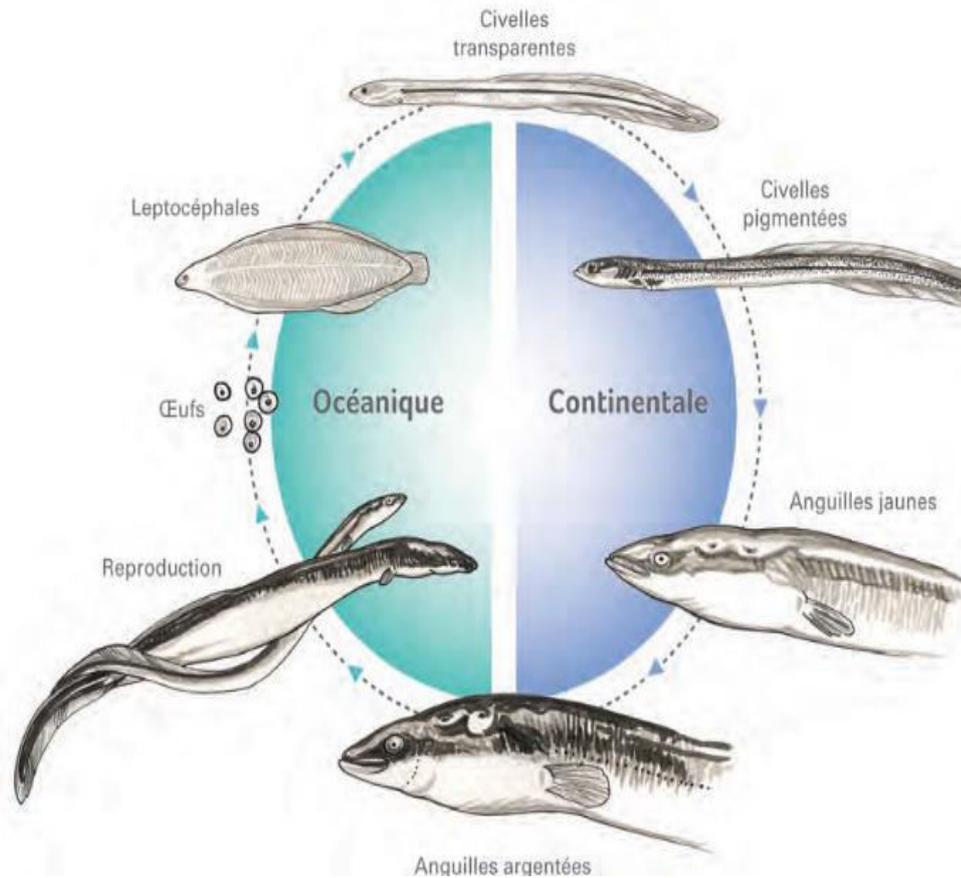


Figure 6 : Cycle biologique de l'Anguille européenne (Alain et Coralie, 2013).

1.2. Les endoparasites rencontrés :

1.2.1. Les cestodes

Les Cestodes, improprement appelés vers solitaires, sont des Plathelminthes endoparasites de l'intestin de Vertébrés, dépourvus de système digestif à tous les stades de leur développement.

Leur corps, en général aplati, rubané, présente un organe de fixation, le *scolex*, en arrière duquel une zone de croissance produit de façon continue des segments ou *proglottis*, formant ainsi une chaîne, le strobile. Chaque segment renferme un appareil reproducteur hermaphrodite dont la maturation se fait progressivement le long du strobile, d'avant en arrière. Les œufs renferment une larve hexacanthé ou *oncosphère* dont le cycle évolutif, hétéroxène, comporte des métamorphoses. Hautement spécialisés à la fois par leur morphologie et par leur physiologie, les Cestodes sont étroitement inféodés à leurs hôtes (spécificité parasitaire), fournissant ainsi des arguments quant à l'évolution et aux relations réciproques de ces derniers. Les téguments, de structure syncytiale, absorbent les aliments dans le contenu intestinal de l'hôte ; le ver compense ainsi l'absence d'un intestin.

- ▀ Le scolex, qui assure la fixation du ver, présente des types variés, qu'il est cependant possible de ramener à trois, correspondant à des catégories taxonomiques.

Chez les pseudophyllidiens, le scolex est muni de deux fentes longitudinales peu profondes, les pseudobothridies, dont les bords libres se referment sur les villosités intestinales.

Le type tétrarhynque est caractérisé par la présence de quatre trompes exsertiles garnies de crochets qui s'enfoncent dans la muqueuse intestinale de l'hôte (un Sélacien) ; elles sont pourvues de deux ou quatre pseudobothridies portées sur un pédoncule renfermant les organes propulseurs et rétracteurs des trompes.

Le type tétracyclophyllidien possède toujours quatre ventouses ou quatre organes musculaires foliacés et très déformables, les bothridies, à surface parfois cloisonnée, avec ou sans ventouses accessoires.

- ▀ Le système reproducteur offre cette segmentation d'une manière encore plus marquée. Les organes sexuels se répétant dans chaque proglottis, celui-ci peut être envisagé comme un individu hermaphrodite.

L'appareil mâle se compose d'un grand nombre de testicules piriformes répartis sur la presque totalité de l'anneau. Le sperme s'épanche dans les lacunes conjonctives et chemine vers un canal déférent sinueux qui aboutit à un pore mâle situé auprès du pore femelle au fond d'un cloaque du sinus génital. L'extrémité du canal mâle se renfle en une poche musculieuse qui peut se renverser et saillir au dehors. Elle constitue alors le cirre ou organe copulateur qui s'introduit durant l'accouplement dans l'orifice femelle.

L'appareil femelle se compose de deux ovaires pairs en forme de grappe ramifiée, d'un ovaire impair situé transversalement, considéré par certains naturalistes comme un vitellogène ou glande à albumine; d'un corps de Mehlis qu'on croit être une glande coquillère; d'un utérus en forme de tube droit et peu développé; d'un vagin rectiligne qui vient déboucher au voisinage de l'orifice sexuel mâle.

Le développement des organes mâles et femelles n'est pas simultané dans tout l'ensemble du Cestode. A mesure que l'on s'éloigne de la tête, on voit les organes mâles se développer puis atteindre leur maturité, avant que les organes femelles soient développés. A ce moment a lieu la fécondation.

Les derniers anneaux du corps sont les seuls où les organes sexuels passent par toutes les phases du développement. En suivant le corps d'un Ténia d'un bout à l'autre, on rencontre donc successivement tous les stades par lesquels chaque anneau passera successivement. Les œufs sont mis en liberté par la rupture des anneaux et expulsés au dehors de l'hôte où habitait le ver.

Ils peuvent être **divisés en sept familles** :

- Téniadés : Tête sphérique, piriforme, toujours munie de quatre suçoirs et fréquemment d'une couronne simple ou double de crochets portés sur un rostellum saillant ;
- Ligulidés : Pas de ventouses ou seulement deux ventouses peu développées. Corps non segmenté ou à segments courts. Vivent dans la cavité viscérale des poissons osseux et dans le tube digestif des oiseaux ;
- Tétrarhynques : Tête munie de quatre trompes protractiles portant des hameçons. Vivent, dans le jeune âge, enkystés dans les poissons osseux et plus tard dans le canal digestif des raies et des squales ;
- Tétraphyllides : Tête portant quatre ventouses très mobiles, souvent armées de crochets et de pièces chitineuses. Corps non segmenté. Vivent dans les squales ;
- Caryophyllides : Corps allongé, non segmenté, sans crochets, avec huit vaisseaux aquifères longitudinaux ondulés. Appareil sexuel simple. Développement très simplifié ;
- Amphilinides : Corps ovale, en forme de feuille, ressemblant beaucoup à celui des Trématodes ; avec une ventouse à l'extrémité du corps ;
- Bothriocéphalidés : Deux suçoirs aplatis. Organes reproducteurs débouchant sur la face des proglottis.

C'est à cette dernière famille qu'appartient le cestode « *Bothriocephalus claviceps* » que nous avons rencontré dans les tubes digestifs des anguilles capturées dans le lac Tonga et la lagune El Mellah.

✚ *Bothriocephalus claviceps*

❖ **Position systématique**

<u>Embranchement</u> :	plathelminthes
<u>Classe</u> :	cestoda
<u>Ordre</u> :	<i>Pseudophyllidea</i> (Carus, 1863)
<u>Famille</u> :	<i>Bothriocephallidae</i> . (Blanchard, 1849)
<u>Genre</u> :	<i>Bothriocephalus</i> (Rudolphi, 1808)
<u>Espèce</u> :	<i>claviceps</i> (Goeze, 1782)

❖ **Diagnose**

Le cestode est localisé dans la région antérieure de l'intestin, le scolex est fixé à la paroi près du sphincter pylorique. Sur le vivant, le scolex typique de *Bothriocephalus* montre 2 bothriums dorso-ventraux faiblement développés. Cette morphologie permet de distinguer *B. claviceps* des autres cestodes parasites de l'anguille. A savoir *Triaenophorus luciipseudophyllidé* dont le scolex a 2 bothriums armés de crochets à trois dents et *Proteocephalus macrocephalus* dont le scolex comporte 4 ventouses.

L'anatomie de *B. claviceps* a fait l'objet de plusieurs descriptions (Cooper, 1918; Altunel, 1974) seuls les caractères les plus importants sont rapportés :

La longueur du ver peut atteindre jusqu'à 540 mm de long (Cooper, 1919). Les proglottis sont plus larges que long, le scolex est allongé à extrémité effilée. Le cou est absent. Les testicules médullaires (sphériques ou ovales), au nombre de 50 à 80 par anneau, sont disposés en 2 champs latéraux. La poche du cirre médioventrale débouche dorsalement dans l'atrium génital. Les glandes vittelogènes forment dans le parenchyme cortical un manchon presque continu. L'ovaire bilobé, composé de 2 masses reliées par un pont ovarien, est situé dans le tiers inférieur des segments. L'utérus est tubulaire, sinueux, se terminant par un tocostome large et musculueux qui débouche sur la face ventrale, irrégulièrement à droite et à gauche de la ligne médiane.

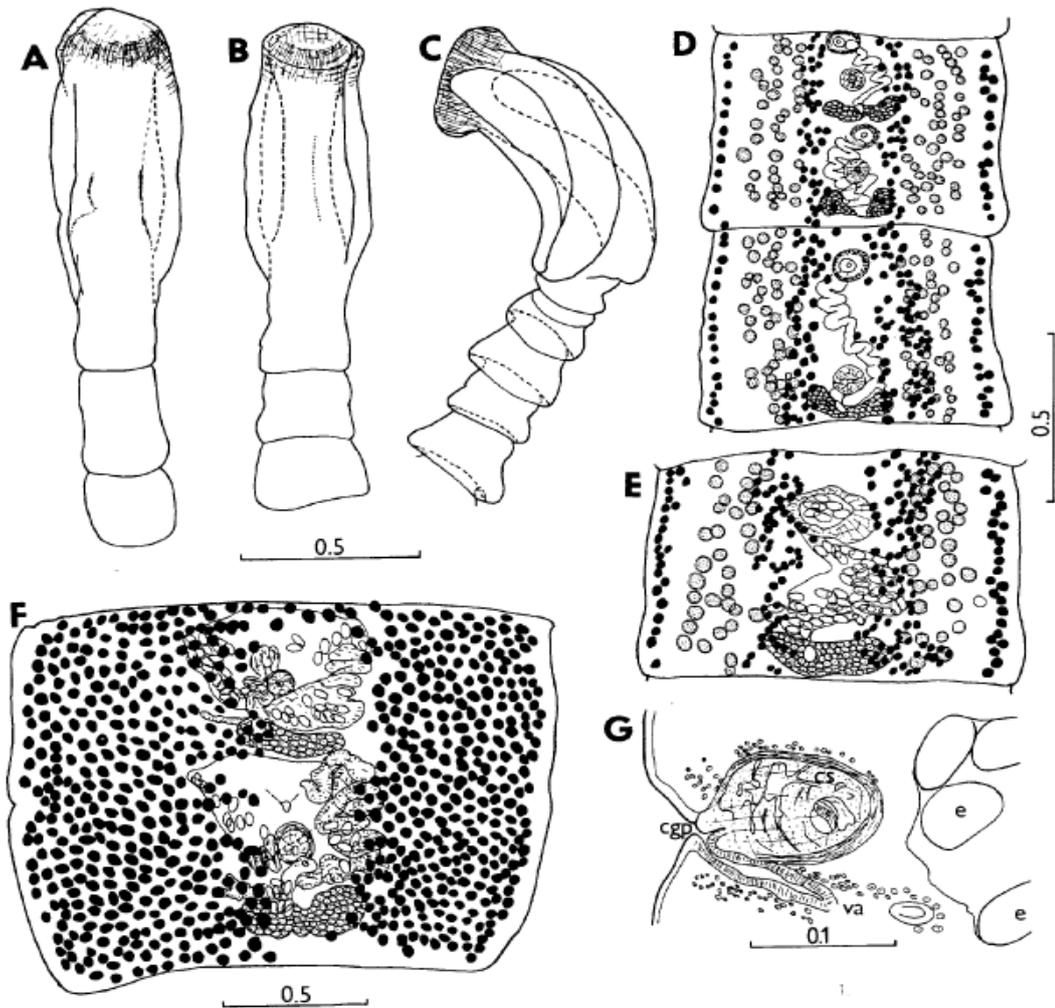


Figure 7 : Représentation schématique de *Bothriocephalus claviceps* (A-C:scolex, D: proglottis mature, E-F:proglottis gravides, G:organe génital) (Scholz, 1997).

❖ Répartition géographique

La répartition de *Bothriocephalus claviceps* semble calquée sur celle de son hôte. Le cestode est signalé à travers toute l'Europe dans les eaux continentales. Le relevé bibliographique (tab. 3) des hôtes chez lesquels *Bothriocephalus claviceps* a été signalé, fait apparaître le parasite chez d'autres espèces d'anguilliformes, en particulier chez *Anguilla rostrata* en Amérique du Nord et chez de nombreux poissons téléostéens marins ou d'eau douce. Baer et Fain (1957-1958) considèrent *Bothriocephalus claviceps* comme une espèce marine. Les anguilles s'infesteraient dans les estuaires avant de pénétrer dans les eaux continentales.

Tableau 3 : Relevé bibliographique des localités et des hôtes dans lesquels *Bothriocephalus claviceps* a été signalé.

Auteur	Année	Localité	Type de milieu	Espèce-hôte
Altunel	1979	Turquie	lac	<i>A. Anguilla</i>
Baer	1948	France	Estuaire	<i>Muraenahelena</i> <i>Anguillidae</i>
Baer et Fain	1957	Europe	Estuaire	<i>Anguillidae</i>
	1958			<i>Muraenahelena</i> <i>Gladiumculusbispinosus</i>
Bangham et Venard	1946	Canada	Lac	<i>A. Rostrata</i>
Chubb	1963	Angleterre	Lac	<i>A.anguilla</i>
Cooper	1919	U.S.A	Rivière	<i>A.rostrata</i> <i>Centrarchidae</i>
Debiève	Com. pers	Suisse	Lac de Neuchâtel	<i>A.anguilla</i>
Dupont	1982	France	Rivière Etang doux	<i>A.anguilla</i>
Edelenyl	1964	Autriche	Lac	<i>A.anguilla</i>
Engelbrecht	1958	Mer Baltique	Golf « saumâtre »	<i>A.anguilla</i>
Gandolpfi- Hornyold	1929	Espagne	Rivière	<i>A.anguilla</i>
Harley et Keefe	1971	U.S.A	Lac	<i>Centrarchidae</i>
Jarecka	1959	Pologne	Lac	<i>A.anguilla</i>
Kazic et al.	1982	Yougoslavie	Lac Rivière	<i>A.anguilla</i>
Kennedy	1974	Angleterre	Lac	<i>A.anguilla</i>
		Irlande	Rivière	
Mc Daniel	1963	U.S.A	Lac	<i>Centrarchidae</i>

▮ Son cycle évolutif comprend deux hôtes : l'hôte définitif (*Anguilla anguilla*) chez qui il se reproduit, et un hôte intermédiaire, en général un copépode cyclopoïde. En dehors d'éventuelles obstructions intestinales et un effet important sur la croissance, aucun effet pathogène direct n'a été signalé (Elie et Girard, 2009).

1.2.2. Les Nématodes

Les organismes qui constituent le phylum des Nématodes (ou "Vers ronds"), sont parasites ou libres, non métamérisés, au corps d'ordinaire très allongé, limité par une épaisse cuticule qui peut être striée transversalement chez les grandes espèces; cette cuticule peut porter des soies mobiles, des denticulations, ou encore des appendices de nature variable autour de la

tête ou vers l'extrémité caudale ; ces productions cuticulaires étant, en règle générale, fort peu développées.

Sous la cuticule se trouve la couche cellulaire qui lui donne naissance, et les éléments musculaires, toujours très développés, formant au corps une sorte d'étui interne qui permet les mouvements très étendus que présentent ces animaux ; les muscles, disposés avec une grande régularité, sont constitués par de grandes cellules allongées dans le sens de la longueur du corps. L'étui musculaire est toujours interrompu le long de deux lignes médianes, l'une ventrale, l'autre dorsale, et le long de deux lignes latérales (*champs latéraux*); il existe quelquefois d'autres interruptions régulières entre les lignes médianes et latérales. C'est un épaississement de la couche sous-cuticulaire qui sépare ces différents faisceaux musculaires.

- ▀ L'appareil digestif, généralement complet, s'ouvre à l'extrémité antérieure du corps et s'étend en droite ligne jusqu'à l'ouverture anale, située à la face ventrale, près de l'extrémité postérieure.

Le pourtour de la bouche et la partie antérieure du tube digestif peuvent présenter des armatures variées ; l'œsophage est un tube chitineux entouré d'un puissant appareil musculaire propre ; il présente souvent un ou deux renflements et fonctionne par succion.

Le tube digestif proprement dit, cuticularisé à ses surfaces interne et externe, est formé d'une seule couche de cellules. Il est dépourvu de muscles, sauf dans sa portion terminale.

L'appareil excréteur est représenté chez les Nématodes par un vaisseau à parois propres, situé de chaque côté du corps dans les champs latéraux : les deux vaisseaux se réunissent en avant par une anastomose qui émet un canal dirigé en avant vers la ligne médiane ventrale, où il s'ouvre à l'extérieur. Dans un petit nombre de genres il n'existe qu'un seul de ces canaux, tantôt celui de droite, tantôt celui de gauche. Quelques appareils glandulaires, situés dans la région céphalique et vers l'extrémité caudale, s'ouvrent aussi à l'extérieur; d'autres débouchent dans l'appareil digestif.

- ▀ Le système nerveux central est essentiellement représenté par un collier œsophagien qui émet en avant six branches nerveuses pour les organes péribuccaux et, en arrière, deux nerfs qui suivent les lignes dorsale et ventrale jusqu'à l'extrémité du corps, où ils émettent des branches destinées aux organes situés au voisinage de l'an.

Les organes des sens sont naturellement beaucoup plus développés chez les espèces libres : ils consistent en soies tactiles, appareil oculaire, etc...

- ▮ Les organes génitaux dans les deux sexes sont constitués par un tube allongé dont le fond fonctionne comme glande sexuelle, tandis que le reste forme un canal vecteur et un réservoir; il est rare que ce tube soit double ou se bifurque à l'extrémité chez le mâle, et des considérations d'ordre morphologique font admettre qu'il reste simple chez les femelles, bien qu'il semble parfois nettement double. L'appareil mâle débouche dans le rectum ; la vulve est située vers le milieu du corps.

La reproduction se fait par des œufs, dont la conformation fournit des caractères importants pour la détermination des espèces; la ponte peut avoir lieu dès les premières phases de leur évolution, mais ils peuvent aussi se développer complètement dans le corps de la mère qui est ainsi ovovivipare; entre ces deux extrêmes on peut observer tous les degrés.

Les Nématodes se répartissent en une vingtaine d'ordres (Strongylida, Ascaridida, Tylenchida, etc...), regroupés dans deux classes : les Secernentea et les Adenophorea. La première se subdivise en quatre sous-classes : Rhabditia, Spirurida, Tylenchia, Diplogasteria; la seconde en deux sous-classes : Enoplia et Chromadoria.

Au cours de cette étude, nous avons rencontré, au niveau de la vessie natatoire de l'anguille, 1 nématode « *Anguillicoloides crassus* »

✚ *Anguillicoloides crassus*

❖ Position systématique

<u>Embranchement</u> :	Nematoda
<u>Classe</u> :	Spirurida
<u>Famille</u> :	Anguillicolidae
<u>Genre</u> :	<i>Anguillicola</i>
<u>Espèce</u> :	<i>Crassus</i>

❖ Morpho-anatomie

▮ Larve de 2^{ème} stade (L2)

Les larves libres sont filiformes ; elles maintiennent la cuticule des larves de 1^{er} stade ; cette cuticule se présente sous forme d'une couche friable autour des larves L1 à l'exception de la partie postérieure (fig. 8, B). La partie conique antérieure porte une dent larvaire et la paroi interne de l'extrémité antérieure de l'œsophage est sclérifiée. Dans la même partie sont présentes de petites granulations qui peuvent être perçue à fort grossissement (100). L'œsophage bulbeux est gonflé au niveau de son extrémité postérieure et le contour du tractus digestif est difficilement reconnaissable.

Dimensions : Longueurs (μm): $272 \pm 16,27$; largeurs (μm) : $17,6 \pm 0,97$ (Blanc et *al.*, 1992).

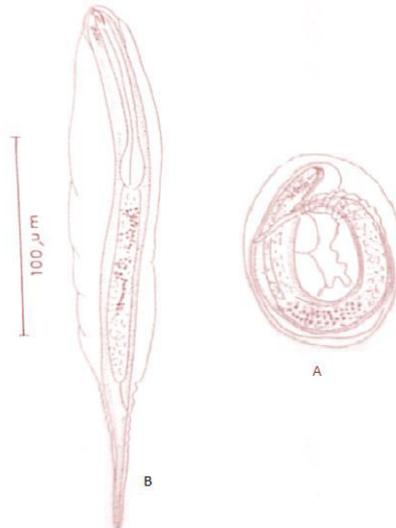


Figure 8 : Larve de second stade (L2) : A : L2 entourée de la cuticule de l'œuf ; B : L2 libre (Blanc et *al.*, 1992).

► Larve de 4^{ème} stade (L4)

Chez l'anguille, il est difficile de distinguer entre L3 et L4 car la 3^{ème} mue n'a jamais été observée et il n'existe aucun caractère qui peut différencier les deux stades ; la forme et la taille des larves changent avec leur croissance. Quand les crêtes de la cuticule disparaissent et la taille de la larve passe de $1200 \mu\text{m}$ à $1600 \mu\text{m}$, ceci annonce la 3^{ème} mue. A ce moment, la forme et la partie apicale de la larve deviennent rondes. Elle a la même taille que la larve L3. La partie postérieure est incurvée ventralement, l'ornementation scléroïde ainsi que la papille céphalique sont les mêmes que celles présentes chez la larve L3. Les dérides, l'aile latérale ainsi que la pièce scléroïde en forme de V ne sont pas présentes. La cavité buccale ne présente pas de paroi scléroïde. L'œsophage est court (fig. 9) (Blanc et *al.*, 1992).

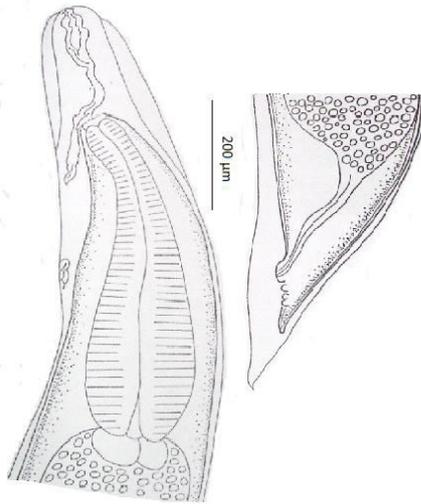


Figure 9: Larve de 4^{ème} stade (L4) (d'après Blanc et *al.*, 1992).

▀ **Adulte**

Les adultes et les pré-adultes ont été décrits par plusieurs auteurs (Moravec et Taraschewski, 1988). Ils diffèrent des larves de 4^{ème} stade par la paroi scléroïde de la capsule buccale présentée en une rangée de 17 à 22 dents relativement grandes et par l'absence de l'ornementation scléroïde en forme de U. Chez la femelle, la vulve est ouverte ; alors que chez le mâle, 5 à 6 paires de papilles caudales sont présentes et le cloaque est primitif (fig. 10) (Blanc et *al.*, 1992).

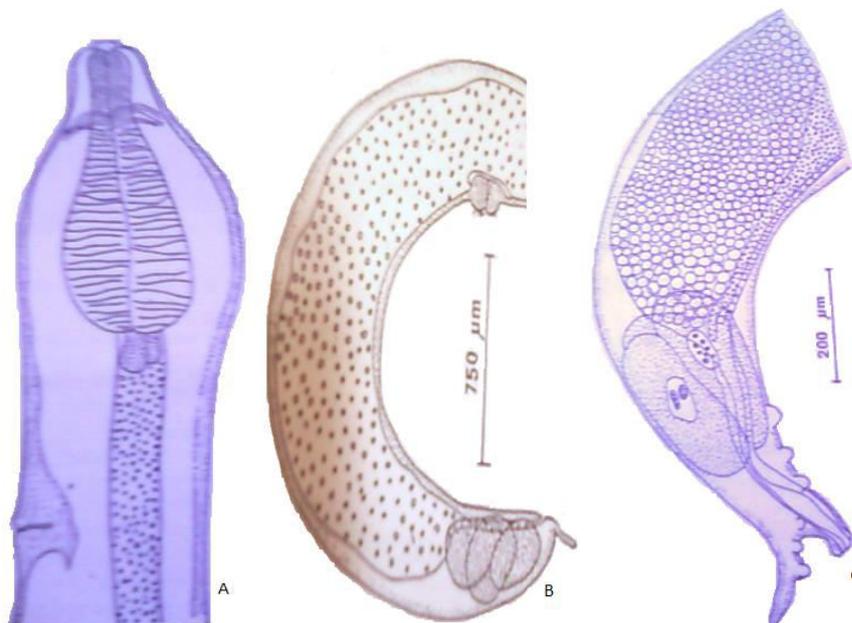


Figure 10 : Représentation schématique d'*A. crassus* adulte :

A : région antérieure ; B : femelle, région postérieure ; C : mâle, région postérieure (Dupont et Petter, 1988).

❖ **Répartition géographique**

Ce Nématode originaire du Sud-est asiatique et endémique de l'anguille japonaise *Anguilla japonica* a été introduit dans les années 1980 en Allemagne avec des civelles de Taiwan et de Nouvelle Zélande destinées à l'élevage.

Le premier cas d'anguillicolose décrit en Italie (lac de Bracciano proche de Rome) en février 1982 par Paggi et al. (1982) était, selon Moravec et Taraschewski (1988), en fait, dû à *Anguillicola australiensis* (= *A. novaezelandiae* introduit avec *Anguilla australiensis* importée d'Australie. La première description d'*Anguillicola crassus* en Europe, dans des anguilles de l'Ems et de la Weser, est due à Neumann (1985), ce parasite étant connu depuis 60 ans en Asie et Australie où il avait été décrit par Yamaguti (1935). Ce Nématode a été rencontré dans presque tous les pays européens : Allemagne (Fleuve Ems, en 1985 : Koops et Hartmann, 1987 ; Taraschewski et al., 1987), Pays-Bas (juillet 1985 : Van Banning et al., 1985), Belgique (décembre 1985 : Belpaire et al., 1987 et 1989a et b), Danemark (1986 : Koie, 1988b), Suède (1988 : Hoglund et Andersson, 1993), Hongrie (septembre 1990), Grande Bretagne (fin 1987 : Kennedy et Fitch, 1990), Italie (Can Estrinl-Trotti, 1987), Espagne (avril 1987 : Belpaire et al., 1989b), France (automne 1985, étang du Grand Palun, Camargue : Dupont et Petter, 1988).

Il a ainsi atteint des taux d'infestation assez élevés chez son hôte (Taraschewski et al., 1987 ; Moravec et Taraschewski, 1988 ; Moravec, 1992 ; Würtz et al., 1998 ; Sures et al., 1999a). Il a également colonisé les populations d'anguilles peuplant l'Afrique du Nord (il a été signalé pour la première fois au Maroc par El Hillali (1996), en Tunisie par Maamouri et al. (1999) et en Algérie par Meddour et al. (1999) et par Djebari et Bensouilah (2005) et s'est étendu jusqu'à l'Amérique du Nord prenant comme hôte définitif l'anguille américaine *Anguilla rostrata* (Johnson et al. 1995).

Actuellement, Son aire d'extension géographique recouvre celle de l'anguille européenne.

1.3. Composition chimique de la chair du poisson

1.3.1. L'eau contenue dans la chair :

L'eau est le composant fondamental de la matière vivante. Par sa teneur, bien sûr, qui est de loin la plus élevée comparée aux autres constituants. Mais surtout, et c'est un aspect essentiel, par ses rôles ; Ceux-ci sont multiples et liés aux propriétés physiques et physico-chimiques de la molécule d'eau (H₂O). Pour tenter de comprendre la répartition de l'eau dans la matière vivante nous allons nous intéresser à une isotherme de sorption type.

1.3.2. Les protéines :

Selon leur situation dans l'organisme les protéines peuvent être classées en protéines extracellulaires et protéines intracellulaires. Elles sont divisées en 3 groupes fonctionnels différents et leur répartition :

- **Les protéines du tissu conjonctif**

Ce tissu enveloppe le muscle d'une membrane qui présente des prolongements et des épaissements entre les myotomes. Il a un rôle de soutien et de maintien des masses musculaires. Les protéines constitutives sont, par ordre d'importance décroissante, le collagène, l'élastine, la kératine. Le collagène est une protéine qui contient beaucoup de glycine, proline et hydroxy-proline. Ce sont ces deux derniers acides aminés qui apportent rigidité et résistance au tissu conjonctif (Cheptel et Cheptel, 1976).

Or le collagène du poisson contient moins de proline, d'hydroxy-proline que celui des mammifères (Sikorski, 1984), le collagène du poisson est moins stable à la chaleur et plus facilement hydrolysé que celui des animaux à sang chaud.

- **Les protéines sarcoplasmiques**

Ces protéines sont les seules hydrosolubles. Elles sont obtenues par pression de la chair ou par extraction en solution faiblement ionique «0,15 » (Suzuki, 1981 ; Piclet, 1987). Leur teneur dans les poissons qui migrent est le double de celle des poissons sédentaire (démersaux). Elles sont plus diversifiées que chez les mammifères, et spécifiques de l'espèce parce que libérées de l'influence de certains facteurs, alimentaires par exemple (Piclet, 1987). Ce sont essentiellement la myoglobine, que l'on rencontre dans les muscles rouges qui ont un

rôle dans le métabolisme énergétique important, les albumines et les globulines (Dyer, 1961 ; Jacquot, 1961).

- **Les protéines myofibrillaires**

Elles comprennent des protéines dites de structure, actine, myosine, actomyosine, et des protéines régulatrices, troponines, tropomyosine, actinines. Les premières sont aussi les protéines contractiles du muscle, tandis que les secondes assurent la régulation enzymatique de la contraction. Actine et myosine sont semblables à leurs homologues isolées des muscles des autres animaux supérieurs leurs paramètres moléculaires et leurs compositions en acides aminés sont identiques, et leurs pH isoélectriques respectifs (myosine : 5,3 et actine : 4,7) sont également voisins. Mais la myosine extraite du muscle de poisson est connue comme étant moins stable à la chaleur que celle des mammifères. Les variations entre espèces sont grandes la myosine purifiée à partir de la chair de cabillaud est particulièrement instable et a tendance à former des agrégats. Cette propriété est peut être due à des différences dans les liaisons intramoléculaires, et expliquerait que la myosine de poisson se dénature plus facilement que celle des viandes après congélation. La teneur moyenne en azote des protéines musculaires de poisson est 16,8%, contre 16% pour la viande. Cette valeur s'explique par une fréquence plus grande en acides diamminés (lysine surtout). En outre ces protéines sont plus riches en acides aminés soufrés (cystéine surtout). Ceci se traduit par la présence accrue de radicaux -SH et -NH₂ qui, avec les radicaux -COOH, conditionnent l'équilibre aqueux du tissu (Connell, 1961).

Remarque :

Les protéines ne sont pas les seuls composants azotés présents dans le poisson. La chair contient également des éléments non protéiques qui représentent 9 à 18 % de l'azote total chez les poissons osseux, et plus de 30 % chez les poissons cartilagineux. Ce groupe comporte à la fois des peptides et des acides aminés libres, dont la répartition est caractéristique de l'espèce (ce sont surtout des produits du catabolisme protéique, carnosine, ansérine par exemple), et un certain nombre de composés communs à toutes les espèces, mais en proportions variables (oxyde de triméthylamine, urée, créatine, ammoniacque, métabolites issus de la dégradation des acides nucléiques) (Connell, 1961).

1.3.3. Les glucides :

Les glucides peuvent aussi être divisés en trois groupes : les sucres (mono- et disaccharides), les oligosaccharides (3 à 9 monosaccharides), et les polysaccharides (plus de

9). La teneur en glucides dans le muscle du poisson est faible (Mendel, Kemp *et al.* 1954 ; Schulz) et elle est influencée par les conditions de capture, qui peut conduire à l'épuisement des réserves de glycogène et ainsi à une diminution du niveau de glucide. Dans les conditions anoxiques post mortem, le glycogène continu d'être métabolisé, résultant de l'augmentation de l'acide lactique avec l'abaissement du pH.

Ces composants ont été découverts tardivement dans les muscles de poissons, car dans les conditions habituelles de la pêche, ils ont pratiquement disparu au moment où le poisson est embarqué, contrairement à une idée encore largement répandue, le muscle de poisson est au moins aussi riche en glycogène que celui des mammifères. La teneur en ce composé varie énormément et peut aller jusqu'à 2,5% (ANONYME). En outre le muscle de poisson au repos contient normalement quelques mg de glucose libre et des traces de ribose, le mécanisme de dégradation glucidique est identique à ce qu'il est chez les animaux à sang chaud : le poisson ne présente donc aucune originalité à cet égard (ANONYME).

1.3.4. Les lipides

1.3.4.1. Définition et classification des lipides

Les graisses, huiles et lipides comptent de nombreux composés organiques, dont les acides gras (AG), les mono-acylglycerols (MG), les diacylglycerols (DG), les triacylglycerols (TG), les phospholipides (PL), les eicosanoïdes, les résolvines, les docosanoïdes, les stérols, les esters de stérol, les caroténoïdes, les vitamines, les alcools gras, les hydrocarbures et les esters de cire. Les lipides aussi bien d'origine animale (graisses, huiles, beurres) que végétale (huiles, beurres) sont des mélanges complexes formés à 99 % de triglycérides, le reste étant des composés mineurs tels que les phospholipides (lécithines), les stérols ou encore les vitamines liposolubles (A, D, E, K). (Molimard *et al.*, 1997).

Traditionnellement, les lipides sont définis comme étant les substances solubles dans les solvants organiques. Plus tard, Toutefois, une nouvelle définition ainsi qu'un système complet de classification des lipides est proposé en 2005 (Fahy *et al.*, 2005). Selon la nouvelle définition, qui repose sur la nature chimique, les lipides sont les petites molécules hydrophobes partiellement ou entièrement issues de condensations de thio-esters. Le système de classification des lipides adopté permet de classer les lipides et leurs propriétés chimiques. Grâce à cette approche, les lipides des tissus biologiques sont divisés en huit catégories (tableau 4). Chaque catégorie comporte des classes et des sous-classes de molécules distinctes (Fahy *et al.*, 2005). Dans cette catégorie de lipides, les acides gras sont

plus développés du fait qu'ils représentent un intérêt majeur aussi bien sur le plan nutritionnel que biochimique.

Tableau 4 : Catégories de lipides et exemples (Fahy *et al.*, 2005).

Catégories	Exemples
Acyl gras	Acide oléique
Glycerolipides	Triacylglycerol
Glycerophospholipide	Phosphatidylcholine
Sphingolipides	Sphingosine
Sterols Cholesterol	Cholesterol
Prenols Farnesol	Farnesol
Saccharolipides	UDP-3-0-(3-hydroxytetradecanoyl)- N-acetylglucosamine
Polycetides Aflatoxine	Aflatoxine

1.3.4.2. Nomenclatures des acides gras

Il existe plusieurs systèmes de nomenclature des acides gras, mais c'est la nomenclature systématique recommandée par l'Union internationale de chimie pure et appliquée (IUPAC-IUB Commission on Nomenclature, 1978) qui est utilisée pour les acides gras. Ce système nomme les acides gras uniquement en fonction du nombre d'atomes de carbone ainsi que du nombre et de la position des acides gras insaturés en fonction de leur groupe carboxyle. Le système précise également la configuration des doubles liaisons et la position des ramifications. Ainsi, On attribue la première position à l'atome de carbone du groupe carboxyle, les carbones suivants de la chaîne de l'acide gras étant numérotés successivement à partir de ce premier atome (figure 12). Par convention, dans une chaîne, une liaison donnée est identifiée par le plus petit des numéros attribués aux deux carbones qu'elle relie. Les doubles liaisons sont spécifiées par les termes *cis* et *trans* (figure 11), on cite l'exemple de l'acide linoléique C18 (ALA) avec deux doubles liaisons en position *Cis* (9-12) et le nom systématique est : Acide 9-12-octadecadiénoïque ou acide *cis*-9, *cis*-12-octadecadiénoïque (Figure 12).

Trans

cis

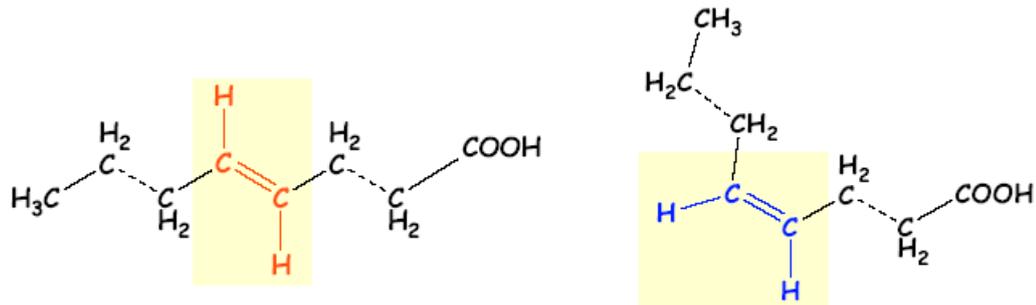


Figure 11 : Forme Cis et Trans

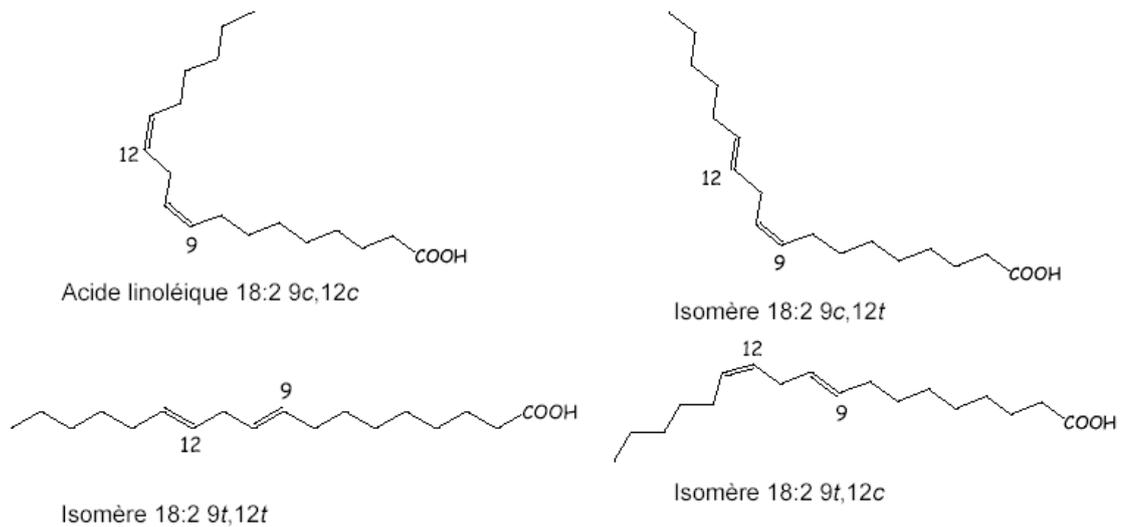


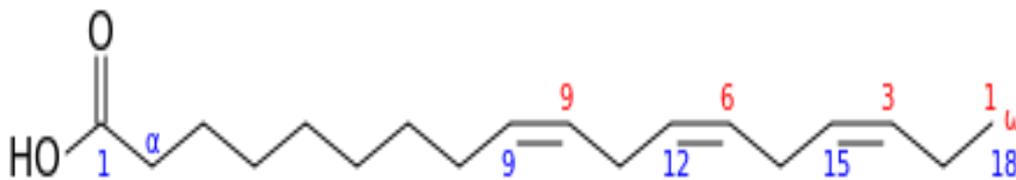
Figure 12 : Exemples

Un autre système est adopté par les biochimistes et les nutritionnistes et qui utilisent souvent le système de notation (n- moins) pour les acides gras *cis* insaturés d'origine naturelle. Le terme (n- moins) fait référence à la position de la double liaison de l'acide gras la plus proche du groupe méthyle à l'extrémité de la molécule. Ce système définit facilement les diverses séries acides gras, tels que : n-7, n-9, n-6 et n-3, et autres, mais ne peut s'appliquer qu'aux acides gras insaturés *cis* et aux acides gras polyinsaturés *cis* dont les doubles liaisons sont interrompues par des méthylènes. C'est le cas de l'acide linoléique, dont la seconde double liaison commence au 6^e atome de carbone à partir du groupe méthyle à l'extrémité hydrophobe. Ainsi, on note la nomenclature de manière abrégée C18:2n-6. Dans le cas de l'acide linoléique, la liaison commence au 3^{ème} atome à partir du groupement méthyle, on aura alors : C18 :3n -3. Le système n moins est aussi appelé système oméga, on

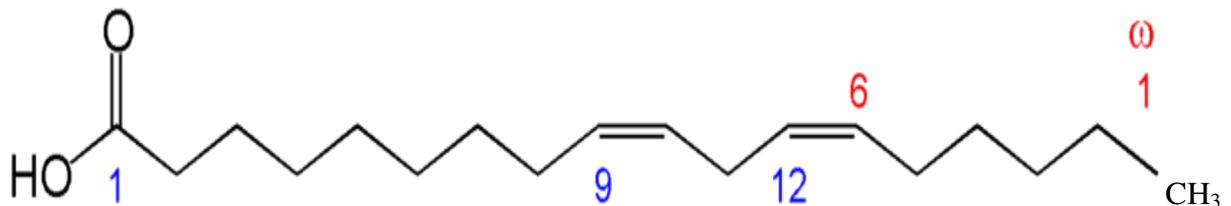
parle d'oméga 3 et Oméga 6 (figure13). Cependant, cette notation oméga-3 n'est pas recommandée (IUPAC-IUB Commission on Nomenclature, 1978).

Enfin, un autre système couramment utilisé est le système delta (Δ), dans lequel la classification repose sur le nombre d'atomes de carbone situés entre le carbone du groupe carboxyle et la double liaison la plus proche de ce groupe. Ce système spécifie la position de toutes les doubles liaisons ainsi que leur configuration *cis* ou *trans*. Il s'applique à un bon nombre d'acides gras, mais pas à ceux dont la chaîne est ramifiée. Selon le système delta, la notation de l'acide gras linoléique est : Cis- Δ 9 : 1, Cis- Δ 12-18:2.

On peut aussi l'écrire : *cis*, *cis*- Δ 9 :1, Δ 12-18:2. Dans le cas de l'acide linoléique (ALA) : on aura l'appellation suivante : Cis – Δ 9-6-3 : 18 :3. Dans notre cas, nous avons combiné les différents systèmes utilisés et nous parlons également d'oméga 3 et d'oméga 6 ou plus précisément ω 3 et ω 6.



a : Structure moléculaire de l'acide linoléique (un oméga-3)



b : Structure moléculaire de l'acide linoléique (un oméga-6)

Figure 13 : (a, b) : Structure chimique de l'acide linoléique (oméga 3) et de l'acide linoléique (Oméga 6)

1.3.4.3. Les différents acides gras alimentaires et aspect nutritionnel

Les acides gras constituent les principaux composants des différentes espèces lipidiques et sont nécessaires dans la nutrition humaine et animale en tant que source d'énergie ainsi que

pour certaines fonctions métaboliques et structurales. Les acides gras alimentaires les plus courants ont été subdivisés en trois grandes catégories en fonction de leur degré d'insaturation (double liaison ou zéro insaturation) ; les acides gras saturés (AGS) n'ont pas de doubles liaisons, les acides gras mono-insaturés (AGMI) possèdent une double liaison et les acides gras polyinsaturés (AGPI) présentent au moins deux doubles liaisons. En général, les acides gras comptent un nombre pair d'atomes de carbone dans des structures non ramifiées. Les doubles liaisons des acides gras insaturés naturels possèdent très souvent une configuration *cis*.

✚ Les acides gras saturés

La formule générale acides gras saturés (AGS) $CH_3-(CH_2)_n-COOH$. Ils sont classés en quatre sous-classes en fonction de la taille de leur chaîne aliphatique, ainsi, il y a : courte, moyenne, longue et très longue chaîne et qui se résument comme suite :

- Acides gras à chaîne courte: acides gras composés de trois à sept atomes de carbone.
- Acides gras à chaîne moyenne: acides gras composés de huit à treize atomes de carbone.
- Acides gras à longue chaîne: acides gras composés de quatorze à vingt atomes de carbone.
- Acides gras à très longue chaîne: acides gras composés de plus de vingt atomes de carbones.

À titre d'exemple, nous résumons dans le tableau 5 les acides gras saturés alimentaires qui sont les plus courants.

Tableau 5 : Les acides gras saturés courants dans les graisses et les huiles alimentaires (Rapport nutrition, 2008).

Nom	Nom systématique	Abréviation	Sources
Butyrique	Butanoïque	C4:0	Graisses laitières
Caproïque	Hexanoïque	C6:0	Graisses laitières
Caprylique	Octanoïque	C8:0	huile de coco et huile de palmiste
Caprique	Décanoïque	C10:0	Graisses laitières, huile de coco et huile de palmiste
Laurique	Dodécanoïque	C12:0	Huile de coco, huile de palmiste
Myristique	Tétradécanoïque	C14:0	huile de coco et huile de palmiste
Palmitique	Hexadécanoïque	C16:0	Majorité des graisses et huiles
Stearique	Octadécanoïque	C18:0	Majorité des graisses et huiles
Arachidique	Eicosanoïque	C20:0	Huile d'arachide
Behénique	Docosanoïque	C22:0	Huile d'arachide et huile de poisson
Lignocérique	Tétracosanoïque	C24:0	Huile d'arachide et huile de poisson

✚ Les acides gras insaturés

Les acides gras insaturés sont classés en trois sous-classes supplémentaires et cela en fonction de la taille de leur chaîne. Les différentes sous classes adoptées sont les suivantes :

- Les acides gras insaturés à chaîne courte: acides gras allant jusqu'à 19 carbones.
- Les acides gras insaturés à longue chaîne: acides gras allant de 20 à 24 carbones.
- Les acides gras insaturés à très longue chaîne: acides gras contenant au moins 25 carbones.

Ces gras insaturés jouent divers rôles et ont une importance capitale à l'échelle de la nutrition humaine et animale. En fonction du rôle nutritionnel et physiologique, cette catégorie est composée d'acides gras mono insaturés (AGMI) et d'acides gras polyinsaturés (AGPI).

1. Les acides gras mono-insaturés (AGMI)

Ces acides gras (AGMI) sont plus d'une centaine dans la nature (animale et végétale), cependant certains d'entre eux demeurent relativement rares. Le plus connu de ces acides gras est l'acide oléique (OA) est l'AGMI le plus courant, présent en grandes quantités chez les poissons et les oléagineux. Nous résumons dans le tableau 6 les différents AGMI alimentaires les plus connus.

Tableau 6 : Les acides gras mono-insaturés Cis courants dans les graisses et les huiles (Rapport nutrition, 2008).

Nom usuel	Nom systématique	Abréviation delta	Sources
Palmitoléique	<i>cis</i> -9-héxadécenoïque	16:1 Δ 9c (9c-16:1) H	Huiles de poisson, huile de macadamia, majorité des huiles animales et végétales
Oléique	<i>cis</i> -9-octadécenoïque	18:1 Δ 9c (9c-18:1) (OA)	Ensemble des graisses et huiles, surtout huile d'olive, de canola et huiles de carthame et de tournesol riches en acide
<i>cis</i> -vaccénique	<i>cis</i> -11-octadécenoïque	18:1 Δ 11c (11c-18:1)	Majorité des huiles végétales
Gadoléique	<i>cis</i> -9-eicosénoïque	20:1 Δ 9c (9c-20:1)	Huiles de poisson
Gondoïque ou	<i>cis</i> -11-eicosénoïque	20:1 Δ 11c (11c-20:1)	Huiles de poisson

gadoléique			
Erucique	<i>cis</i> -13-docosénoïque	22:1 Δ 13c (13c-22:1)	Huile de graines de moutarde, huile de colza riche en acide érucique
Nervonique	<i>cis</i> -15-tétracosénoïque	24:1 Δ 15c (15c-24:1)	Huiles de poisson

2. Les acides gras polyinsaturés (AGPI)

Ces acides gras polyinsaturés (AGPI) naturels sous forme configuration Cis sont les importants au niveau de la santé humaine et la nutrition. Selon les doubles liaisons situées en n-2, n-3, jusqu'à n-12, on note 12 familles (Gunstone, 1999). Parmi, ces familles, on note l'importance de la famille des oméga 3 (n-3) ou acide gras linoléique (18:3n-3 (ALA) et la famille des oméga 6 (n-6) ou acide linoléique (18:2n-6 (LA)). Ces acides gras sont essentiels pour l'homme car ils ne sont pas synthétisables par notre organisme mais plus tôt apportés par l'alimentation (poisson, végétaux). Chez l'homme, grâce aux enzymes

(désaturases et élongases) les chaînes de C18 l'acide gras alpha-linolénique (ALA) et acide linoléique (LA) sont allongés pour donner d'autres acides gras plus riche en double liaisons tels que : les oméga 3 l'acide eicosapentaénoïque 20:5n-3 (EPA) et l'acide docosahexaénoïque 22:6n-3 (DHA) (figure 14), et les oméga 6 : l'acide docosapentaénoïque (22:4n-6). Cependant, La synthèse de l'EPA et du DHA reste très insuffisante et ces acides doivent donc être apportés par l'alimentation. L'ALA n'exerce pas de fonction particulière, il s'agit du précurseur de la famille des n-3 qui fait simplement partie des triglycérides et des phospholipides. L'EPA joue un rôle principalement fonctionnel dans la transmission et le transfert des signaux. Le DHA est avant tout un élément structural des membranes neuronales. Tous les autres acides gras polyinsaturés (APLI) sont regroupés dans les tableaux 6, 7 et 8. EPA et DHA font partie des lipides de poisson. Les poissons marins comme le maquereau, le saumon, la sardine, le hareng et l'éperlan sont d'excellentes sources d'EPA et de DHA (Ackman, 2008^a). Les différentes sources de ces deux acides gras LA et ALA sont présents dans toutes les graisses alimentaires et atteignent de fortes proportions dans la plupart des huiles végétales et huile de poisson (White, 2008). L'ALA apparaît principalement dans les plantes, avec de fortes concentrations dans certaines graines et noix ainsi que dans des huiles végétales, cependant du point de vu régime alimentaire, l'ALA, demeure plus inférieur à celui de l'acide oléique ce qui se répercute le rapport ALA/ LA (n-3/ n-6) qui très utilisé dans le domaine de la nutrition humaine. Il ressort de la comparaison des recommandations émises

dans les différents pays que le rapport n-6 / n-3 doit se situer entre 3,6 - 5,8 avec une moyenne de 4,7. La recommandation la plus pratique semble donc être 5. L'EPA et DHA font partie des lipides de poisson. Les poissons marins (tableau 7) comme le maquereau, le saumon, la sardine, le hareng et l'éperlan, l'anguille sont d'excellentes sources d'EPA et de DHA (Ackman, 2008a). Par ailleurs, L'acide arachidonique (ARA) est présent en faibles quantités dans la viande, les œufs, le poisson, les algues et d'autres plantes aquatiques (Ackman, 2008^a) mais il est le principal précurseur des eicosanoïdes dérivés de la famille des omégas (n-6).

Il faut noter aussi les huiles de poisson qui contiennent 60 % d'EPA et de DHA sont vendues comme des sources de ces acides gras n-3 importants pour équilibrer le régime alimentaire carencé en oméga 3 mais riche en oméga 6. Egalement les huiles d'algues et de plantes oléagineuse représentent une bonne source pour le marché d'oméga 3. Par ailleurs, l'alimentation humaine contient des acides gras de configuration trans provenant du lait de vaches et chèvres (Huth, 2007) ou des aliments à base d'huile partiellement hydrogénés. Ces huiles trans ont tendance à perdre leur degré d'insaturation ce qui est moins nutritionnel.

Tableau 7: Sources d'EPA et de DHA dans chez les poissons (Brasseur, 2004).

Poisson	% lipides	% EPA	% DHA
Anguille	24,5	0,26	0,57
Hareng	17,5	2,04	0,68
Thon	15,5	1,08	2,29
Saumon	13,6	0,71	2,15
Maquereau	11,9	0,63	1,12
Sardine	5,2	0,58	0,81
Carpe	4,8	0,22	0,08
Morue	0,6	0,04	0,12
Cabillaud	0,6	0,06	0,12
Sole	1,4	0,03	0,16
Truite	5,8	0,30	0,88

Tableau 8 : Les acides gras polyinsaturés (AGPI) famille oméga n- 3 importants en nutrition (Rapport nutrition, 2008).

Nom de l'aide gras	Nom systématique	Abréviation (n moins)	Sources
Acide <i>alpha</i> -linolénique	Acide <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-octadecatriénoïque	18:3n-3 (ALA)	Huiles de lin et de soja
Acide stéaridonique	6, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-octadecatétraoïque	18:4n-3(SDA)	Huiles de poisson, huile de soja génétiquement enrichie, huiles de pépins de cassis et de chanvre
	Acide <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17-eicosatétraoïque	20:4n-3	Très faibles quantités dans les tissus animaux
Acide eicosapentaénoïque	Acide <i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17-eicosapentaénoïque	20:5n-3 (EPA)	Poisson, notamment poissons gras (saumon, hareng, anchois, éperlan et maquereau)
Acide docosapentaénoïque	Acide <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19-docosapentaénoïque	22:5n-3 (DPA)	Poisson, notamment poissons gras (saumon, hareng, anchois, éperlan et maquereau)
Acide docosahexaénoïque	Acide <i>cis</i> -4, <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16-docosahexaénoïque	22:6n-3 (DHA)	Poisson, notamment poissons gras (saumon, hareng, anchois, éperlan et maquereau)

Tableau 9 : Les acides gras polyinsaturés (AGPI) famille oméga n-6 importants en nutrition (Rapport nutrition, 2008).

Nom de l'aide gras	Nom systématique	Abréviation (n moins)	Sources
Acide linoléique	9, <i>cis</i> -12-octadecadiénoïque	18:2n-6 (LA)	Majorité des huiles végétales et huile de poisson
Acide γ -linoléique	Acide <i>cis</i> -6, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-octadécatriénoïque	18:3n-6 (GLA)	Huiles d'onagre, de bourrache et de pépins de cassis
Acide dihomo- γ -linoléique	Acide <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14-eicosatriénoïque	20:3n-6 (DGLA)	Très faibles quantités dans les tissus animaux
Acide arachidonique	Acide <i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14-eicosatétraénoïque	20:4n-6 (ARA)	Graisses animales, foie, lipides des œufs, poisson
Acide docosapentaénoïque	Acide <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16-docosatétraénoïque	22:4n-6	Très faibles quantités dans les tissus animaux
Acide docosapentaénoïque	Acide <i>cis</i> -4, <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16-docosapentaénoïque	22:5n-6	Très faibles quantités dans les tissus animaux

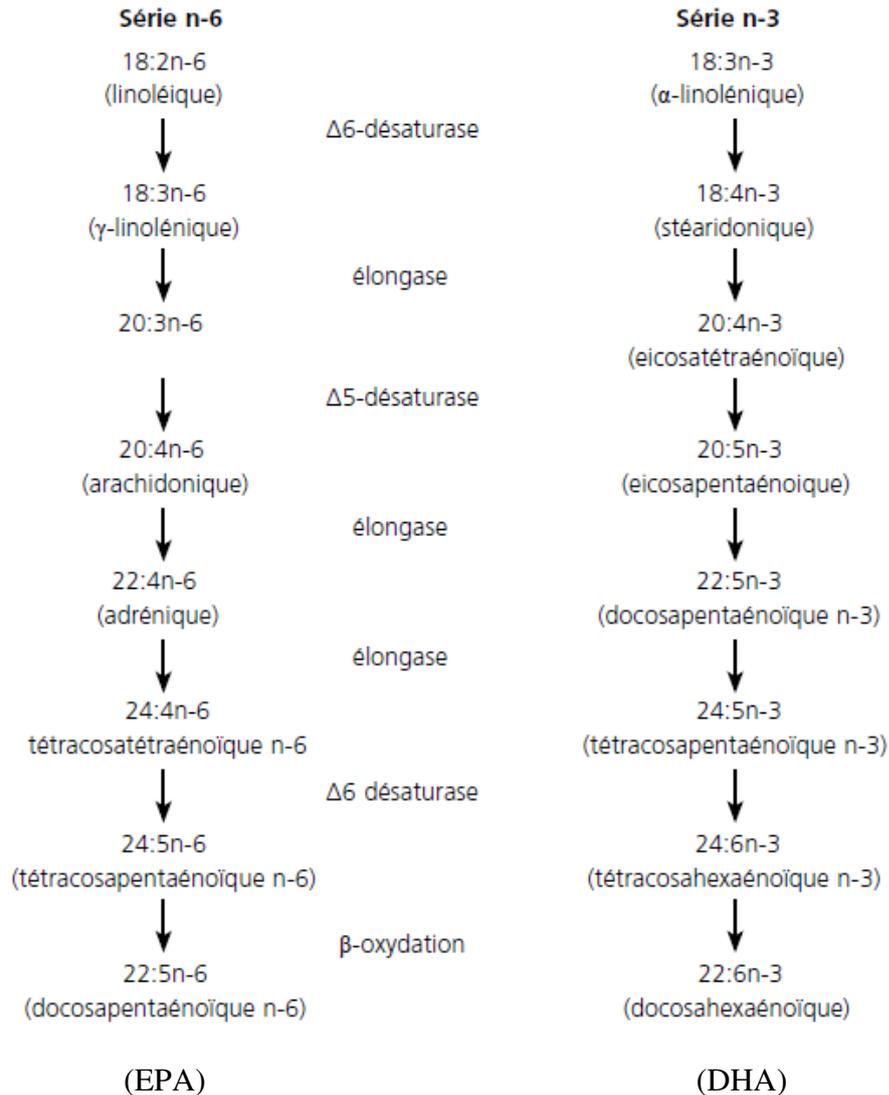


Figure14 : Voies métaboliques de conversion des acides linoléique et alpha-linolénique alimentaires en leurs acides gras polyinsaturés à longue chaîne (Rapport de nutrition, 2008).

En résumé, on pourra dire que les lipides alimentaires sont sources d'acides gras essentiels (AGE). Contrairement aux végétaux, les animaux n'ont pas la capacité de synthétiser les acides gras des séries (n-3) et (n-6) à partir de l'acide oléique (18:1 n-9). L'acide linoléique (18:2 n-6) et l'acide linoléénique (18:3 n-3) ne sont pas synthétisables par l'organisme, ils doivent être apportés par l'alimentation, ce qui donne un caractère essentiel chez les animaux (Henderson et Tocher, 1987). Contrairement aux animaux terrestres, les lipides d'origine aquatique contiennent une proportion importante d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne de la série n-3. Cette prédominance, encore plus importante en milieu marin, est due à la forte concentration d'acides gras polyinsaturés (n-3) dans le phytoplancton (Sargent *et al.*,

1989). Chez les mammifères, le besoin en AGE est principalement couvert par les acides gras de la série n-6. Chez les poissons, il apparaît que le besoin en AGE est principalement couvert par la série n-3, le besoin en AGE n-6 étant plus faible (Sargent *et al.*, 1999). On note également que contrairement aux poissons d'eau douce, les poissons marins, tel que la daurade, possèdent une faible capacité à la bioconversion des acides gras à 18 carbones en AGLPI due à la faible activité des enzymes en l'occurrence les désaturases (Tocher, 1993b). Ainsi, la diminution des activités de désaturation chez les poissons marins serait liée, soit à la disponibilité en AGLPI dans tous les maillons de la chaîne trophique, soit à leur régime alimentaire carnivore Kanazawa *et al.* (1979).

1.4. Composition de la chair de poissons et facteurs de variation :

1.4.1. Composition :

L'eau est le principal composant de la chair de poisson et représente un pourcentage de 70 à 80 % de matière fraîche. Les lipides représentent une fraction variable de 20 à 40 % en fonction de l'espèce de l'âge et de l'alimentation disponible dans le milieu naturel. Chez les mammifères comme chez les poissons, les principaux lipides de stockage sont des lipides neutres constitués de triglycérides et de quelques esters de cholestérol. Chez les mammifères, le stockage des lipides s'effectue essentiellement dans un tissu spécifique, le tissu adipeux. Par ailleurs, chez les poissons, il n'y a pas de tissu adipeux caractéristique et les poissons sont capables de stocker leurs graisses dans différents tissus dont le foie, le tissu adipeux péri-viscéral ou sous-cutané ou encore le muscle (Fauconneau *et al.*, 1990).

Les acides gras présents de l'ordre de 20 et 40 % et se situent au niveau muscle du poisson. Les acides gras les plus dominants sont l'acide palmitique (C16 :0), l'acide stéarique (C18 :0) et l'acide miristique (C14 :0). Les acides gras mono-insaturés (AGMI) varient fortement selon l'espèce et le régime alimentaire. Les plus majoritaires sont l'acide oléique (C18 :1 n-9) et l'acide céroléique (22 :1 n-11) qui proviennent de l'alimentation des copépodes des poissons d'eau froide (Sargent *et al.*, 1989). En ce qui concerne les acides gras polyinsaturés (AGPI), en général, les poissons contiennent entre 25 et 40 % d'acides gras polyinsaturés avec l'EPA de 14 à 19 % et le DHA de 5 à 8 %. (Bergé et Barnthan, 2005).

La chair de poisson est riche en protéine solubles et en acides aminés libres avec une proportion variant entre 15 et 25 % de la matière fraîche. La teneur en protéine semble

constante chez la même espèce (Kaushik, S.I., 1997). Au niveau de la chair de poisson, les taux d'hydrate de carbone est très faible et inférieur à 1%. (Piclet ; 1987). Les vitamines liposolubles comme les vitamines A, D, E et K. Les lipides sont une source énergétique non négligeable et assurent le transport des pigments caroténoïdes (Sargent *et al.*, 1989).

En ce qui concerne les protéines, le poisson représente un apport en protéines d'aussi bonne qualité que la viande. Il contient en plus une quantité plus importante de substances azotées non protéiques (ammoniaque, urée...) qui lui donnent une odeur caractéristique. Le poisson contient en moyenne 20 % de protéines.

Au niveau des lipides, le pourcentage est variable (0,5 % à 20 %) et ils sont classés en trois groupes :

- ✓ les poissons maigres (0,5 % à 5 %) : merlan, sole, dorade, morue, truite, ainsi que les mollusques et les crustacés.
- ✓ les poissons demi-gras (5 % à 10 %) : maquereau, sardine, saumon, thon.
- ✓ les poissons gras (> 10 %) les moins nombreux : anguille, hareng. Cependant, la composition lipidique des poissons varie beaucoup selon l'espèce considérée, le régime alimentaire et la saison de la pêche. Les lipides des poissons sont composés d'une proportion non négligeable d'acides gras mono insaturés et polyinsaturés en particulier de la série n-3 (l'acide eicosapentaénoïque (EPA) : C20:5 et l'acide docosa-hexaénoïque (DHA): C22:6).

La teneur en cholestérol du poisson est de 50 mg à 70 mg pour 100 g. Les crustacés ont une teneur assez élevée, en revanche les coquillages (huitres, moules, palourdes...) contiennent des quantités relativement importantes de stérols mais le cholestérol ne représente en fait qu'un tiers de ces stérols (Dupin H.J.L.*et al.*, 1992)

Les apports en minéraux, le poisson apporte peu de calcium mais représente une bonne source importante phosphore et d'iode pour les poissons de mer mais peu riche en fer. On note également, la présence zinc, fer, sodium et sélénium.

Nous résumons dans le **tableau 10** modifié, la composition nutritionnelle de quelques espèces de poissons.

Tableau 10 : Composition biochimique de la chair de quelques espèces de poissons les plus courants pour 100 g : modifié réf: www.nutraqua.com

Nom	Prot	Glu	Lip	Hum	cen	AGS	AGMI	AGPI	Oméga 3	Oméga 6	DHA	EPA
Dorade grise ou griset <i>Spondyliosoma</i> <i>cantharus</i>	20,5	0,2	5,1	72,9	1,3	1,419	1,783	1,346	1,056	0,22	0,388	0,470
Hareng commun gras <i>Clupea</i> <i>harengus</i>	18,7	1,1	10,6	68,3	1,4	2,232	5,334	2,074	0,204	0,021	0,827	0,449
Cabillaud ou morue commune <i>Gadus morhua</i>	17,9	0,8	0,4	79,7	1,1	0,098	0,064	0,215	0,188	0,025	0,052	0,124
Maquereau commun <i>Scombe</i> <i>r scombrus</i>	18,1	0,2	14,1	66,4	1,1	3,221	4,027	3,572	3,098	0,375	1,557	0,913
Merlan <i>Merlangiu</i> <i>s merlangus</i>	18,7	0,5	0,3	79,3	1,3	0,106	0,063	0,213	0,190	0,021	0,135	0,046
Mulet <i>Mugil spp</i> (<i>mugil</i> <i>cephalus</i>)	20,1	1,2	2,2	75,5	1,1	1,247	1,268	1,222	0,923	0,132	0,165	0,522
Raie <i>Raja spp</i>	21,4	0,3	0,2	76,8	1,3	0,118	0,074	0,156	0,135	0,019	0,109	0,011

1.4.2. Facteurs de variation :

Les différents facteurs de variation de la composition nutritionnelle des poissons sont les suivants :

✚ Facteurs intrinsèques

La teneur en lipides des muscles composant les filets, qui représentent les parties consommées chez les poissons, varie non seulement en fonction des espèces mais également, pour une espèce donnée, en fonction des individus. La teneur en lipides augmente avec l'âge et la taille des individus (Henderson et Tocher, 1987). Il montre également que ces teneurs en lipides musculaires varient au cours du cycle sexuel. Ainsi, pendant la période de maturation des gonades, les réserves lipidiques stockées dans le muscle sous forme d'énergie sont fortement mobilisées et transférées vers les gonades ce qui influence la qualité de la chair (Aksnes et al., 1986). Chez les poissons âgés, on remarque qu'il ya une corrélation entre la diminution de l'eau et l'augmentation des lipides avec la taille et l'âge. En revanche, le taux de protéines ne varie pas (Henderson et Tocher, 1987).

✚ Facteurs nutritionnels

La composition de la chair des poissons dépend du régime alimentaire. La composition en acides gras de la chair reflète celle des lipides de l'aliment (Corraze et Kaushik, 1999). Il est admis que chez la plupart des espèces, la teneur en lipides et la composition en acides gras du poisson sont corrélées avec l'incorporation de lipides dans les régimes alimentaires (Takeuchi *et al.*, 1978). En effet, l'augmentation de la teneur en lipides dans les aliments entraîne une augmentation des lipides de la chair en relation avec une diminution de la teneur en eau en particulier chez les espèces stockant une proportion importante de lipides dans le muscle (Watanabe, 1982). Selon Arzel *et al.* (1994), la nature des lipides alimentaires (origine marine ou végétale) n'influence pas la teneur lipidique du poisson mais affecte la composition en acides gras de la chair et Le profil en acides gras du muscle reflète bien la composition en acides gras des aliments. Ainsi, chez les espèces dites intermédiaires ou grasses, les teneurs en EPA et DHA dans le muscle sont d'autant plus importantes que les aliments pour poissons contiennent des quantités croissantes d'AGPI n-3 apportées par l'huile de poisson dans le cas d'élevage. L'avenir de l'aquaculture, qui utilise de plus en plus d'aliments composés riches en lipides, a fait augmenter fortement la demande en huile de poisson, principale source de lipides des aliments piscicoles.

✚ Facteurs environnementaux

Les facteurs environnementaux (la température, la salinité, l'oxygénation et autres) vont influencer de manière directe mais surtout indirecte la composition de la chair de poisson. En effet, selon la saison, des variations en particulier des teneurs en eau et en lipides du poisson dues aux fluctuations de température et aux changements alimentaires. Ainsi, il est admis que la température de l'eau constitue un facteur écologique très important qui conditionne la consommation de nourriture dans leurs milieux naturels. Selon Lecomte –Finiger (1983), l'espèce *Anguilla* est souvent influencée par l'augmentation de la température et se nourrit en particulier la nuit en période chaude pendant les saisons de printemps et d'été et les maximums d'activités alimentaires sont observées entre 25 et 26 °C. En revanche des températures supérieures à 29 °C sont néfastes pour l'anguille. Des travaux de recherche (Takeuchi *et al.*, 1989) montrent qu'une augmentation de la salinité induit un enrichissement en AGPI en particulier en DHA dans les phospholipides des branchies chez le saumon atlantique . De même il a été observé que lorsque la quantité d'oxygène du milieu diminue, une augmentation de la teneur en glycogène entraîne une variation du pH *post-mortem* dans le muscle (Haard, 1992). Toutes ces variations dues aux facteurs environnementaux seront importantes chez les poissons sauvages. En effet, chez les poissons d'élevage, ces variations sont inexistantes du fait qu'il y a contrôle des différents paramètres d'optimisation (la salinité, l'oxygénation , la température , l'alimentation , débit d'eau et autres) impliqués dans de le domaine de l'aquaculture.

2. Matériel et méthodes

2.1. Zone d'étude

Dans le cadre de cette étude nous avons procédé à l'examen des anguilles capturées dans le lac Tonga et la lagune El Mellah ; ces deux plans d'eau font partie du complexe des zones humides que le Parc National d'El Kala abrite.

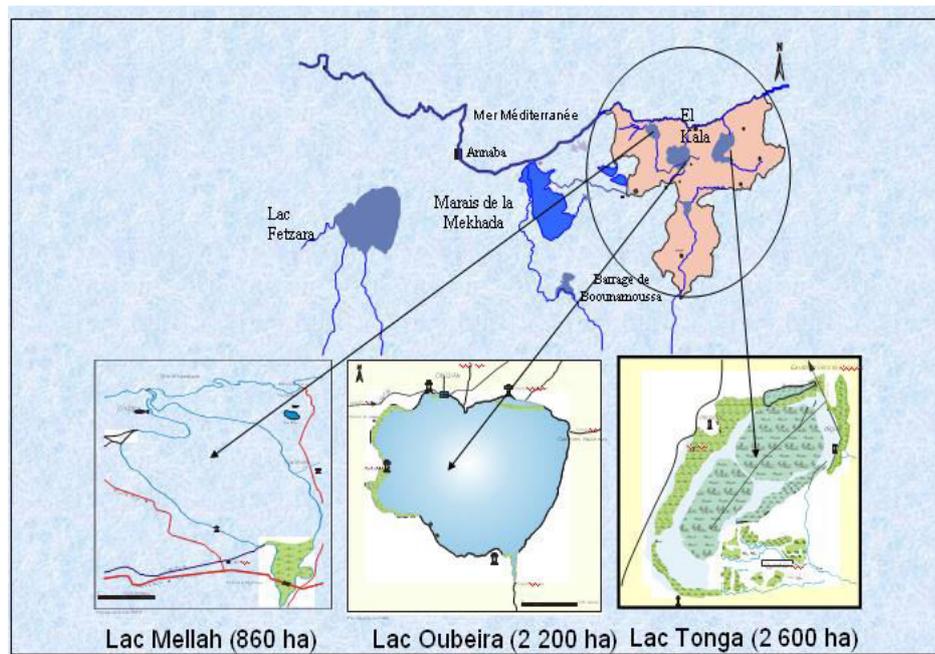


Figure 15: Carte représentant le Parc National d'El kala (PNEK 2009).

2.1.1. Le lac Tonga :

Le Lac Tonga est un plan d'eau de type « étang » c'est-à-dire de moins de 6 m de profondeur, localisé à 5 km au Sud-Est de la ville d'El-Kala et à 65 km à l'Est-Sud-Est de la ville d'Annaba (Fig.16). Ses coordonnées géographiques au centre sont 36° 51' 511 Nord – 8° 30' 100 Est.

De forme allongée, son périmètre est égal à environ 22 km et sa superficie, en situation de pleine eau, est de l'ordre de 2 300 ha environ ; Elle est sensiblement réduite en été du fait de l'évaporation. Les zones exondées sont localisées à l'Ouest et à l'ensemble de la partie Sud du lac (M.P.R.H. 2004).

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. La profondeur moyenne est de 1,20 m. (M.P.R.H. 2004).



Figure 17 : Photographie de la flore présente dans le lac Tonga (P.N.E.K., 2009).

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 *Rallus aquaticus*, 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 (P.N.E.K., 2009).

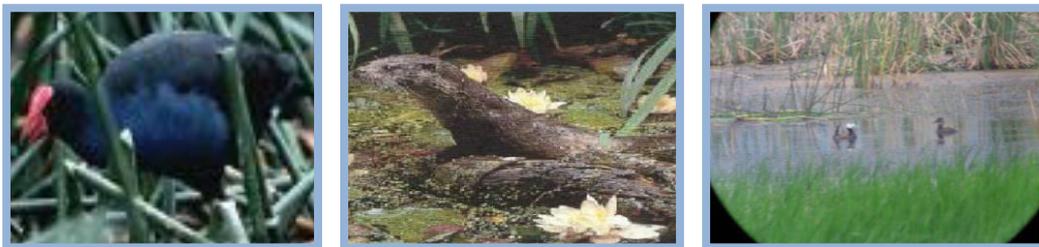


Figure 18 : Photographie de la faune présente dans le lac Tonga (PNEK 2009).

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.

En dehors de l'Anguille, trois espèces de poisson sont recensées dans ce site : la Carpe commune *Cyprinus carpio*, le Barbeau *Barbus callensis*, la Gambusie *Gambusia affinis*. Seule l'anguille fait l'objet d'une exploitation par des concessionnaires privés ; Les quantités annuelles pêchées durant la période s'étalant de 1990 à 2003 varient de 9 à 36 tonnes (source M.P.R.H. 2004).

2.1.2. La lagune El Mellah

Le lac Mellah est une lagune côtière localisée à 9,5 km à l'ouest de la ville d'El-Kala. Ses coordonnées géographiques au centre sont 36° 53' 565 Nord – 8° 19' 560 Est (Fig. 19).

La lagune El Mellah est de forme ovoïde ; son périmètre est égal à 13,53 km et sa superficie est de l'ordre de 864 ha. La longueur du chenal est égale à 0,870 km, sa largeur est de 15 m environ (M.P.R.H. 2004).

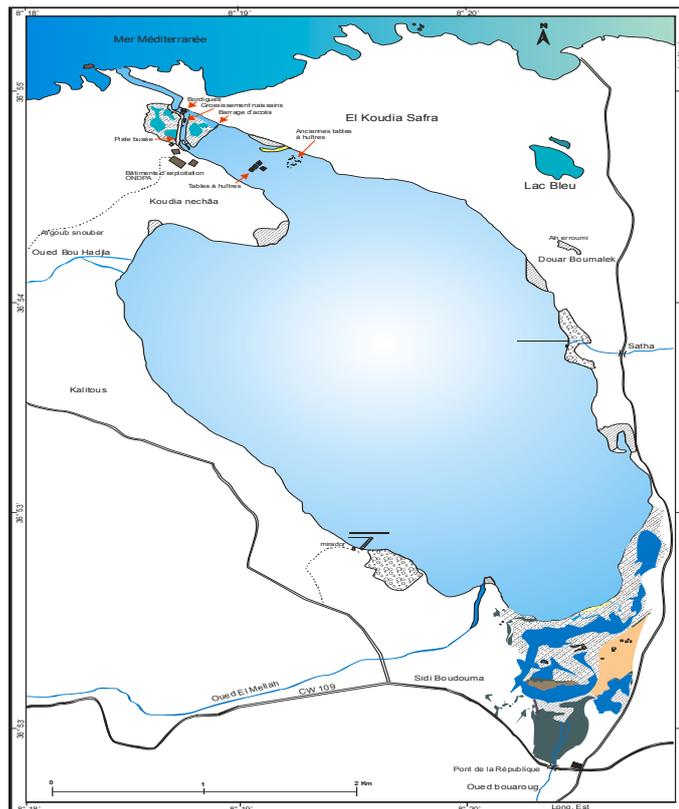


Figure 3 : Carte générale du lac Mellah

Figure 19: Carte générale de la lagune El Mellah (source M.P.R.H. 2004).

Les mesures bathymétriques font ressortir que la lagune El Mellah est un plan d'eau peu profond. La profondeur maximale est de 6,40 m et ne représente que 0,3% de la superficie. La profondeur moyenne est égale à 2,7 m.

La lagune peut être considérée comme un niveau de base vers lequel convergent les eaux de surface et les eaux souterraines. Ce plan d'eau constitue un réceptacle particulier compte tenu de sa relation directe avec la mer par son chenal au nord. Il est alimenté par trois principaux cours d'eau dont le régime d'écoulement est pérenne : L'oued Reguibet au Nord-Ouest, l'oued Mellah au Sud-Ouest et l'oued Belaroug au Sud-Est.

Les échanges entre la lagune et la mer se font par le chenal ; les transferts, de volumes d'eau, qui se produisent sont liés aux mouvements des marées et de la houle qui élèvent sensiblement le niveau de la mer au dessus de celui des eaux de la lagune ; de ce fait la mer « coule dans le lac ». A l'inverse, quand les précipitations relèvent le niveau des eaux de la lagune au-dessus de celui de la mer, les eaux de la lagune « coulent » vers la mer.



Figure 20 : Photographie du chenal de la lagune El Mellah (P.N.E.K., 2009).

Dans la lagune la température de l'eau est comprise entre 11,8°C et 28°C ; La salinité présente, comme la température, des fluctuations saisonnières ; les salinités faibles (21.9 g/l) relevées en période hivernale s'expliqueraient par la forte dilution des eaux de la lagune engendrée par les apports élevés en eau douce des fortes précipitations et la faible évaporation de l'eau. Les fortes salinités de l'eau (34.9 g/l), relevées en période chaude, sont la résultante de l'action combinée des fortes températures engendrant de fortes évaporations et la baisse des précipitations à l'origine de la baisse des apports en eau douce. Cette salinité est aussi sous l'influence des échanges mer-lagune par le biais du chenal. Etant donné le faible volume de la lagune par rapport aux apports d'eau, le régime de la salinité est régi par celui des précipitations ; c'est l'importance de ces dernières qui engendre l'excédant ou le déficit et détermine ainsi le sens des échanges avec la mer et, de ce fait, la concentration en sels.

Le pH de l'eau de la lagune est alcalin (dépassant 8) ; cette alcalinité du pH de l'eau montre que la lagune est sujette à une forte activité photosynthétique. Les relevés de ce paramètre abiotique mettent en évidence l'existence de fortes teneurs en oxygène en période hivernale et printanière (comprises entre 8 et 12 mg/l) et la baisse de ces teneurs en période estivale (proche de 6 mg/l).

Une végétation typiquement halophile (jonc, sali come) se développe au niveau du lac Mellah (PNEK 2009).



Figure 21 : Photographie de la flore présente dans la lagune El mellah (P.N.E.K., 2009).

Sur les 30 espèces d'oiseaux marins recensées en Algérie, la lagune El Mellah en héberge 11 soit 37% du total. Si on y ajoute le Cormoran huppé et la Mouette mélanocéphale ainsi que les espèces pélagiques telles que le Fou de Bassan, les Puffins...ont obtenu une richesse globale pour la région qui est égale à 16 espèces soit plus de 50% des oiseaux marins d'Algérie.

L'activité de pêche des poissons et des coquillages dans le lac Mellah est pratiquée au moyen de différents engins : la bordigue, les filets maillants et les nasses pour les poissons. Les râtaux pour les coquillages fouisseurs (palourde et coque).

La bordigue est une installation qui permet la capture des espèces euryhalines dans leur phase migratoire. Ces barrages à poissons ont en commun leur principe architectural : un ou plusieurs déflecteurs qui dévient ou stoppent les poissons dans leurs mouvement naturels et les acheminent vers des chambres, dont la dernière étant la chambre de capture.



Figure 22 : Photographie de la bordigue de la lagune El Mellah (P.N.E.K., 2009).

La combinaison d'un filet de barrage se terminant par une nasse fournit ce qu'on appelle le verveux (voir ci-dessous). Cet engin de capture, de fabrication artisanale (cerceaux

en bois, en plastique ou métallique, filet), est destiné généralement pour la pêche d'espèces sédentaires et benthiques. L'une des extrémités, la plus large est ouverte, l'autre est fermée. Fixé solidement sur le fond, le courant de l'eau la traverse d'un bout à l'autre. Les poissons, en particulier l'anguille, sont conduits par le barrage médian puis entrent par la grande ouverture et s'arrêtent au fond ne pouvant rebrousser chemin. Le verveux est orienté en fonction du passage des poissons à capturer, dans le sens du courant pour la descente des anguilles.



Figure 23 : Nasse utilisée pour la capture des anguilles.

Le lac Mellah est réputé pour sa richesse halieutique composée de 17 d'espèces de poissons, des mollusques et des crustacés à grande valeur marchande tels le loup, la daurade, la sole, l'anguille, la palourde, la matsagoune (P.N.E.K., 2009). Les espèces capturées par la pêche professionnelle sont rapportées dans le tableau 11; il est par ailleurs signalé la valeur commerciale et l'abondance estimée de chaque espèce.

Tableau 11: Liste et abondance des espèces pêchées dans la lagune El Mellah (source M.P.R.H. 2004).

Famille	Espèce	Nom commun	Valeur commerciale	Abondance
Anguillidés	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	2	++
Atherinidés	<i>Atherina boyeri</i>	Athérine	3	+++
Congridés	<i>Conger conger</i>	Congre	3	+
Moronidés	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Loup	1	++
Mugilidés	<i>Chelon labrosus</i>	Mulet lippu	2	++
	<i>Liza aurata</i>	Mulet doré	2	+++
	<i>Mugil cephalus</i>	Mulet grosse tête	2	+++
	<i>Liza ramada</i>	Mulet porc	2	+
	<i>Liza saliens</i>	Mulet sauteur	2	+
Muraenidés	<i>Muraena helena</i>	Murène	3	+
Soléidés	<i>Solea senegalensis</i>	Sole	1	+
Sparidés	<i>Sparus aurata</i>	Daurade	1	++
	<i>Diplodus sargus</i>	Sar commun	1	++
	<i>Diplodus vulgaris</i>	Sar à tête noire	1	++
	<i>Lithognathus mormyrus</i>	Marbré	2	++
	<i>Boops boops</i>	Bogue	3	++
	<i>Sarpa salpa</i>	Saupe	3	++
TOTAL				17

(+++ : très abondante; ++ : abondante; + : peu abondante ; 1 : forte, 2 : moyenne, 3 : faible)

.2. Modèle biologique « *Anguilla anguilla* » :

C'est un poisson au corps serpentiforme doté de nageoires pectorales le long du corps. Son corps est cylindrique dans sa partie inférieure et aplati latéralement dans la région caudale. L'anguille européenne est une espèce diadrome thalassotoque, dont le cycle de vie comprend deux trajets migratoires importants qui lui confèrent un titre de « grand migrateur ». C'est une espèce panmictique (Schmidt, 1922) et semelpare (Fontaine *et al.*, 1982). L'espèce est vraisemblablement constituée d'un seul stock de reproducteurs dans la mer des sargasses. Les œufs éclosent en mer des Sargasses et les larves sont portées par les courants marins en direction Nord Nord-Est jusqu'à l'atteinte des côtes européennes (au bout de 1 à 3 ans) ; elles subissent différentes transformations passant par les stades civelle, anguillette, anguille jaune et enfin anguille argentée ; cette dernière constitue le stade précoce de maturation sexuelle qui cherche à retourner en mer des Sargasses pour pondre, puis mourir (Ginneken et Maes, 2005 ; Maes *et al.*, 2006).

Le cycle de vie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.) est caractérisé par deux migrations transocéaniques de courte durée par rapport à la phase de croissance continentale, et deux métamorphoses avec, très certainement, une seule et ultime reproduction.

L'anguille jaune qui intervient ensuite correspond à une phase de croissance essentiellement "sédentaire" (Laffaille *et al.*, 2005a). Cependant, il semble exister, selon Daverat *et al.* (2006) des déplacements importants entre les différentes zones d'un bassin versant, voire entre les zones dulçaquicoles et les zones marines côtières.

La croissance montre une grande variabilité individuelle et est de plus marquée par un fort dimorphisme sexuel. Les femelles croissent plus rapidement et surtout plus longtemps que les mâles (Kushnirov et Degani, 1995) ; Il en résulte que la longueur des mâles est nettement moindre que celle des femelles pour des âges avancés (Sinha et Jones, 1966 ; Lee, 1979 ; Vollestad et Jonsson, 1988).

La différenciation sexuelle, très labile, apparaît à partir de 15-20 cm et jusqu'à 30 cm. Le déterminisme sexuel est induit par des facteurs écologiques et/ou environnementaux (Wiberg, 1983; Colombo-Grandi et Rossi, 1984). Il semble exister une répartition géographique différentielle en fonction des sexes : les plus grandes femelles sont dominantes dans les zones situées dans les zones de tête de bassin versant alors que les mâles sont majoritaires dans les zones situées en aval des hydrosystèmes (Haraldstad *et al.*, 1985; Vollestad, 1992). Enfin, notons que la détermination de l'âge chez l'anguille est très difficile. Les méthodes utilisées font l'objet de nombreuses controverses engendrant, par conséquent, des incertitudes sur la durée de cette phase de croissance. Cependant, des études ont pu

montrer que cette phase de sédentarisation correspond à une phase de croissance active et d'accumulation de réserves qui peut durer de 5 à 9 ans dans les eaux françaises (Mounaix, 1992 ; Panfili et *al.*, 1992). La deuxième et dernière métamorphose qui permet le passage de l'anguille jaune à l'anguille argentée, met fin à cette étape.

L'argenture est l'ultime métamorphose qui prépare l'anguille à la migration de reproduction grâce à tout un ensemble de modifications morphologiques et physiologiques qui marquent la limite entre deux étapes caractérisées par des modes de vie et des environnements très différents. Ces transformations débutent bien avant la migration elle-même et sont, à ce titre, anticipatrices (Fontaine, 1994). Elles débutent au printemps, sous l'effet de facteurs endogènes bien avant les manifestations externes qui n'apparaissent qu'à la fin de l'été et à l'automne et aboutissent à la dévalaison sous l'effet de facteurs exogènes. A ce jour, aucun facteur interne ou externe n'a été clairement désigné comme initiateur de la métamorphose (Eelrep, 2005).

Les travaux de Dufour (1994) présentent des arguments pour une migration à grande profondeur, la pression hydrostatique jouerait un rôle primordial dans la stimulation de la fonction gonadotrope (Dufour et Fontaine, 1985).

Cette migration de reproduction qui permet de couvrir entre 5000 et 6000 km, est donc encore très mal connue. Certains auteurs estiment que le retour à la mer des Sargasses durerait 120 jours environ à une vitesse de 1,4 km/h (Boëtius et Boëtius, 1980).

Le nombre d'ovules émis par la femelle est compris, selon Elie (1998), entre 800 000 et 1 400 000, ce qui confère à l'espèce une capacité de reproduction importante. Le pic d'intensité maximale des pontes se situerait entre les mois de mars et avril, en relation avec l'arrivée massive des civelles l'hiver suivant (Guerault et *al.*, 1991).

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.

Au cours des stades de civelle 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.

2.3. Méthodes d'étude :

La présente étude a ciblé les populations d'anguilles peuplant le lac Tonga et la lagune El Mellah. Les anguilles sont transférées et maintenues vivantes au laboratoire afin de subir le protocole spécifique à chaque partie de l'étude entrant dans le cadre de cette thèse.

✓ L'étude des structure de la population, des endoparasites et du régime alimentaire de l'anguille s'est étalée de janvier 2013 à décembre 2014 (deux cycles : I et II) ; Pour sa réalisation nous avons procédé mensuellement à un échantillonnage aléatoire de 15 anguilles par plan d'eau.

✓ En ce qui concerne l'étude biochimique, pour sa réalisation nous avons prélevé des morceaux de muscle frais de l'espèce *Anguilla anguilla*. Les différents échantillons d'anguille de poids variant entre 250 à 600g proviennent des deux plans d'eau. Les anguilles, au nombre de 15 (N=15) par site et par saison (hiver et printemps), ont été capturées au cours de l'année 2014 (janvier et mars). Les échantillons d'anguilles collectés, sont sacrifiés et stockés au niveau du congélateur -0 °C pour servir au dosage des différents paramètres biochimiques visés.

2.3.1. Protocole d'étude des endoparasites et du régime alimentaire :

Les anguilles sont transférées et maintenues vivantes au laboratoire afin de subir le protocole comprenant les opérations décrites dans ce qui suit :

✚ Mesures biométriques des individus (poids et longueurs)

Avant de sacrifier l'anguille, nous mesurons d'abord sa longueur totale (au mm près à l'aide d'un ichtyomètre) puis nous la pesons (à 0,01 g près à l'aide d'une balance).



Figure 24 : Pesée de l'anguille (photo de gauche) ; mesure de la taille (photo de droite)

(Ladjama, 2013)

✚ Dissection et éviscération 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.25).



Figure 25 : Ouverture de la cavité générale : vue sur les organes internes (Ladjama, 2013).

▪ Les tubes digestifs sont prélevés après 2 sections : l'une au niveau supérieur de l'oesophage (près de la cavité buccale) et l'autre à proximité de la papille uro-génitale (anus). Les intestins sont débarrassés des graisses mésentériques (lorsque celles-ci adhèrent à l'organe). L'estomac, les cæcums pyloriques et l'intestin sont séparés et sectionnés longitudinalement pour être vidés de leur contenu (sans gratter la paroi), à l'aide d'une spatule ou pince, par lavage au-dessus d'une boîte de Pétri.



Figure 26 : Boîte de Pétri contenant le tube digestif, le foie et les gonades ; vessie natatoire toujours en place chez une anguille argentée (Ladjama, 2013).

A l'aide d'une loupe binoculaire, les différentes proies ingérées sont examinées et identifiées puis dénombrées afin de déterminer le régime alimentaire des anguilles (fig. 27);

En ce qui concerne les parasites rencontrés ; ces derniers sont récupérés et conservés dans un fixateur afin qu'ils soient identifiés ultérieurement.



Figure 27 : Proies rencontrées dans l'estomac d'anguille : crustacés (photo de gauche) et poisson (photo de droite) (Ladjama, 2013).



Figure 28: Cestode parasite *B. claviceps* présent dans les intestins de l'anguille (Ladjama, 2013).

-□ Vessie gazeuse

L'examen de la vessie gazeuse a d'abord consisté à évaluer son état de dégradation (vessie opaque, hémorragique, nacrée, translucide), avant de l'isoler et de la sectionner longitudinalement.



Figure 29: Prélèvement de la vessie natatoire d'une anguille argentée (Ladjama, 2013).



Figure 30: Vessie natatoire d'anguille présentant une paroi opaque (photo de gauche), présence de nématodes parasites (photo de droite) (Ladjama, 2013).

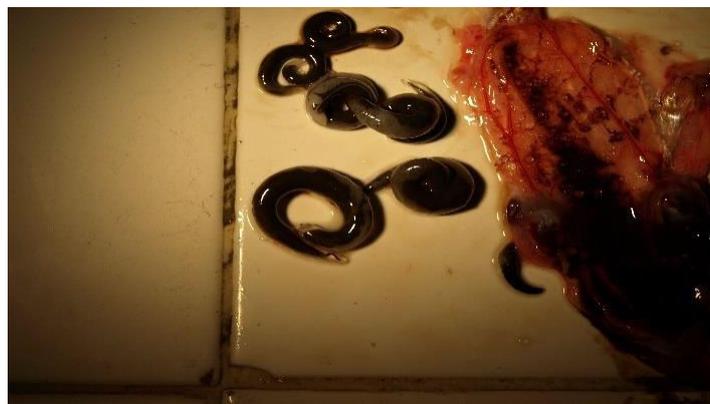


Figure 31 : Photographie montrant des vers nématodes hors de la vessie ; noter l'état hémorragique de la paroi avec présence de bulles de gaz (Ladjama, 2013).

Les parasites rencontrés dans la vessie natatoire sont prélevés, la plupart du temps vivants, puis sont débarrassés du liquide hémorragique pour être ensuite dénombrés et conservés pour un traitement ultérieur.

A la fin de chaque opération, en prévision d'une identification ultérieure, chaque parasite sera placé dans un pilulier contenant une solution d'éthanol à 70%, sur lequel sera collée l'étiquette qui portera les informations relatives à la date et le lieu de capture du poisson, la position du parasite dans l'hôte.

Les parasites sont manipulés et transférés avec des pipettes, ou des pinceaux fins car les instruments pointus ont tendance à les percer. L'étude de l'anatomie des parasites récoltés est réalisée à l'aide d'une loupe stéréomicroscopique(Olympus SZX 10).

2.3.2. Indices parasitaires :

Nous utilisons dans cette étude les indices parasitaires proposés par Margolis et *al.*, (1982):

❖ *Prévalence spécifique (P) :*

C'est le rapport en pourcentage du nombre d'hôtes infestés (**N**) par une espèce donnée de parasites sur le nombre de poissons examinés (**H**).

$$P(\%) = \frac{N}{H} \times 100$$

P = Prévalence.

N = Nombre d'Hôtes infestés.

H = Nombre de poissons examinés.

Intensité parasitaire moyenne (I):

Elle correspond au rapport du nombre total d'individus d'une espèce parasite (**n**) dans un échantillon d'hôtes sur le nombre d'hôtes infestés (**N**) dans l'échantillon ; c'est donc le nombre moyen d'individus d'une espèce parasite par hôte parasité dans l'échantillon.

$$I = \frac{n}{N}$$

I = Intensité

n = nombre de parasites

N = Nombre d'Hôtes infestés

Abondance parasitaire (A) :

C'est le rapport du nombre total d'individus d'une espèce de parasite (**n**) dans un échantillon d'hôtes sur le nombre total de poisson (**H**) dans l'échantillon ; c'est donc le nombre moyen d'individus d'une espèce de parasite (**n**) par poisson examiné.

$$A = \frac{n}{H}$$

A = Abondance

n = nombre de parasites

H = Nombre de poissons examinés

2.3.3. Caractérisation du régime alimentaire :

Pour cela, nous avons procédé au dénombrement du nombre d'estomacs vides ; Les tubes digestifs pleins sont vidés de leur contenu dans des boites de Pétri ; A l'aide de loupe binoculaire, le contenu du tube digestif est examiné, les différentes proies ingérées sont examinées, identifiées et dénombrées;



Figure 32: Présence d'un poisson dans le tube digestif d'une anguille capturée (Tahri, 2016).

Suite au comptage des proies, nous avons procédé à l'évaluation de certains paramètres dont l'analyse mène à la caractérisation du régime alimentaire :

- **Coefficient de vacuité (CV%)** : il permet de quantifier le comportement alimentaire. C'est le nombre de tubes digestifs vides (N_v) par rapport au nombre total de tubes digestifs examinés (N) :

$$CV\% = (N_v / N) \times 100.$$

- **Fréquence d'une proie (F%)** : c'est le rapport exprimé en pourcentage entre le nombre total des tubes digestifs contenant cette proie (N_i) et le nombre total des tubes digestifs pleins examinés (N_p) :

$$F\% = (N_i / N_p) \times 100.$$

2.3.4. Croissance de la fraction de population examinée :

○ *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

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) ou allométrique majorante (si b>3), ce qui indique qu'il existe des différences entre la croissance en poids et en longueur.

○ *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.

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

2.3.5. Paramètres physicochimiques :

Les paramètres physico chimiques étudiés sont la température, le pH, l'oxygène dissous, les matières en suspension et la salinité.

Les mesures de la température (T°C), le pH, l'oxygène dissous (O₂ en mg/l) et la salinité ont été réalisées « *in situ* » à l'aide de multi paramètres (Consort 535 et radiomètre Pioneer) préalablement calibrés. L'utilisation de l'appareil consiste à faire plonger la sonde dans l'eau

et attendre quelques secondes la stabilisation de l'affichage sur l'écran puis lire le résultat de la mesure sur l'écran.

La détermination des matières en suspension dans l'eau est réalisée par l'application de la méthode de pesée différentielle après filtration sur un filtre de fibre de verre Whatman GF/C de 47 mm de diamètre ; l'utilisation de ce type de filtre permet la rétention de toutes les particules de taille variant entre 0.47 μ m et 250 μ m.

2.3.6. Extraction et dosage des : Lipides, Glucides, Protéines

2.3.6.1. Dosage des lipides :

L'extraction des lipides totaux est effectuée par la méthode de (Folch et al, 1957) selon le protocole (Figure 33). L'échantillon de muscle d'anguille de 0,5 g est broyé, homogénéisé dans 1 ml d'acide trichloracétique ou TCA (20 %). Après une première centrifugation de la solution broyée (5000 trs/min à 4°C, pendant 10 min), le surnageant (I) obtenu sert au dosage des glucides totaux selon la méthode de Duchateau & Florkin (1959). Le reste des tubes (culot I) est additionné du mélange en partie égale d'éther et de chloroforme. Par la suite, une seconde centrifugation (5000 trs/min à 4°C, pendant 10 min), qui donne un autre culot (II) destiné au dosage des lipides totaux (Goldsworthy et al, 1972). Le surnageant (II) sera dissout dans de la soude (0,1 N) et utilisé pour le dosage des protéines totales selon Bradford (1976).

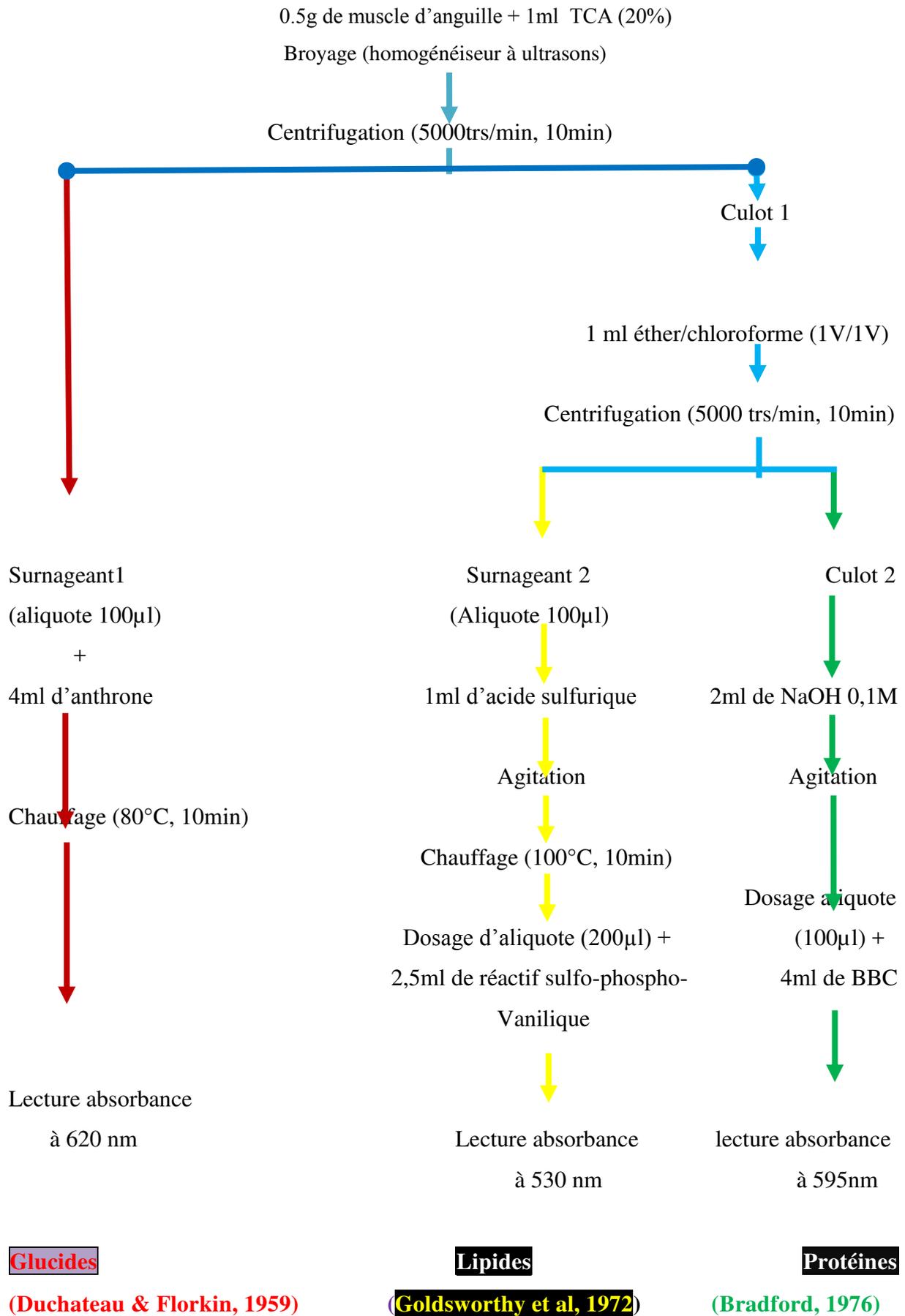


Figure 33 : Protocole d'extraction des glucides, protéines et lipides totaux.

2.3.6.2. Dosage des glucides :

Le dosage des glucides a été réalisé sur le muscle de l'anguille fraîchement décongelé des 15 échantillons du lac Tonga et du lac El-Mellah selon la méthode de Duchateau & Florkin (1959). Cette méthode utilise l'anthrone comme réactif et une solution mère de glucose (1g/L) comme standard. Une série de dilution est effectuée sur la solution mère selon le (Tableau 12). La préparation du réactif d'anthrone se fait comme suit : à 150 mg d'anthrone est ajouté 75 ml d'acide sulfurique concentré et 25 ml d'eau distillée, pour obtenir à la fin une solution limpide de couleur verte, utilisé après 4h d'obscurité. Pour chaque essai, trois répétitions sont effectuées.

Tableau 12 : Réalisation de la gamme d'étalonnage pour le dosage des glucides totaux

Tubes	1	2	3	4	5	6
Solution mère de glucose (µl)	0	20	40	60	80	100
Eau distillée (µl)	100	80	60	40	20	0
Anthrone (ml)	4	4	4	4	4	4

❖ Mode opératoire :

Pour chaque dilution des 15 échantillons à analyser, nous réalisons le mode opératoire suivant :

- 4ml d'anthrone sont ajoutées à chaque tube et l'ensemble est agité.
- les tubes sont chauffés au bain Marie à 80°C pendant 10 min.
- lecture d'absorbance au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 620 nm. L'absorbance de la couleur verdâtre est proportionnelle à la quantité de sucres. Une courbe d'étalonnage (droite de régression (**Annexe- Figure 2**) de la densité optique (DO) en fonction de la concentration des glucides est tracée qui ultérieurement permet de connaître la quantité des différents échantillons. Parallèlement, les échantillons sont traités dans les mêmes conditions que la gamme d'étalonnage, en tenant compte des dilutions, la densité optique est mesurée et les résultats sont exprimés en pourcentage.

2.3.6.3. Dosage des protéines :

Le dosage des protéines est réalisé également sur la chair fraîche des différents échantillons selon la méthode de Bradford (1976) en ajoutant à 100µl du culot II, 4 ml de

réactif du bleu brillant de Coomassie (BBC) G 250. La solution de BBC se prépare comme suit : 100 mg de BBC est homogénéisée dans 50 ml d'éthanol (95°), ensuite 100 ml d'acide orthophosphorique à 85% est additionné au mélange et ensuite compléter à 1000 ml avec l'eau distillée. Celui-ci révèle la présence des protéines en les colorants en bleu. La gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution d'albumine de sérum de bœuf (Sigma) titrant 1 mg/ml. Une série de dilution a été réalisé pour l'obtention de la gamme d'étalonnage selon le (Tableau 13). Pour chaque essai trois répétitions sont effectuées.

Tableau 13 : Réalisation de la gamme d'étalonnage pour dosage des protéines totales

Tubes	1	2	3	4	5	6
SAB (µg)	0	20	40	60	80	100
Eau distillée (µl)	100	80	60	40	20	0
BBC (ml)	4	4	4	4	4	4

❖ Mode opératoire :

-4ml de bleu brillant de Coomassie G250 (BBC) sont ajoutés dans chaque tube et l'ensemble est agité.

- les tubes sont directement portés au spectrophotomètre sans chauffage pour une lecture d'absorbance à la longueur d'onde de 595 nm. La mesure des absorbances par rapport à un blanc permet de tracer la courbe d'étalonnage en fonction de la concentration des protéines. Pour ce qui est du dosage de nos échantillons de filets d'anguilles. Les culots des différents échantillons obtenus sont mis en solution dans 2ml de NaOH 0,1M. En tenant compte des différents essais de dilutions, l'ensemble est traité dans les mêmes conditions que la gamme d'étalonnage et l'absorbance est mesurée au spectrophotomètre à la même longueur d'onde 595nm. Le taux de protéine de chaque échantillon est déterminé par rapport à la droite de régression (**Figure 4-Annexe**) établit au préalable et les résultats sont exprimés en pourcentage.

2.3.6.4. Dosage des lipides totaux :

Les lipides totaux ont été déterminés selon la méthode de Folch et al, 1957 en utilisant la vanilline comme réactif. Le dosage des lipides se fait sur des prises de 100 µl du surnagent II qui subissent une évaporation totale puis 1ml d'acide sulfurique concentré (36 N) a été ajouté, les tubes sont ensuite agités et mises pendant 10 min dans un bain de sable à 100°C. Après refroidissement, 200 µl de ce mélange est ajouté à 2,5 ml de la vanilline et après 30 mn

d'obscurité, une coloration rose se développe. La densité optique est lue dans un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 530 nm. Le réactif est préparé comme suit : faire dissoudre 0,38 g de vanilline dans 55 ml d'eau distillée et ajouter 195 ml d'acide ortho-phosphorique à 85%, ce réactif se conserve à l'obscurité. La quantité des lipides est calculée à partir de la droite de régression obtenue (**Figure 3- Annexe**) à partir de la gamme d'étalonnage effectuée à partir d'une solution mère de lipides en ajoutant à 2,5 mg d'huile, 1 ml d'éther chloroforme (1V/1V) (Tableau 14).

Réalisation de la gamme d'étalonnage

La courbe d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère d'étalon d'huile d'olive à 0,5mg/ml, une série de dilution est effectuée (Tableau14). En effet les lipides à chaud en milieu sulfophosphorique développent avec la vanilline une coloration rose mesurable au spectromètre à 530 nm.

Tableau 14 : Gamme d'étalonnage des lipides.

Tubes	1	2	3	4	5	6
Solution mère de lipides (µl)	0	20	40	60	80	100
Solvant (éther /chloroforme) (µl)	100	80	60	40	20	0
Réactif Vanilline (ml)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

2.3.7. Analyse qualitative et quantitative de la composition en acides gras

2.3.7.1. Extraction des lipides au Soxhlet :

Pour analyser la composition en acides gras des différents échantillons, les lipides sont d'abord extraits au Soxhlet. L'extraction des lipides au Soxhlet est une extraction solide/liquide au moyen d'un appareil appelé Soxhlet (**Figure 1- Annexe**). C'est une autre méthode différente à celle de **Folch et al, 1957**. L'extracteur de Soxhlet permet le traitement de solides de toutes tailles, avec des solvants en phase liquide ou partiellement vaporisés. Il est principalement utilisé dans la préparation d'échantillons avant analyse du profil lipidique. Cette méthode permet aussi de déterminer le pourcentage de lipides. L'extraction des acides gras sous forme de triglycérides par l'utilisation d'un Soxhlet est l'une des méthodes les plus anciennes, mais aujourd'hui encore, c'est l'une des plus utilisées.

✚ **Appareillage** : L'extracteur Soxhlet est constitué :

- un ballon en verre
- cartouche en cellulose
- siphon
- tube de distillation
- réfrigérant

Le corps de Soxhlet, contenant une cartouche remplie de solide (échantillon d'anguille), est fixé sur un réservoir de solvant (ballon) et est surmonté d'un réfrigérant. Le solvant est vaporisé à l'aide d'un chauffe-ballon puis condensé, et reste en contact avec le solide. La solution est soutirée périodiquement par l'amorçage d'un siphon. La solution du ballon s'enrichit petit à petit en soluté et le solide est toujours mis en contact avec du solvant fraîchement distillé.

❖ **Mode opératoire** :

Nous avons procédé à une extraction des lipides au soxhlet à partir du muscle d'anguille du lac Tonga et de la lagune El-Mellah grâce au mode opératoire suivant, qui sera appliqué sur tous les échantillons :

-5g de chaire d'anguille préalablement mixés est pesée dans une cartouche d'extraction en cellulose. Cet échantillon est ensuite mélangé à 35g de sulfate de sodium anhydre (Na_2SO_4) qui piège l'eau jusqu'à l'obtention d'une poudre.

-la cartouche est fermée avec du coton et mise au dessiccateur pendant 12h. Cette étape a pour but de sécher l'échantillon permettant une bonne pénétration du solvant lors de l'extraction.

-300ml du solvant d'extraction (hexane-acétone 4v/1v) sont utilisés dans un ballon.

-les lipides sont extraits pendant 8h à raison de cinq cycles par heure.

Après l'extraction nous avons récupéré le ballon contenant les acides gras et évaporé le solvant dans l'étuve pendant 48h. Ainsi l'huile exempte de solvant est pesée et le rendement à l'extraction est déterminé. Si m est la masse d'huile et M la masse de l'échantillon, le taux d'huile (exprimé en %) est calculé selon la formule suivante (Ouel et al, 2004) :

$$\% \text{ huile} = (m / M) * 100$$

m : masse d'huile (en g)

M : masse de l'échantillon (en g)

2.3.7.2. Analyse qualitative et quantitative des acides gras par CPG –FID :

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une méthode de séparation des composés volatils ou susceptibles d'être volatilisés par augmentation de la température. Un gaz vecteur, appelé phase mobile (azote ou hélium) parcourt une colonne, contenant une phase stationnaire définie par une granulométrie. Le mélange à séparer est injecté à l'entrée de la colonne où il se dilue dans la phase stationnaire et est entraîné par la phase mobile. Les solutés, en fonction de leur nature, sont plus ou moins retenus et sortent de la colonne séparée au sein de la phase mobile sous forme de pic. Un détecteur à Flamme Ionisation Detector (FID) placé en sortie de colonne permettant de détecter la présence d'un soluté au sein du gaz vecteur. Le détecteur FID est le plus utilisé en CPG. Au cours du déroulement de la chromatographie, le temps de rétention (Tr) en minutes caractérise qualitativement la substance recherchée au niveau du chromatogramme. La hauteur ou l'aire des pics permet de déterminer la concentration des différents solutés dans le mélange initial ou leurs pourcentages.

Rappelons que, les acides gras ne sont pas volatils et doivent donc être transformés en dérivés volatilisables pour être analysés en chromatographie en phase gazeuse. Plusieurs dérivations sont possibles, différent selon le type de résidu greffé sur la fonction ester de l'acide gras. Les esters méthyliques d'acides gras (EMAG) sont faciles à préparer et à analyser, et possèdent de plus l'avantage de pouvoir être analysés avec plusieurs types de détection. Plusieurs méthodes de méthylation peuvent être employées et c'est le cas de l'utilisation du tri fluorure de bore (BF₃) ou des acides et des bases.

L'analyse quantitative des acides gras peut être calculée selon deux méthodes, soit en pourcentage soit en masse.

-En pourcentage : chaque acide gras de l'extrait lipidique est exprimé par un pic sur le chromatogramme, son pourcentage est égal à l'aire de son pic par rapport à la somme des aires des autres pics. Les surfaces des pics sont calculées par un intégrateur. C'est cette méthode que nous avons utilisée dans notre cas.

-En masse

Un étalon interne de concentration connue est ajouté à l'échantillon, après méthylation et analyse par chromatographie en phase gazeuse, la concentration de chaque acide gras de l'échantillon est calculée et exprimés en mg d'acide gras/g lipide.

- Les différentes étapes de notre expérimentation se présentent comme suite :

✚ Préparation des dérivés d'esters méthyliques d'acides gras :

Après extraction des lipides des différents échantillons du muscle de l'anguille par Soxhlet, les esters méthyliques sont préparés par trans-esterification des lipides en présence d'un mélange méthanol/soude /HCl selon la méthode de (Moser, 1991 ; Lepage and Roy, 1986). La trans-estérification est la réaction d'un ester (triglycéride) avec un alcool en présence d'un catalyseur alcalin tel que l'hydroxyde de sodium (NaOH). La réaction de trans-estérification est plus spécifiquement appelée méthanolyse lorsque l'alcool réactionnel est le méthanol. La technique se fait selon le mode opératoire suivant :

- 4 gouttes d'huile (triglycérides) du muscle de l'anguille sont diluées dans un volume de 4 ml hexane
- Par la suite un volume de 0.5 ml de NaOH 0,1N dans le méthanol (méthanolyse)
- chauffer à reflux pendant 2 à 3 mn
- laisser refroidir et ajouter 0.5 ml HCl 0.1N dans le méthanol
- ajouter 4 ml d'hexane pour l'extraction des acides gras estérifiés
- ajouter le sulfate anhydre ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) qui a pour rôle de piéger l'eau formée au cours de la réaction de méthanolyse.
- l'ensemble est laissé à décanter,
- Récupération de la phase organique contenant les acides gras estérifiés par le méthanol et qui deviennent volatils par augmentation de la température.
- L'échantillon (est prêt à être injecté dans le chromatographe).

✚ Analyse des esters méthyliques d'acides gras par CPG-DIF

Les ester méthyliques d'acides gras volatilisables sont injectés dans le chromatographe en phase gazeuse AGILENT modèle HP 5890, équipé d'un détecteur à ionisation de flamme (FID, Flame Ionisation Detector). et d'une colonne DB225 (20 m X 0,18 mm, 0,20 μm).

Le gaz vecteur est utilisé est l'hydrogène (1,0 ml / min); avec un système d'injection en mode split (1: 60). L'élution des différents esters méthyliques d'acides gras se fait par la programmation de températures de 50 ° C (2,7 min) à 180 ° C à 5°C / mn et 230°C à 3°C / mn. La température de la chambre d'injection et du détecteur est de 250 et 250 ° C respectivement. L'identification des différents acides gras méthylés est donnée sur un chromatogramme selon le temps de rétention (Tr) par comparaison aux standards (MIX37 de SUPELCO) au nombre de 37 (**Tableau 1- Annexe**). L'analyse quantitative de la

composition en acides gras est exprimée en pourcentage relatif d'acides gras estérifiés (% d'acides gras) par calcul de l'aire de chaque pic grâce à l'intégrateur.

2.3.8. Détermination de la teneur en eau :

La teneur en humidité est définie comme étant le résidu d'un aliment restant après élimination des solides totaux, dans des conditions expérimentales données.

La détermination de la teneur en eau a été effectuée selon la méthode officielle de l'AOAC (1990). On a prélevé 5 g de matière fraîche pour déterminer le poids humide (Ph), puis placés dans l'étuve à une température de 110°C jusqu'à obtention d'une masse sèche (Ps) constante (~ 36 heures). De plus, la détermination de la teneur en eau a été réalisée de façon identique tout au long de l'étude, permettant ainsi une comparaison des échantillons entre eux. Le calcul se fait selon ci-après et le résultat est exprimé en pourcentage

$$\text{Humidité(\%)} = \frac{(P_h - P_s)}{P_h} \times 100$$

2.3.9. Détermination de la teneur en cendres :

Les cendres totales sont le résidu de composés minéraux qui reste après l'incinération d'un échantillon contenant des substances organiques d'origine animale, végétale ou synthétique ; Les cendres représentent environ 1 à 5% de la masse d'un aliment sur une base humide.

La teneur en cendres a été effectuée selon la méthode officielle de l'AOAC (1990), 5 g de matière fraîche ont été prélevés pour déterminer le poids humide (Ph), puis placés dans l'étuve pendant 24 heures à une température de 110°C, ensuite placés dans un four à moufle à une température de 500°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante (Pf) (~ 36 h).

$$\text{Cendre (\%)} = \frac{P_f}{P_h} \times 100$$

2.3.10. Analyses statistiques :

- ✚ Quelque soit le type d'analyse effectuée dans cette étude (modélisation de la croissance, corrélation,...etc), tous les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel d'analyse et de traitement statistique des données STATISTICA 10.
- ✚ Le **test t**, ou **test de Student** désigne un ensemble de tests d'hypothèse paramétriques où la statistique calculée suit une loi de Student lorsque l'hypothèse nulle est vraie. Un test t peut être utilisé notamment pour tester statistiquement l'hypothèse d'égalité de deux moyennes (Mahony, 1986).

Le test « t » de **Student** au seuil 5% a été utilisé pour la comparaison des moyennes, pour les paramètres biochimiques et les acides gras de la chair de l'anguille, entre les deux saisons (hiver-printemps) et entre les deux sites d'étude (lac Tonga et lagune EL Mellah).

Les analyses de la variance à deux facteurs ont permis de tester l'effet de la saison sur l'élévation ou la diminution des teneurs moyennes en nutriments et acides gras.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel MINITAB17 statistical software. Les résultats sont exprimés par une moyenne suivie d'un écart type ($m \pm s$).

✚ **Analyse en composantes principales (ACP) :** L'ACP est une technique descriptive permettant d'étudier les relations qui existent entre variables quantitatives, sans tenir compte, à priori, d'une quelconque structure, ni des variables, ni des individus.

C'est une méthode statistique exploratoire, elle a pour objectif de réduire le nombre de variables de départ pour définir de nouvelles combinaisons, celles-ci sont appelées composantes principales. Ces dernières vont définir les gradients de variations sur les axes de projections de la matrice ; la finalité est de pouvoir expliquer la distribution et le regroupement des individus suivant les axes définis par les gradients des axes principaux.

3. Résultats :

3.1. Structure des fractions de population d'anguilles

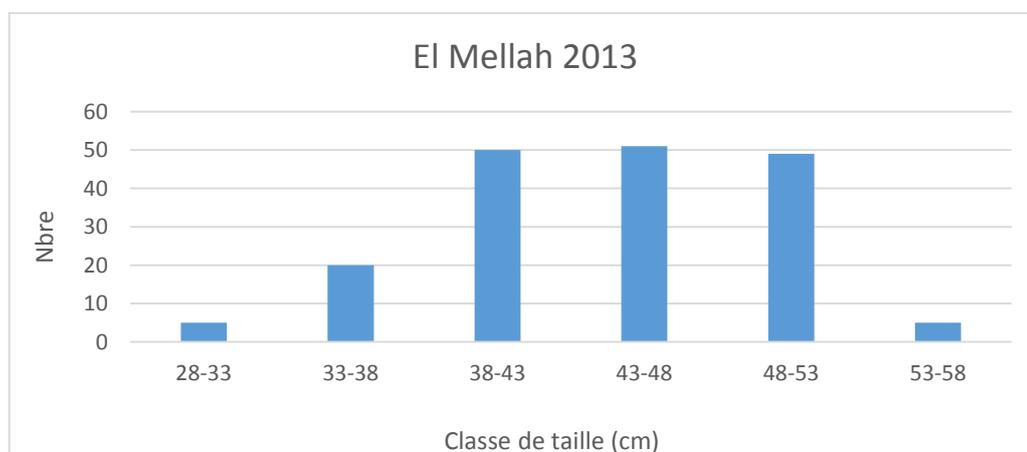
3.1.1. Distribution des tailles des anguilles :

Durant l'année 2013, la taille des anguilles capturées dans le lac Tonga est comprise entre 270mm et 680mm quant à celle de la lagune El Mellah elle varie de 280 mm à 580mm. Les anguilles capturées, durant l'année 2014, montrent des tailles variant de 258mm à 580mm dans la lagune et sont comprises entre 280 mm et 650mm dans le lac Tonga. Le regroupement des anguilles par classes de taille de 5 et 6cm nous donne des classes dont le nombre et les effectifs varient d'une année à l'autre.

3.1.1.1. Dans la lagune El Mellah

En eau saumâtre, durant le cycle I, les anguilles des trois classes de taille 38-43, 43-48 et 48-53 montrent pratiquement les mêmes proportions (proches de 28%) et représentent ainsi plus de 83% des effectifs; les individus de petite et grande taille enregistrent les mêmes proportions (2,77%) quant aux anguilles de la classe de taille 33-38 leur proportion est proche de 11%.

Durant le cycle II, les anguilles dont la taille est comprise entre 40 et 55 cm représentent plus de 78% (fig.34). Toutefois, les individus de grande taille représentent plus de 6% des effectifs d'anguilles ; quant à ceux de taille inférieure à 35cm, ils représentent 2,1% des effectifs d'anguilles capturées dans la lagune.



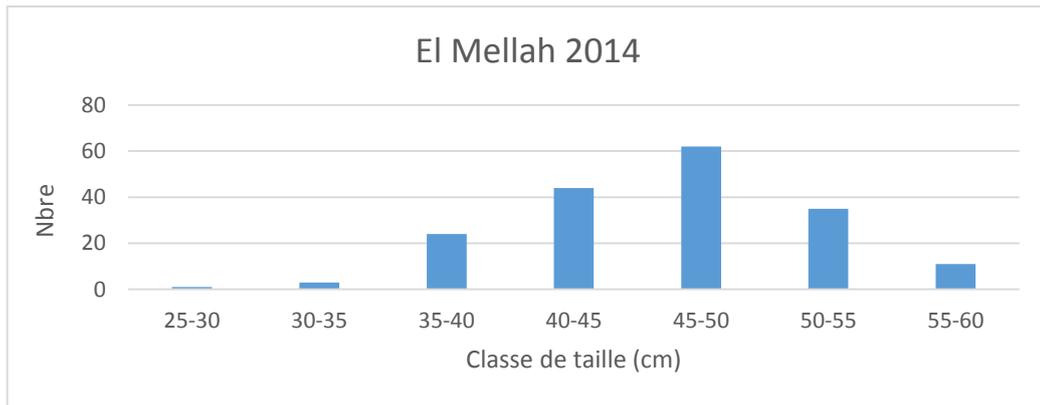


Figure 34: Distribution des classes de taille des anguilles capturées dans la lagune El Mellah

○ **Variation mensuelle des tailles moyennes des anguilles de la lagune El Mellah**

La taille moyenne mensuelle des anguilles échantillonnées dans la lagune El Mellah durant le cycle I, varie de 380 à 482 mm. Les tailles moyennes de plus de 450mm sont le plus souvent notées en période hivernale et printanière ; en revanche, les tailles de moins de 400mm sont relevées en juillet, septembre et novembre. Durant le cycle II, la taille moyenne mensuelle des anguilles est comprise entre 400 et 500 mm ; nous enregistrons des tailles proches de 500mm en janvier, février et novembre et des tailles de moins de 450mm durant les mois de juillet, août, septembre et mars (fig.35).

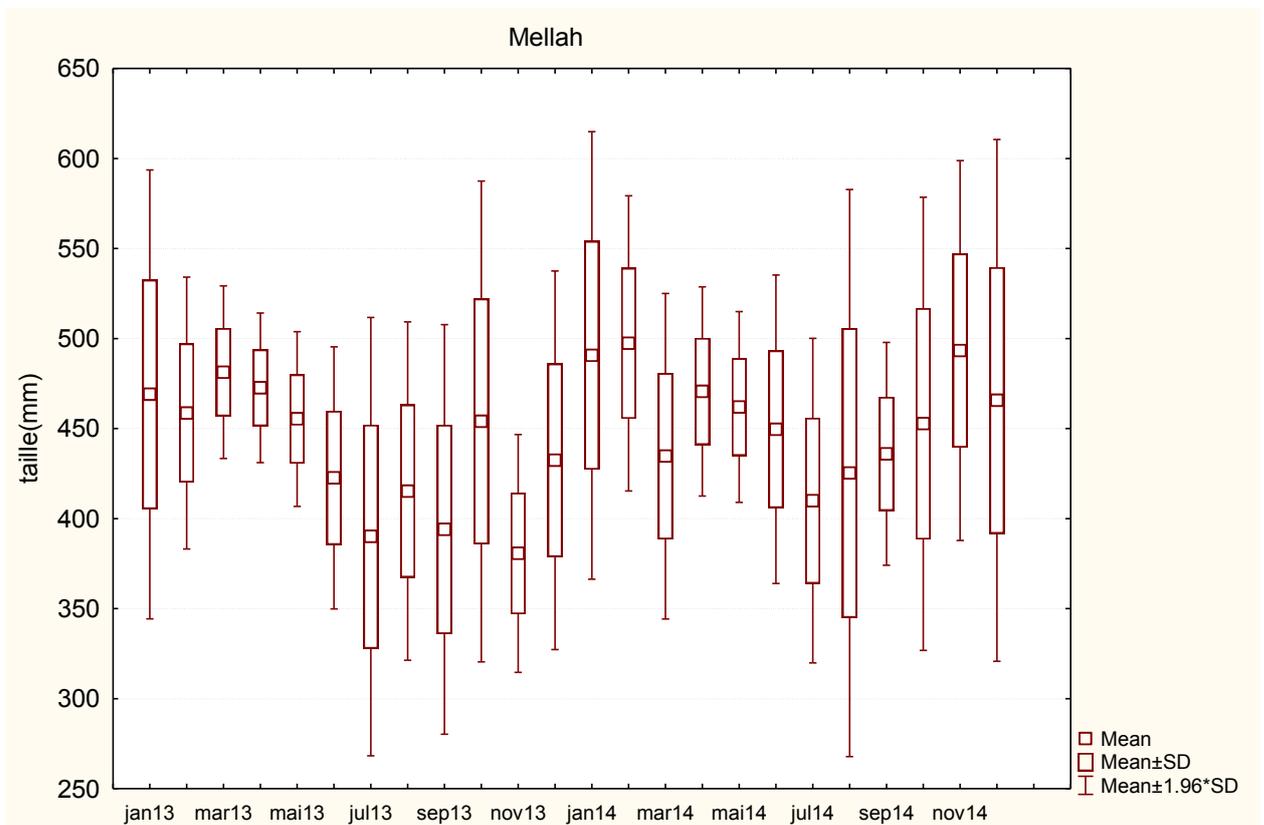


Figure 35 : Variation mensuelle des tailles moyennes des anguilles de la lagune (cycle I et II).

3.1.1.2. Dans le lac Tonga

Les effectifs d'anguilles de moins de 38cm représentent moins de 9% durant les deux cycles d'étude. En ce qui concerne les anguilles dont la taille est comprise entre 37 et 57 cm, elles représentent plus de 81 et 84% des effectifs capturés respectivement durant le cycle I et le cycle II. Les proportions les plus fortes sont enregistrées par les classes de taille 47-52 (25,55%) et 43-48 (32,22%) respectivement durant le cycle I et II. Les effectifs d'anguille de taille supérieure à 57cm représentent 9,43% et 6,1% durant le cycle I et II respectivement (fig.36).

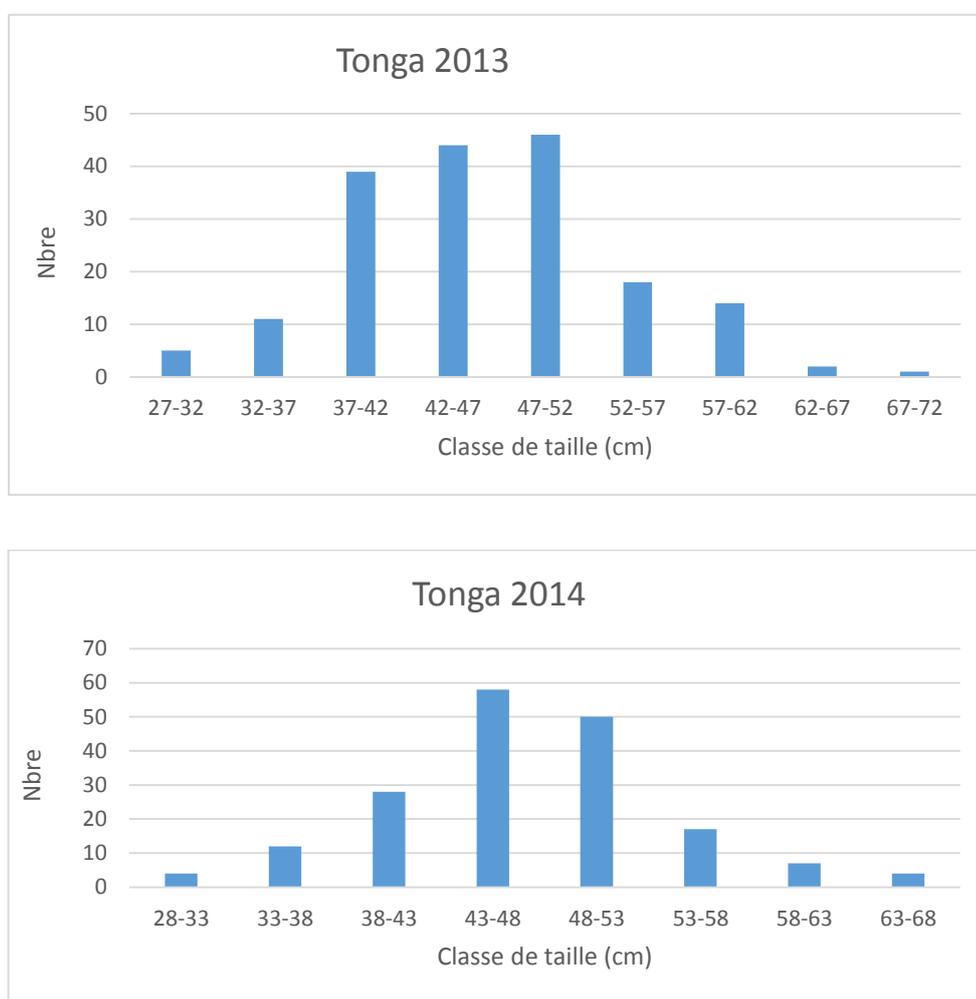


Figure 36 : Distribution des classes de taille des anguilles capturées dans le lac Tonga (Cycle I et II).

○ **Variation mensuelle des tailles moyennes des anguilles du lac Tonga**

Dans le lac Tonga, la taille moyenne des anguilles capturées durant le cycle I oscille entre 395 et 571 mm. Les tailles de moins de 400mm sont notées en octobre et celles de plus de 500mm en septembre et en décembre. En période hivernale et printanière les tailles moyennes des anguilles sont comprises entre 400 et 450mm, en revanche en période estivale, les tailles varient de 450 à 500mm.

Durant le cycle II, les tailles moyennes des anguilles du Tonga fluctuent entre 380mm (en mars) et 550 mm (en septembre). A l'exception des mois de janvier, mars, octobre et novembre où la taille des anguilles ne dépasse pas 450mm, nous notons, durant le reste de l'année, des tailles comprises entre 450 et 550mm.

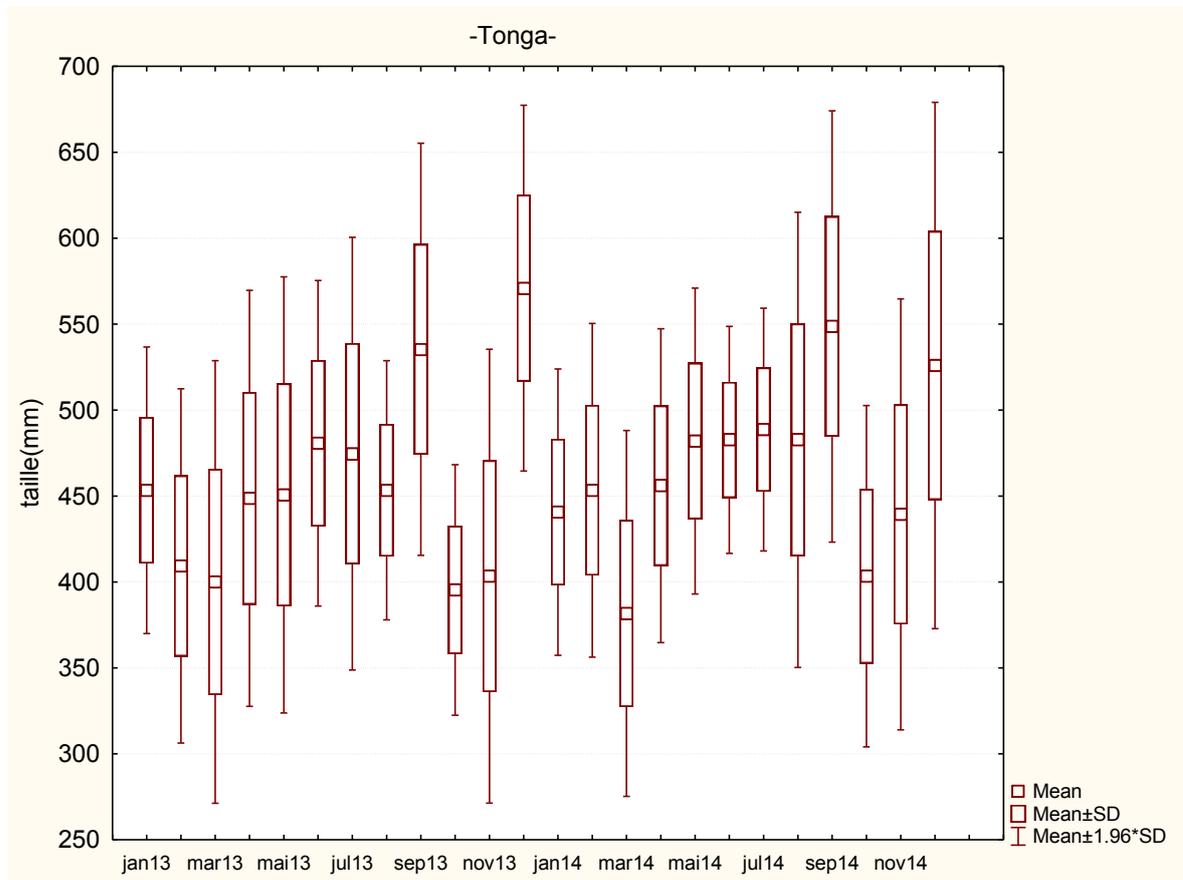


Figure 37: Variation mensuelle des tailles moyennes des anguilles du lac Tonga (cycle I et II).

3.1.2. Distribution des poids des anguilles :

3.1.2.1. Dans la lagune El Mellah

L'échantillon d'anguilles collectées dans la lagune durant le cycle I comporte 13 classes de poids présentant des proportions différentes. Nous notons que les anguilles de poids inférieurs à 100g représentent 27% des effectifs et celles de plus de 200g moins de 9%. Plus de 63% des effectifs d'anguilles ont un poids compris entre 100 et 200g ; ce sont toutefois les

anguilles dont le poids est compris entre 100 et 150g qui affichent les proportions les plus élevées (plus de 51% des effectifs collectés).

Durant le cycle II, l'échantillon d'anguilles collectées dans la lagune comprend 16 classes de poids présentant des proportions différentes. Nous notons que les anguilles de moins de 100g et de plus de 300g représentent respectivement 27 et 2% des effectifs d'anguilles collectées. Dans cet échantillon, plus de 51% des anguilles montrent un poids compris entre 100 et 200 g; quant à celles de poids variant entre 200 et 300g, elles représentent plus de 19% (fig.38).

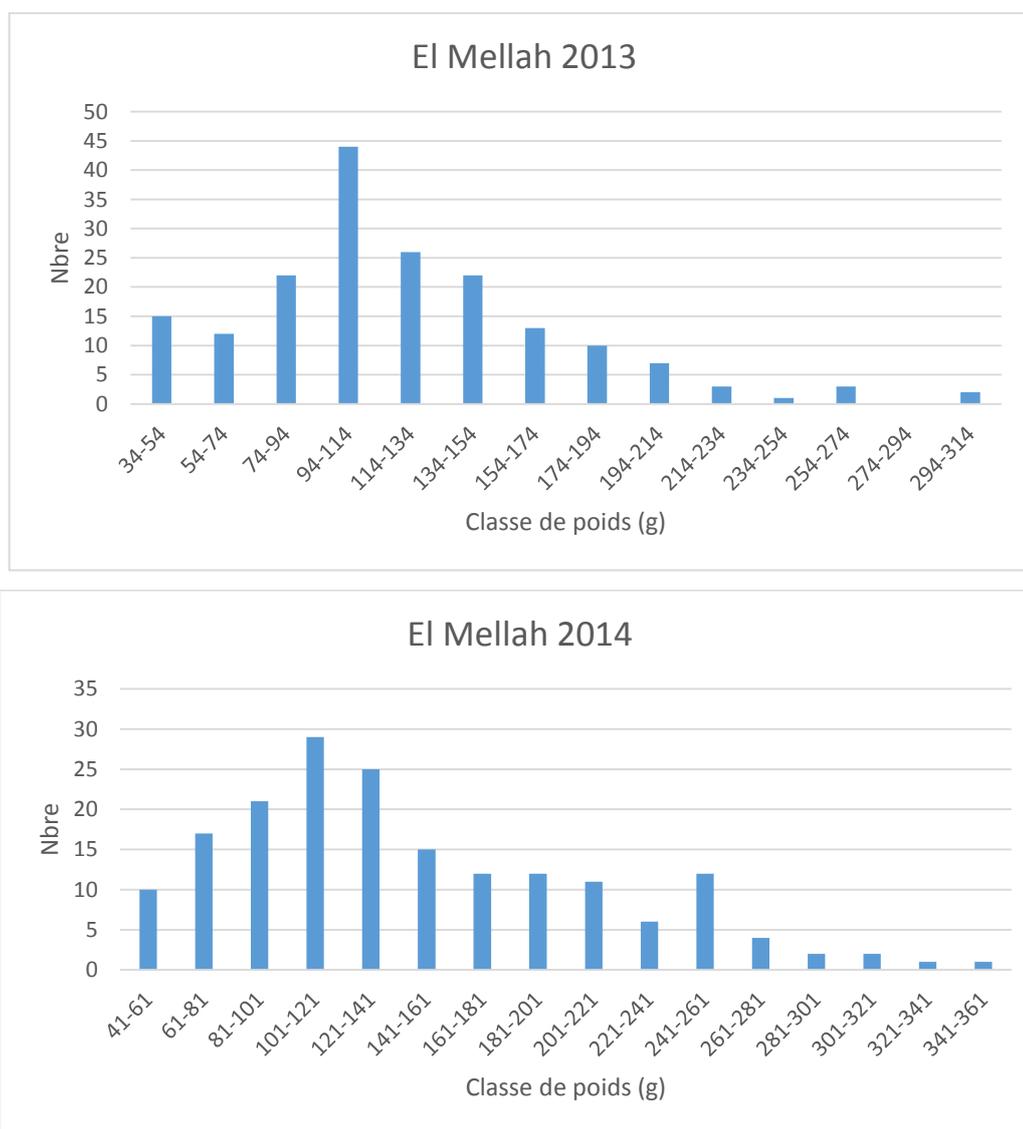


Figure 38 : Distribution des classes de poids des anguilles capturées dans la lagune El Mellah (cycle I et II).

○ **Variation mensuelle des poids moyens des anguilles de la lagune El Mellah**

Le poids moyen mensuel des anguilles échantillonnées dans la lagune durant le cycle I, varie de 63 à 182g. Les poids moyens de moins de 100g sont enregistrés en juillet et en août et ceux de plus de 150g en janvier, mars et octobre. Durant le reste de l'année, le poids moyen varie entre 100 et 150g.

Durant le cycle II, le poids moyen mensuel des anguilles échantillonnées dans la lagune varie de 87 à 210g. Les anguilles de poids inférieur à 100g sont rencontrées en juillet et en août et celles dont le poids dépasse 200g en janvier, février et novembre. Les anguilles de poids compris entre 150 et 200g sont présentes en avril, octobre et décembre et celles de poids inférieur à 150g au printemps et en été (fig.39).

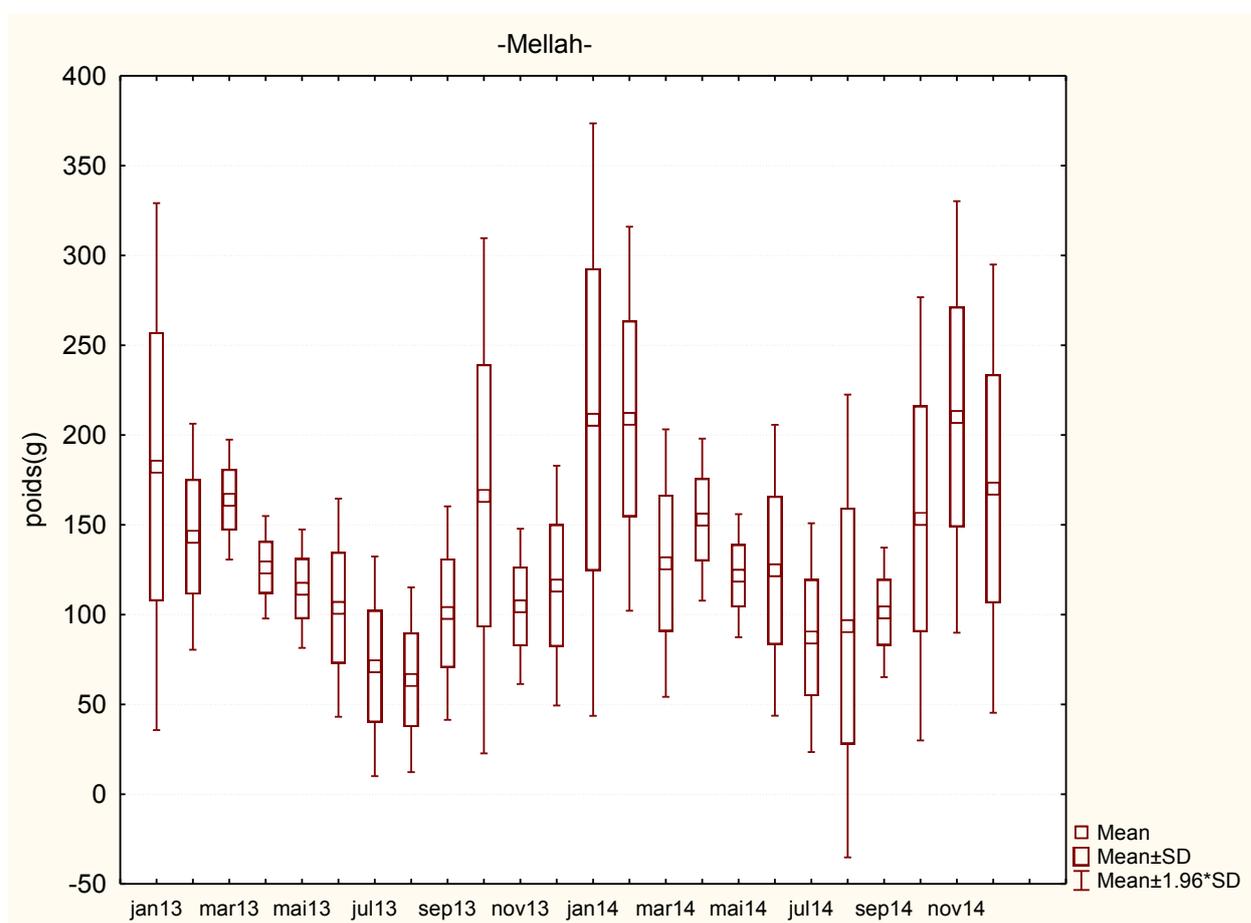


Figure 39 : Variation mensuelle des poids moyens des anguilles de la lagune (cycle I et II).

3.1.2.2. Dans le lac Tonga

Les anguilles capturées dans le lac Tonga montrent des poids variant de 44 à 600g et de 25 à 570g respectivement durant le cycle I et le cycle II.

L'échantillon d'anguilles collectées dans le lac Tonga durant le cycle I comprend 21 classes de poids présentant des proportions différentes. Les anguilles qui pèsent moins de 200g représentent les $\frac{3}{4}$ des effectifs d'anguilles ; toutefois, il est utile de signaler que plus de 51% des effectifs collectés montrent un poids compris entre 100 et 200g et moins de 18% font un poids variant de 200 à 300g. Quant aux anguilles de plus de 300 g elles représentent moins de 10% des effectifs de l'échantillon collecté durant le cycle I (fig.40).

Durant le cycle II, les $\frac{3}{4}$ des effectifs d'anguilles montrent un poids variant de 25 à 205g ; nous notons, toutefois que les anguilles de poids compris entre 105 et 205g représentent plus de 58% et celles dont le poids varie de 205 à 305g font plus de 18% des effectifs. Les anguilles de poids supérieur à 305g représentent moins de 6% des effectifs collectés (fig.40).

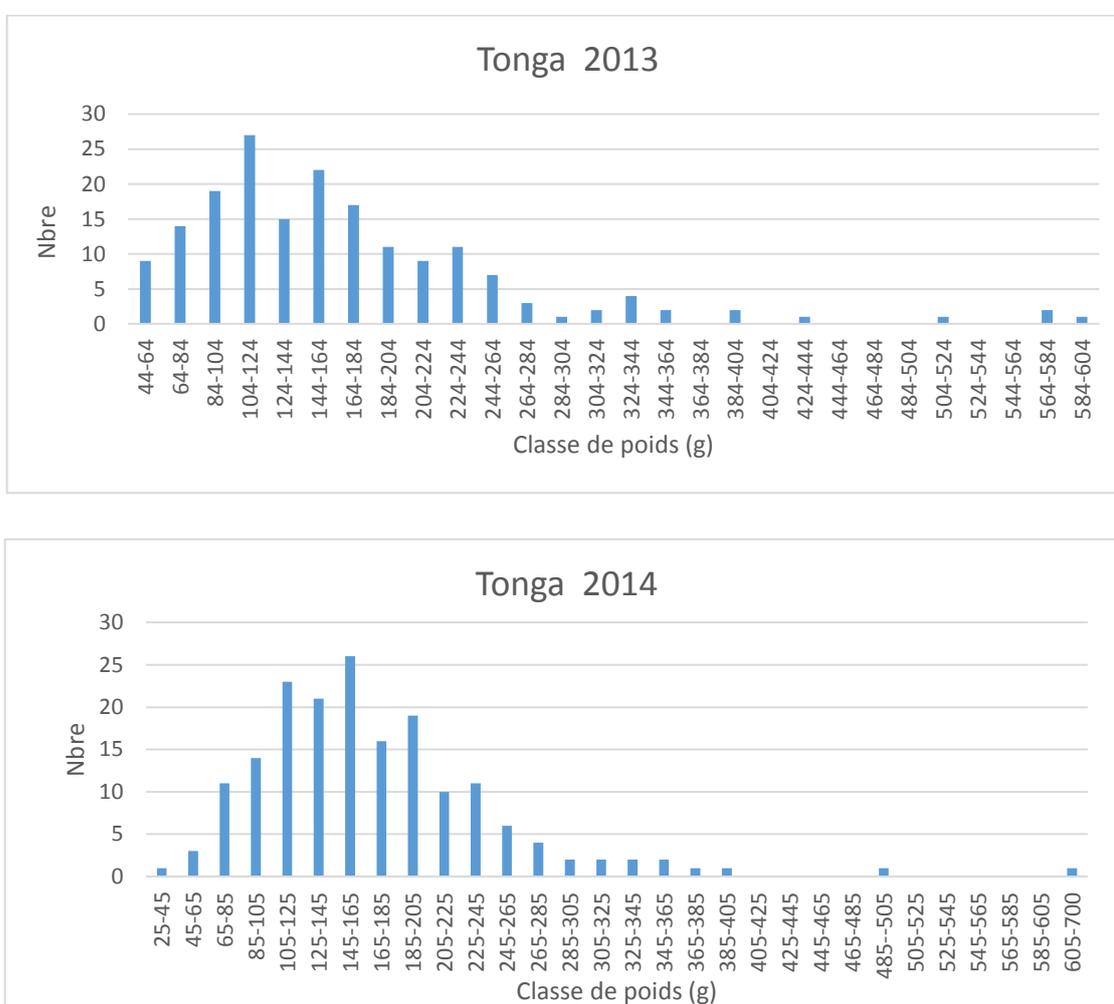


Figure 40: Distribution des classes de poids des anguilles capturées dans le lac Tonga (cycle I et II).

○ **Variation mensuelle des poids moyens des anguilles du lac Tonga**

Au cours du cycle I, le poids moyen des anguilles capturées dans le lac Tonga fluctue entre 96 et 364g. Les valeurs les plus basses sont notées en octobre et novembre et les plus élevées en décembre et septembre. Les anguilles de poids moyens inférieur à 150g sont rencontrées en période hivernale et automnale et celles de plus de 150 en période printanière et estivale.

L'échantillon d'anguilles capturées durant le cycle II comprend des poids moyens compris entre 110 et 287g. A l'exception de janvier, mars, octobre et novembre où le poids moyen des anguilles ne dépasse pas 150g nous notons des poids moyens de plus de 150g durant le reste de l'année (fig.41).

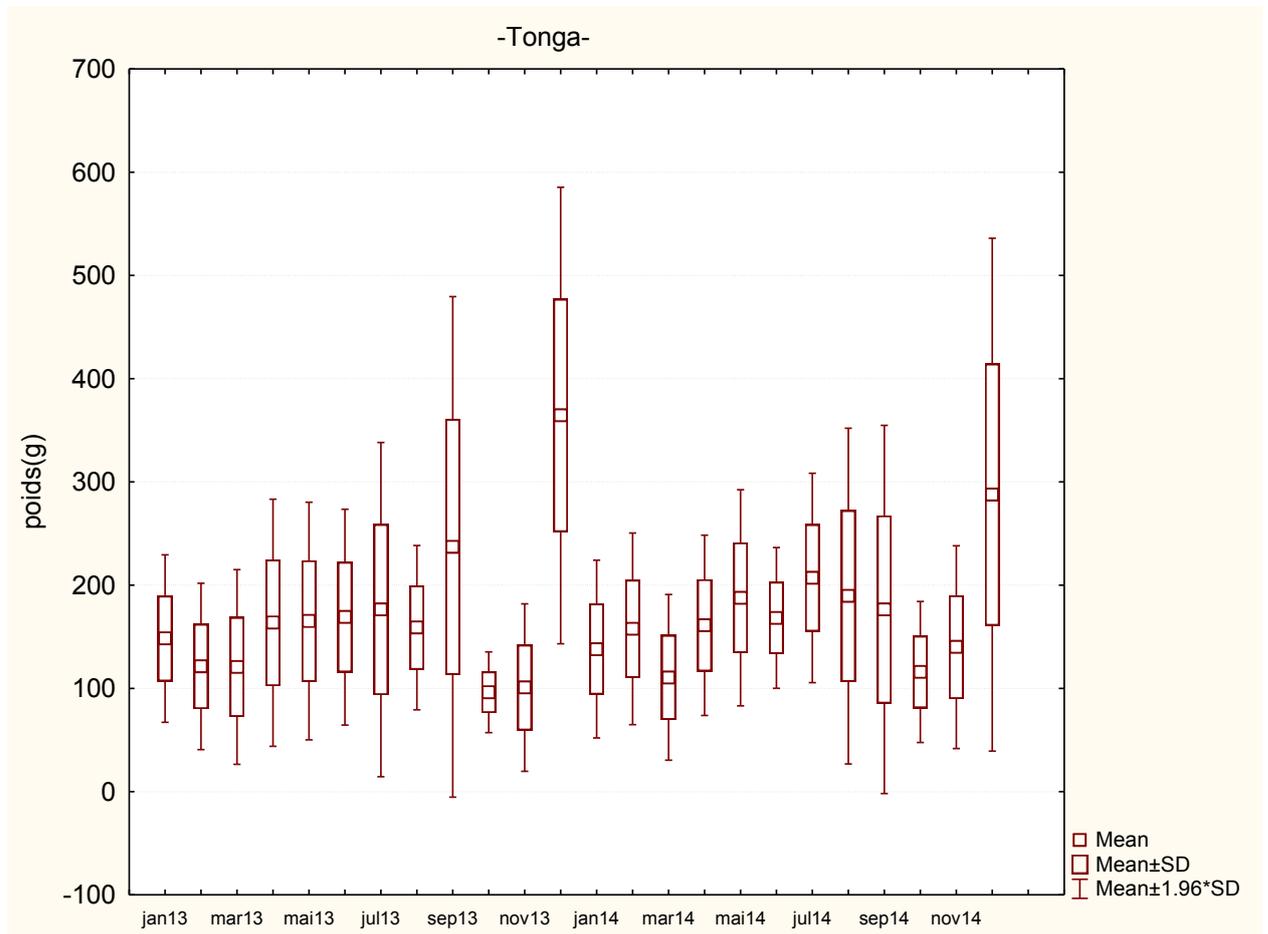


Figure 41 : Variation mensuelle des poids moyens des anguilles du lac Tonga (cycle I et II).

3.1.3. Indice de condition K :

3.1.3.1. Dans la lagune

Les valeurs mensuelles de l'indice de condition K des anguilles de la lagune varient de 0,86 à 1,89 durant le cycle I ; nous notons toutefois que les valeurs de K sont le plus souvent inférieures à 1,5 sauf en janvier, septembre, octobre et novembre. En ce qui concerne les anguilles de l'échantillon collecté dans la lagune durant le cycle II, elles montrent des valeurs de l'indice de condition K qui oscillent entre 1,1 et 1,71. Nous notons, par ailleurs, des valeurs de plus de 1,5 de janvier à mars et d'octobre à décembre (fig.42).

Le calcul de l'indice de condition saisonnier (fig.43) montre que les valeurs les plus élevées sont relevées en automne et en hiver ceci aussi bien durant le cycle I (1,66 et 1,54 respectivement) que durant le cycle II (respectivement 1,65 et 1,62). Les anguilles de la lagune montrent leur meilleur état d'embonpoint en automne et en hiver.

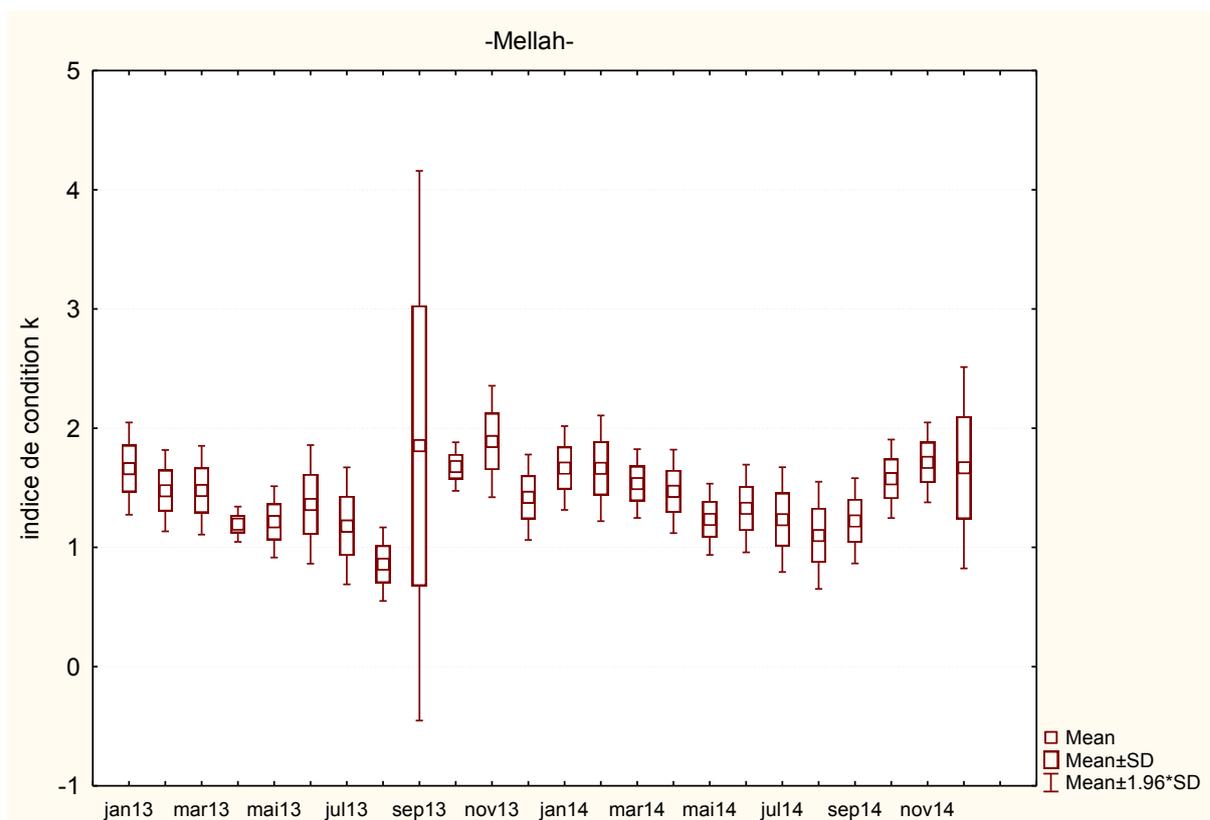


Figure 42 : Variation mensuelle de l'indice de condition de la fraction de population d'anguilles de la lagune (cycle I et cycle II).

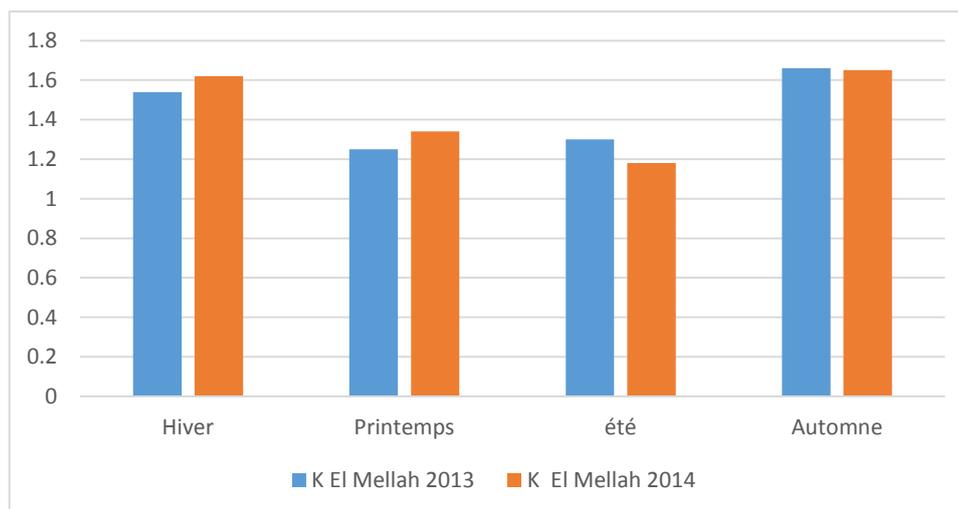


Figure 43 : Variation saisonnière de l'indice de condition de la fraction de population d'anguilles de la lagune (cycle I et II).

3.1.3.2. Dans le lac Tonga

Les valeurs mensuelles de l'indice de condition K des anguilles collectées dans le lac Tonga durant le cycle I oscillent entre 1,47 et 1,91 (fig.44). Dans ce plan d'eau les anguilles semblent présenter un bon état d'embonpoint du fait que les valeurs de K sont le plus souvent supérieures à 1,5 (sauf en juin, septembre et novembre ou elles sont très proche de 1,5). Durant le cycle II les valeurs de K sont comprises entre 0,99 et 1,92. Il est souvent noté que les valeurs de K dépassent nettement la valeur 1,5 sauf en septembre (0,99) et en juin (1,48). Chez les anguilles du lac Tonga, les valeurs de l'indice de condition saisonnier K suivent l'ordre décroissant suivant Hiver > Automne > Eté > Printemps et Automne > Hiver > Printemps > Eté respectivement durant le cycle I et le cycle II (fig.45). L'état d'embonpoint le meilleur est rencontré en hiver et en automne.

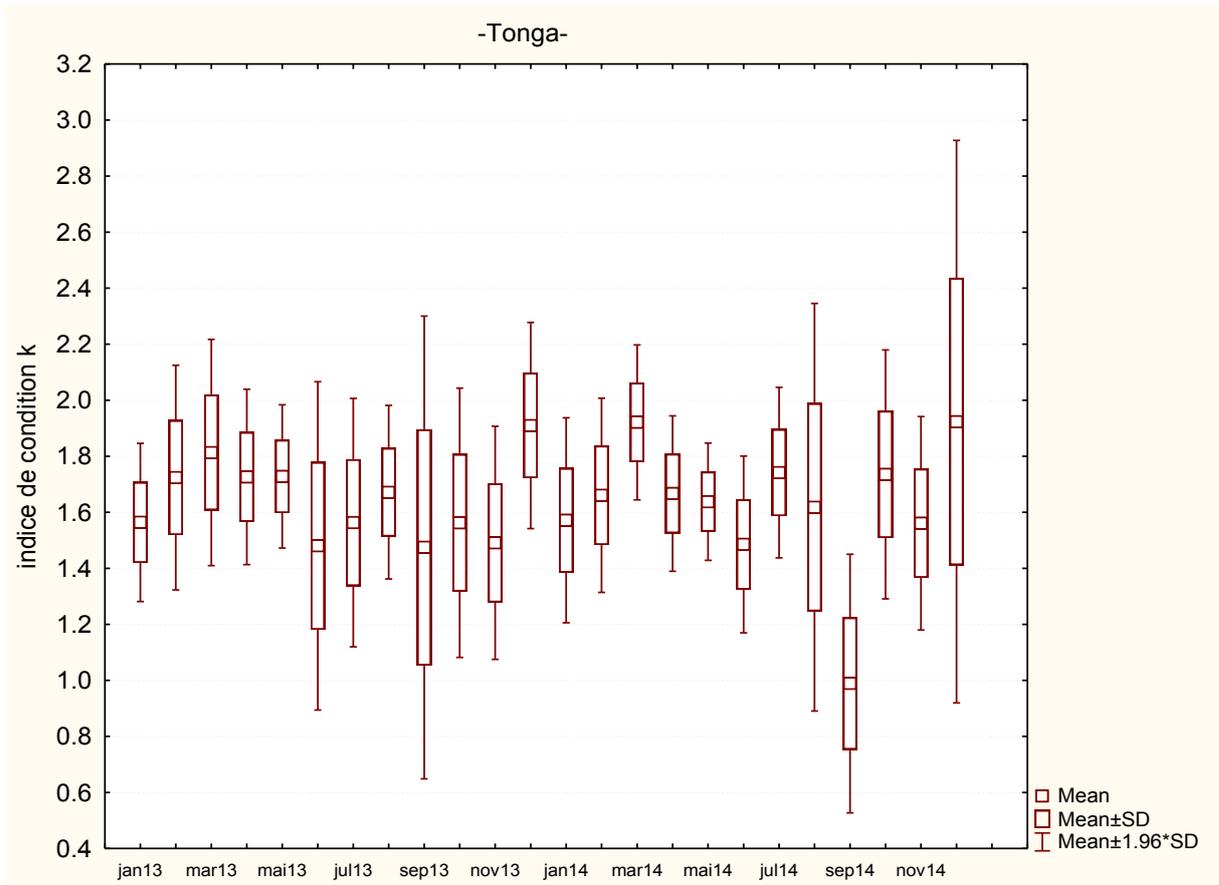


Figure 44 : Variation mensuelle de l'indice de condition de la fraction de population d'anguilles du lac Tonga (cycle I et II).

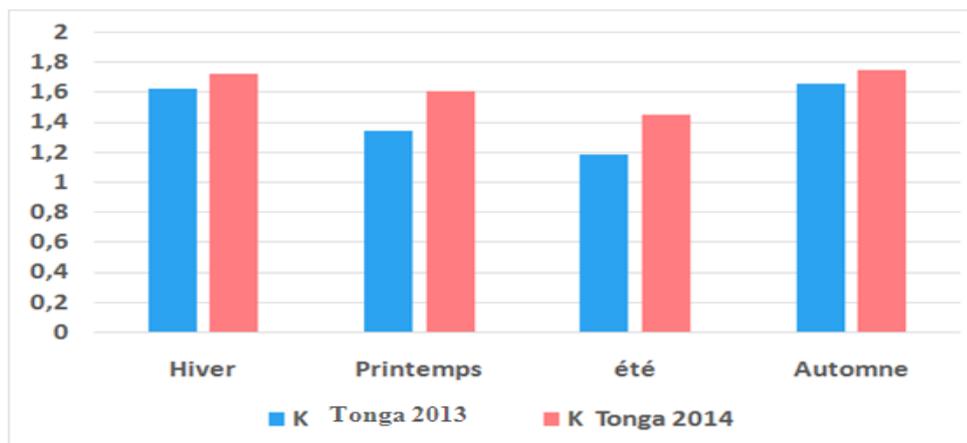


Figure 45 : Variation saisonnière de l'indice de condition de la fraction de population d'anguilles du lac Tonga (cycle I et II).

3.1.4. Croissance corporelle des anguilles :

3.1.4.1. Lagune El Mellah

- Durant le cycle I, la croissance relative estimée par l'équation reliant la longueur totale au poids total des anguilles prélevées dans la lagune Mellah, montre l'existence d'une allométrie minorante ($b=2,75$) avec un coefficient de détermination R^2 de 66%.

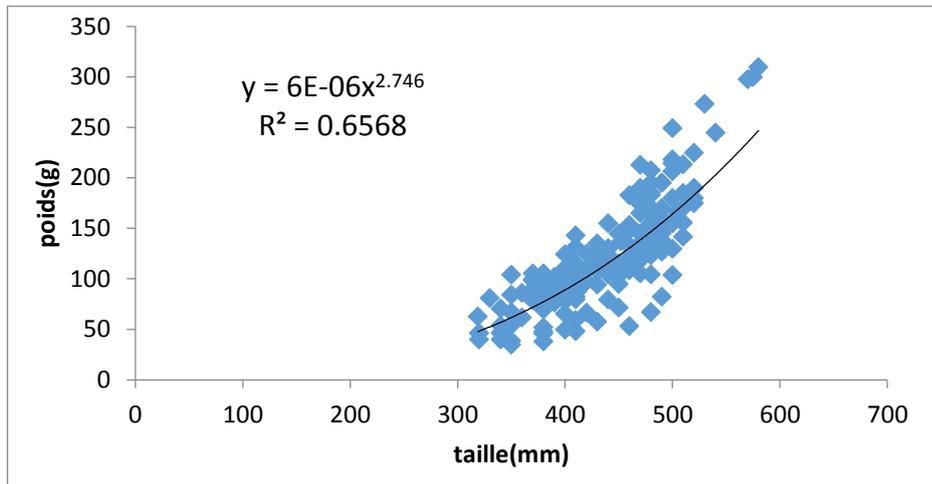


Figure 46 : Relation taille / poids chez les anguilles du Mellah (cycle I).

- Durant le cycle II, l'estimation de la croissance relative par l'équation reliant la longueur totale au poids total des anguilles prélevées dans la lagune montre l'existence d'une allométrie majorante ($b=3,13$) avec un coefficient de détermination R^2 de 80% témoignant d'une différence très hautement significative ($P = 0.000$) entre l'évolution du poids et la longueur totale des individus ; c'est-à-dire que le poids croît plus vite que le cube de la longueur.

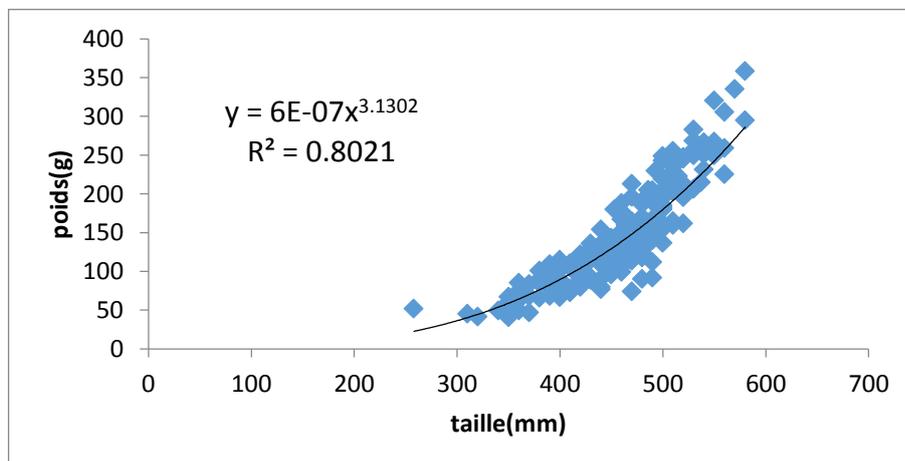


Figure 47 : Relation taille / poids chez les anguilles du Mellah (cycle II).

3.1.4.2. Lac Tonga

- Dans le lac Tonga, l'estimation de la croissance relative par l'application de l'équation reliant la longueur totale au poids total des anguilles échantillonnées durant le cycle I, révèle une allométrie minorante ($b=2,86$) avec un coefficient de détermination R^2 de 88,71% témoignant d'une différence très hautement significative ($P = 0.000$) entre l'évolution du poids et la longueur totale des individus.

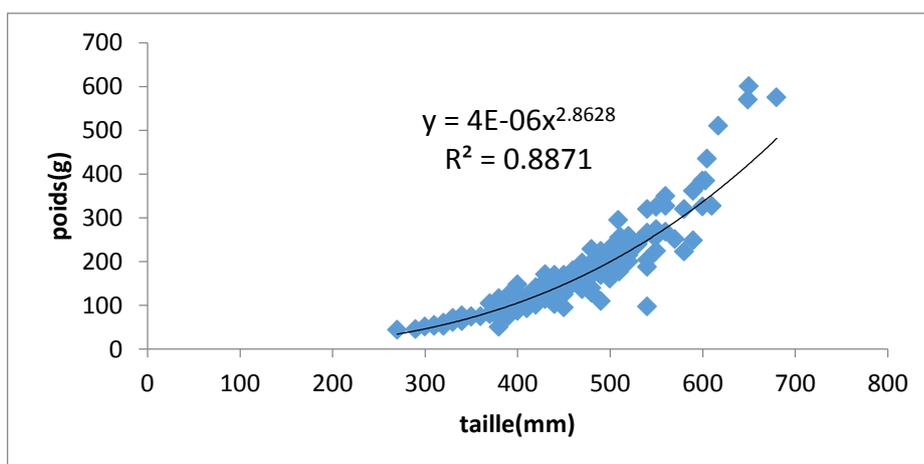


Figure 48 : Relation taille / poids chez les anguilles du Tonga (cycle I).

- Durant le cycle II, l'application de l'équation reliant la longueur totale au poids total des anguilles révèle l'existence d'une allométrie minorante ($b=2,46$), avec un coefficient de détermination $R^2=76,31\%$.

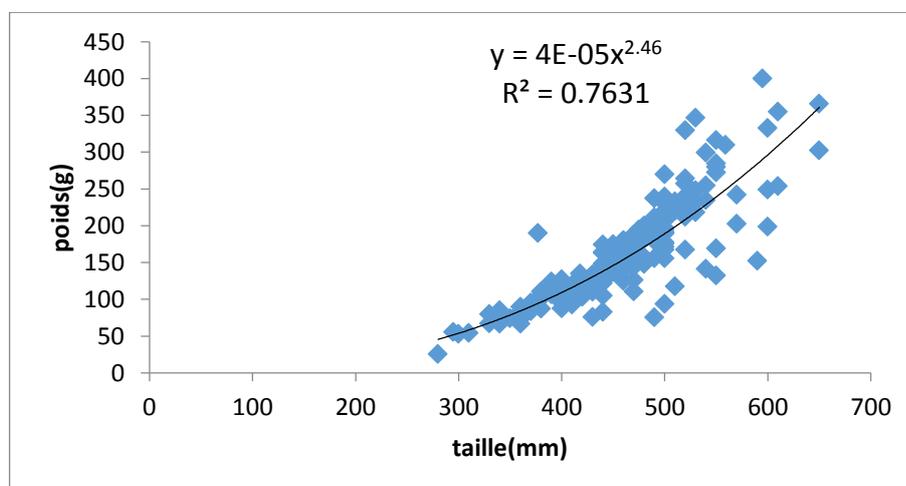


Figure 49 : Relation taille / poids chez les anguilles du Tonga (cycle II)

3.2. Etude du régime alimentaire des anguilles

3.2.1. Coefficient de vacuité :

✚ Dans le lac Tonga, la valeur moyenne du coefficient de vacuité enregistré pendant les deux cycles d'étude du régime alimentaire dépasse 60%. Durant le cycle I, nous notons la présence de 113 tubes digestifs vides sur les 180 examinés, ce qui représente un coefficient de vacuité de l'ordre de 62,77% ; durant le cycle II, sur les 180 anguilles examinées 110 montrent un tube digestif vide soit un coefficient de vacuité de l'ordre de 61,11%. L'évaluation de la valeur mensuelle de ce coefficient (fig.50) montre, qu'il varie entre 33,33% en janvier et 86,66% en novembre au cours du cycle I et entre 33,33 et 80% durant le cycle II (fig.50). L'estimation des valeurs saisonnières du coefficient de vacuité fait apparaître des valeurs basses en hiver (37,77%) et élevées en automne (77,77%) et en été (75,55%) ; elles sont intermédiaires au printemps (59,99%).

Chez les anguilles de la lagune El Mellah, le coefficient de vacuité moyen est supérieur à 75% ; nous notons, durant le cycle I, la présence de 144 tubes digestifs vides sur les 180 examinés soit un coefficient de vacuité de l'ordre de 80%. L'évaluation de la valeur mensuelle de ce coefficient (fig.50) montre, qu'il varie entre 60 et 93,33%. Les valeurs saisonnières du coefficient de vacuité restent inférieures à 67% en hiver mais dépassent 80% durant le reste de l'année (comprise entre 82 et 87%) ; les maximales étant notées en été (plus de 86%) et en automne (plus de 84%). Au cours du cycle II, le coefficient de vacuité est de l'ordre de 73,88% (soit 133 tube digestives vides sur les 180 examinés). Les valeurs saisonnières du coefficient de vacuité durant le cycle II sont comprises dans l'intervalle 82,23% (en été) et 66,6% (en hiver) ; au printemps et en automne elles sont de 80 et 77,8% respectivement.

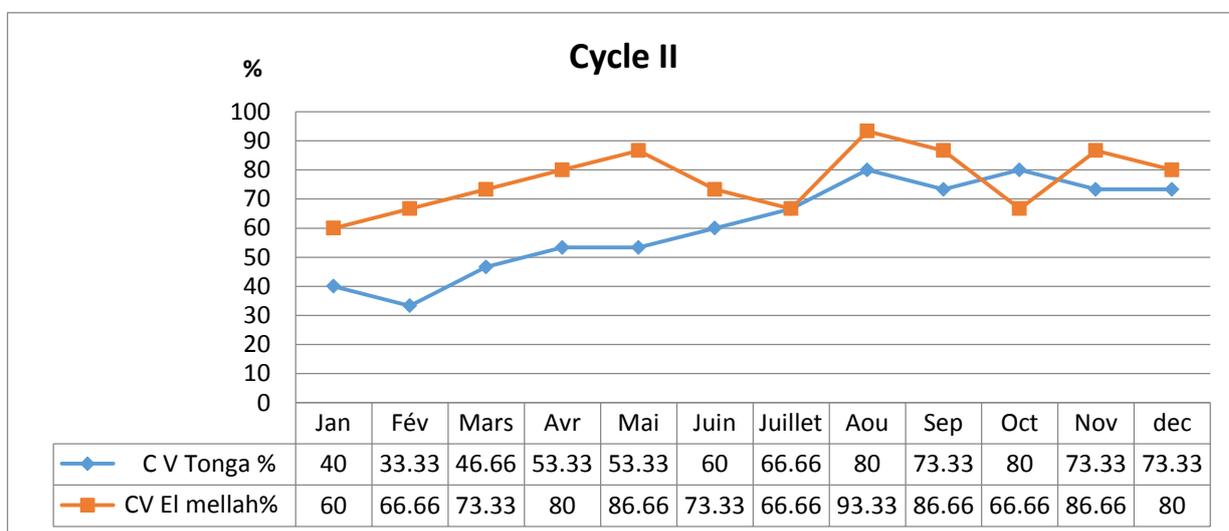
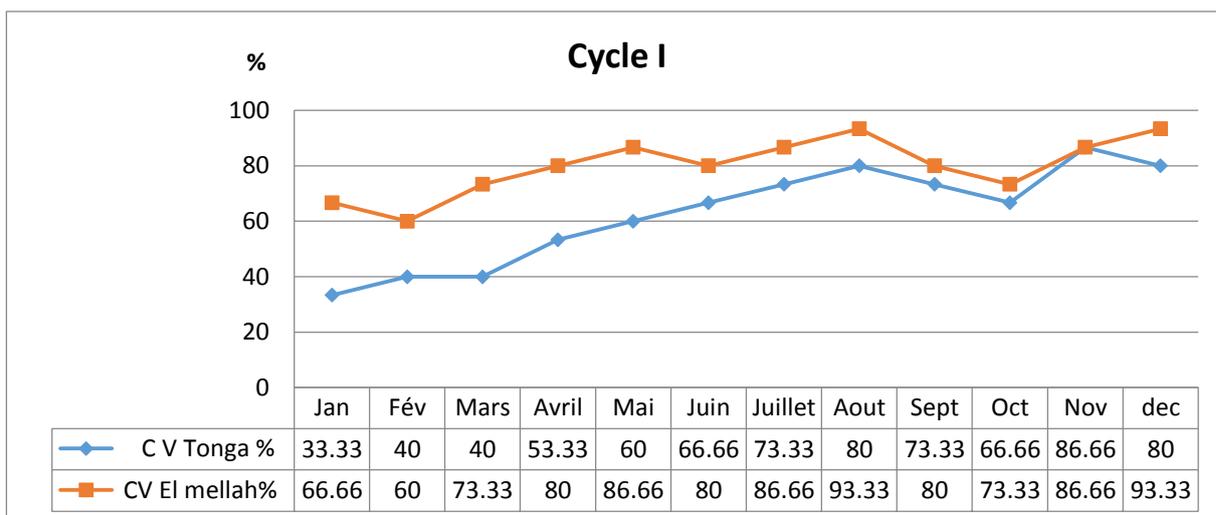


Figure 50 : Evolution mensuelle du coefficient de vacuité chez les anguilles des deux plans d'eau durant les deux cycles d'étude.

3.2.2. Variation du coefficient de vacuité en fonction de la taille de l'anguille :

L'évolution du coefficient de vacuité en fonction de la taille des anguilles capturées dans les deux sites montre une similitude illustrée par l'apparition de la valeur la plus basse chez les individus de la classe de taille [45-55] durant les deux cycles d'étude (fig.51).

Chez les anguilles du lac Tonga, les valeurs du coefficient de vacuité enregistrées durant le cycle I sont proche de 90 et 79% respectivement chez les classes de taille [35-45] et [55-65] ; chez les anguilles de la classe de taille [45-55] le coefficient de vacuité ne dépasse pas 43%. Durant le cycle II, nous notons la même évolution du coefficient de vacuité ; des valeurs élevées chez les individus des classes de taille [35-45] et [55-65] (respectivement 83 et

80%) et basses chez ceux de la classe de taille [45-55[(proche de 50%). Le coefficient de vacuité montre néanmoins une baisse chez les classes de taille [35-45[. (Passe de 90 à 83%) et une hausse chez les anguilles de la classe de taille [45-55[(passe de 43 à 50%).

Dans la lagune, les valeurs du coefficient de vacuité enregistrées, durant le cycle I, sont comprises entre 76 et 100% ; le coefficient de vacuité le plus bas est relevé chez les anguilles de la classe de taille [45-55[et le plus élevé chez les petits et les grands individus ([25-35[et [55-65[respectivement). Les valeurs du coefficient de vacuité sont de l'ordre de 80% chez les individus de la classe de taille [35-45[. Durant le cycle II, le coefficient de vacuité est passé de 80 à 75% chez les individus de la classe de taille [35-45[et de 77 à 71% chez ceux de la classe de taille [45-55[; cependant, il n'a pas varié chez les autres classes de taille.

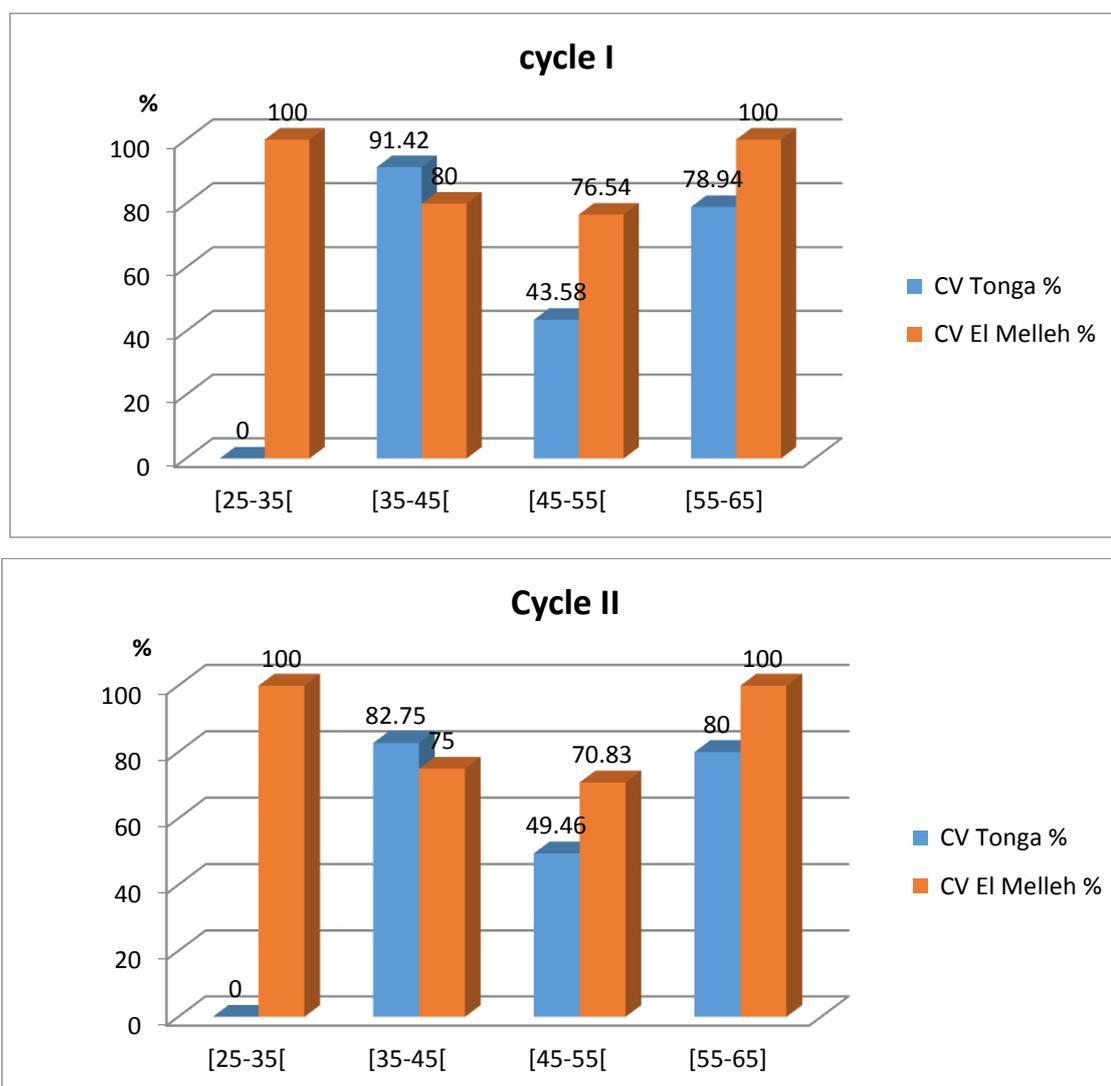
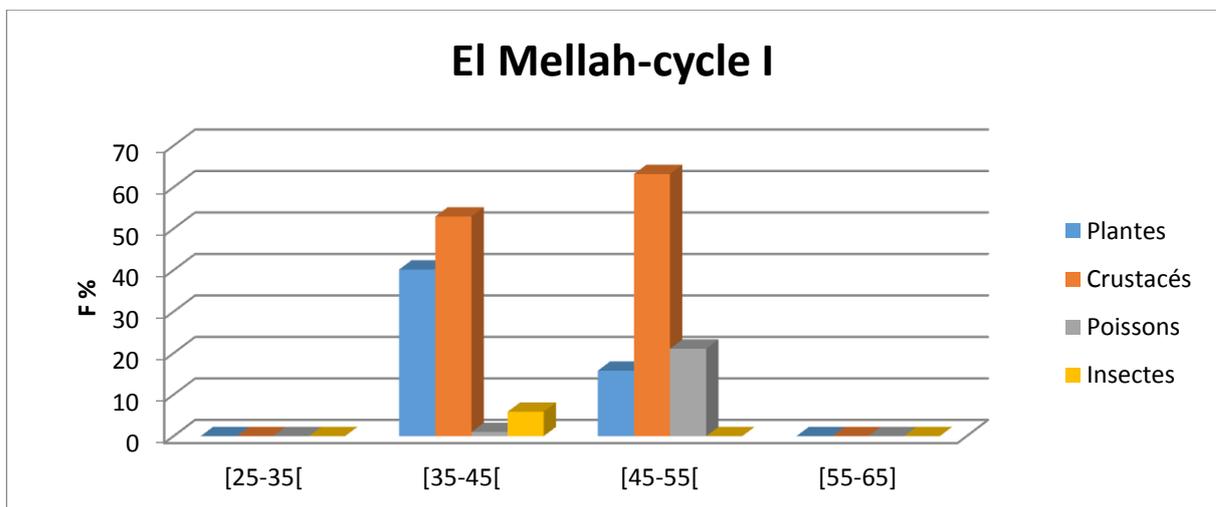


Figure 51: Evolution du coefficient de vacuité en fonction de la classe de taille des anguilles.

3.2.3. Fréquences d'apparition des proies (F%) :

Les résultats de l'analyse qualitative du contenu du tube digestif de l'anguille, peuplant des deux plans d'eau, montrent la présence de proies d'origine animale et végétale. Les proies d'origine animale sont soit des vertébrés (poissons) soit des invertébrés (crustacés, insectes) ; en ce qui concerne les proies d'origine végétales, ce sont des algues ou des plantes. Nous notons, par ailleurs, que les proportions de ces proies varient d'un plan d'eau à l'autre.

✚ En milieu lagunaire, le contenu du tube digestif des anguilles de la classe de taille [35-45[, le régime alimentaire est composé de crustacés (52,94%), de plantes (40,17%), d'insectes (5,88%) et de poissons (seulement 1%). En revanche, chez les anguilles de la classe de taille [45-55[, le contenu du tube digestif comprend des crustacés (63,15%), des poissons (21,07%) et des plantes (15,78%). Nos résultats font apparaître que les proportions de ces catégories de proies changent d'une classe à l'autre (fig.52); nous relevons, avec l'augmentation de la taille des anguilles, une augmentation des proportions de crustacés et de poissons et une baisse des proportions des plantes et des insectes ceci aussi bien durant le cycle I que durant le cycle II.



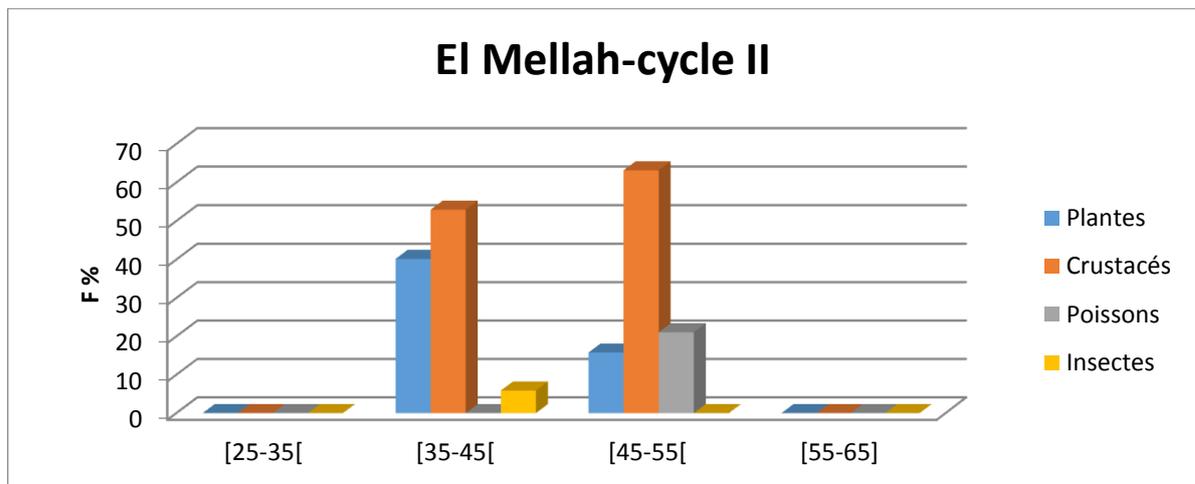


Figure 52 : Proportions des proies ingérées par les anguilles des différentes classes de taille (lagune El Mellah).

✚ Chez les anguilles capturées dans le lac Tonga au cours du cycle I, les proportions des proies montrent des changements en fonction de la taille du poisson. La fraction des « proies poissons » passe de 17% chez les anguilles de la classe de taille [35-45[à 53 % et 83% chez celles des classes de taille [45-55[et [55-65[, respectivement. En revanche, les proportions des plantes passent de 100% chez les anguilles de [25-35[à 41% et 29% chez celles des classes de taille [35-45[et [45-55[respectivement ; les proportions en plantes sont nulles chez les anguilles de grande taille ([55-65[). Les proportions de crustacés montrent une baisse ; elles passent de 22% chez les anguilles de la classe de taille [35-45[à 11% et 0% respectivement chez les anguilles des classes de taille [45-55[et [55-65[. Les proportions d'insectes marquent aussi une baisse ; elles représentent 16% des proies ingérées par les anguilles de la classe de taille [35-45[puis baissent à 7% des proies contenues dans le tube digestif des anguilles des classes de taille [45-55[et [55-65[respectivement. Durant le cycle II, les anguilles de la classe de taille [35-45[ont intégré plus de poissons dans leur ration (de 17 à 25%) ; quant à celles de la classe de taille [55-65[le régime est essentiellement composé de poissons (passe de 83 à 100%).

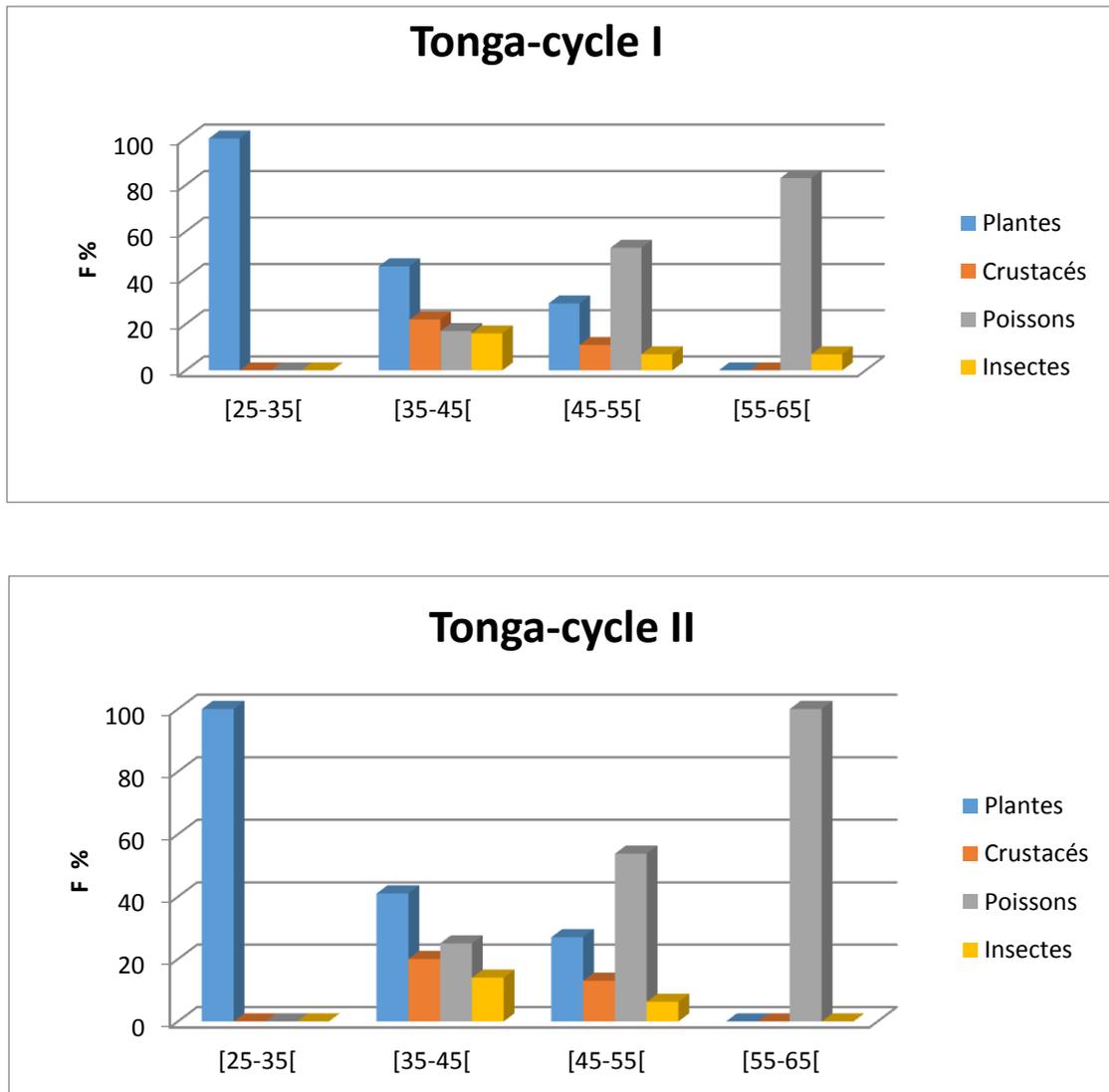


Figure 53 : proportions des proies ingérées par les anguilles des différentes classes de taille (lac Tonga).

3.3. Caractérisation biochimique de l'anguille (qualité organoleptique)

3.3.1 Macronutriments : lipides, protéines, hydrate de carbone, cendre et humidité :

Les résultats de ces différents paramètres biochimiques obtenus sont représentés dans le tableau 15 et par les figures 54 et 55 (comparaison intersites) et le tableau 16 et par figures 56 et 57 (comparaison intrasite).

Les différentes investigations montrent que les teneurs en lipides totaux sont plus élevés chez l'anguille de la lagune El Mellah que celui du lac Tonga et cela pour les deux saisons (Hiver et printemps) avec une différence hautement significative $p \leq 0.001$). Les valeurs maximales enregistrées sont pendant la saison d'hiver. Ces taux de lipides diminuent de l'hiver ($22,15 \pm 0,11\%$) au printemps ($21,80 \pm 0,10\%$) ce qui révèle une variation saisonnière hautement significative ($p \leq 0.001$). Cela peut s'expliquer par l'augmentation de la température et la salinité au printemps ce qui mobilise les réserves des matières grasses (EL Oudiani and Missaoui, 2013^a). Ces résultats sont similaires aux travaux de recherche réalisés sur l'anguille Européenne au niveau de la lagune de Bizerte (EL Oudiani and Missaoui, 2013^b). En effet, selon Andersen et Alsted (1993), une augmentation de la teneur en lipide dans les aliments entraîne un accroissement des dépôts lipidiques chez plusieurs espèces, truite, saumon atlantique et le turbot, ce qui explique des teneurs élevées enregistrées chez l'anguille et qui sont de $21,37 \pm 0,13\%$ pour lac Tonga en hiver et $22,15 \pm 0,11\%$ pour la lagune El Mellah et cela pour la même saison.

L'analyse de la variation saisonnière des protéines, des hydrates de carbone, des cendres et de l'humidité au niveau des deux sites, montre que l'anguille du lac Tonga est plus riche en nutriments que celui de la lagune El mellah et les taux augmentent significativement ($p \leq 0.001$) au printemps. Selon Lecomte –Finiger (1983), l'anguille se nourrit surtout la nuit en périodes chaudes (printemps et été). Egalement les maximums d'activités alimentaires observées chez l'anguille Européenne se produisent à des températures situées entre 25 et 26 °C, ce qui explique des taux élevés de ces paramètres biochimiques à la saison de printemps. Selon Ando et Hatano (1986), la fraction protéinique est plutôt constante dans la plupart des espèces, cependant, on pu observer des variations comme la réduction en protéines se produisant dans le saumon pendant de longues migrations de ponte qui s'étend de janvier à juillet.

On note également que pendant la saison de printemps, les taux de glucides totaux de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah sont les plus élevés, alors que habituellement, chez les poissons gras, les glucides sont faibles, sous forme de glycogène et sont généralement inférieurs à 1% (Piclet, 1987). Ce paramètre biochimique donne une

excellente caractéristique organoleptique et une qualité nutritionnelle spécifique particulièrement chez l'anguille capturée au lac Tonga qui enregistre des taux d'hydrates de carbone ($1,93 \pm 0,05$ %) significativement supérieurs ($p \leq 0.001$) à ceux de l'anguille du lac Mellah avec un taux de $1,55 \pm 0,07$ %.

En ce qui concerne le taux d'humidité, l'examen des résultats montre que lorsque le taux d'humidité augmente, le taux de lipides diminuent et cela pour les deux sites et les deux saisons. Par ailleurs, le taux d'humidité reste plus élevé en hiver particulièrement pour le lac Tonga avec une valeur de ($74,52 \pm 0,12$ %) ce qui montre que le taux des lipides totaux chez l'anguille du lac Tonga sont significativement plus faible ($p \leq 0.001$) que celui de la lagune El Mellah.

L'analyse de ces paramètres préliminaires a pu donc apporter une évaluation biochimique de l'espèce *Anguilla anguilla* capturée au niveau du lac Tonga et le la lagune El mellah situées au niveau de la wilaya d'El Tarf et qui montre qu'il y a d'une part une variation saisonnière et un effet site d'autre part. L'anguille du lac Tonga semble avoir une valeur nutritionnelle meilleure au printemps que celle du la lagune El Mellah.

Tableau 15: Variation saisonnière inter- sites des paramètres biochimiques du muscle de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah Moyenne. \pm ES ; n = 15/site

Paramètres Biochimiques (%)	Pourcentage en nutriments du muscle d'anguille					
	Tonga Hiver	Mellah Hiver	P	Tonga Printemps	Mellah Printemps	P
	Lipides totaux	$21,37 \pm 0,13$	$22,15 \pm 0,11$	0,000	$19,4 \pm 0,20$	$21,80 \pm 0,10$
Protéines totales	$17,20 \pm 0,06$	$15,70 \pm 0,05$	0,000	$23 \pm 0,178$	$21,84 \pm 0,73$	0,000
Hydrates de carbone totaux	$1,27 \pm 0,06$	$1,04 \pm 0,05$	0,000	$1,93 \pm 0,05$	$1,55 \pm 0,07$	0,000
Humidité	$74,52 \pm 0,12$	$66,71 \pm 0,12$	0,000	$71,08 \pm 0,12$	$73,05 \pm 1,27$	0,000
Cendres	$1,34 \pm 0,06$	$1,19 \pm 0,10$	0,000	$1,48 \pm 0,07$	$1,32 \pm 0,08$	0,000

$p \leq 0,001$ = test student hautement significatif

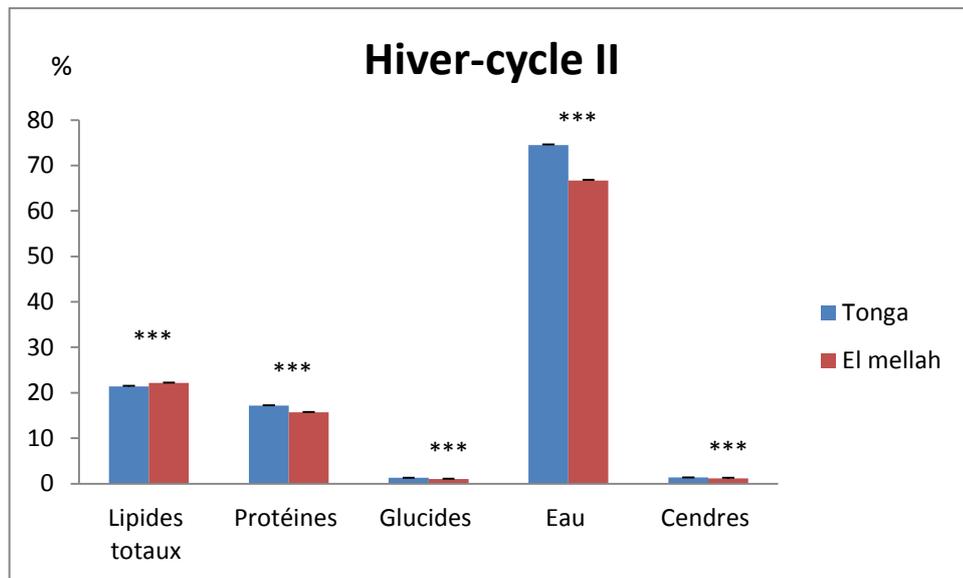


Figure 54 : Pourcentage en nutriments du muscle de l’anguille des deux plans d’eau pour la saison d’hiver. (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, *** : $p \leq 0,001$)

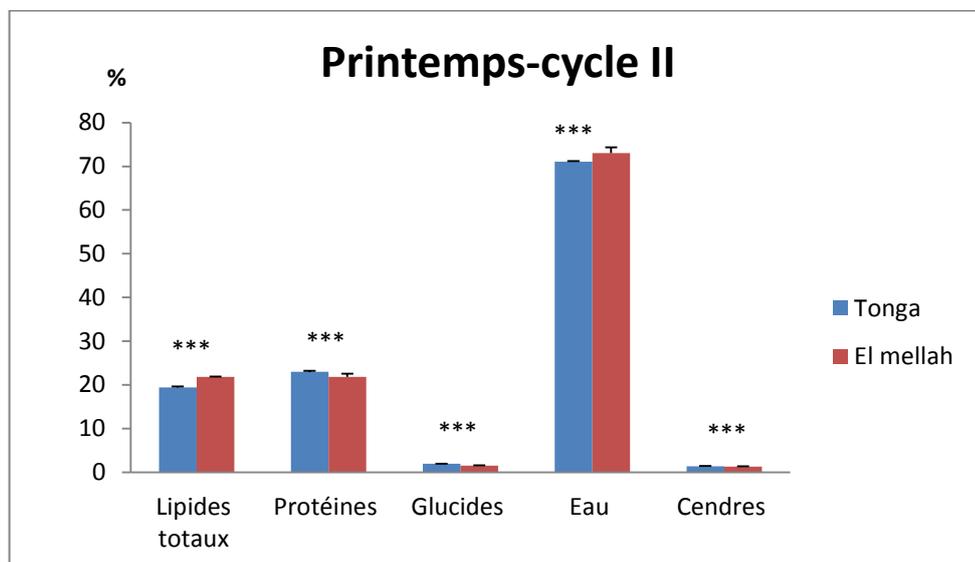


Figure 55: Pourcentage en nutriments exprimé en % du muscle de l’anguille des deux plans d’eau pour la saison du printemps. (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, *** : $p \leq 0,001$).

Tableau 16 : Variation saisonnière intra- site des paramètres biochimiques du muscle de l'anguille du lac Tonga et lagune El Mellah Moyenne. \pm ES ; n = 15/site.

Paramètres Biochimiques (%)	Pourcentage en nutriments du muscle d'anguille					
	Tonga	Tonga	P	Mellah	Mellah	P
	Hiver	Printemps		Hiver	Printemps	
Lipides totaux	21,37 \pm 0,13	19,4 \pm 0,20	0,000	22,15 \pm 0,11	21,80 \pm 0,10	0,000
Protéines totales	17,20 \pm 0,06	23 \pm 0,178	0,000	15,70 \pm 0,05	21,84 \pm 0,73	0,000
Hydrates de carbone totaux	1,27 \pm 0,06	1,93 \pm 0,05	0,000	1,04 \pm 0,05	1,55 \pm 0,07	0,000
Humidité	74,52 \pm 0,12	71,08 \pm 0,12	0,000	66,71 \pm 0,12	73,05 \pm 1,27	0,000
Cendres	1,34 \pm 0,06	1,48 \pm 0,07	0,000	1,19 \pm 0,10	1,32 \pm 0,08	0,000

$p \leq 0,001$ = test student hautement significatif

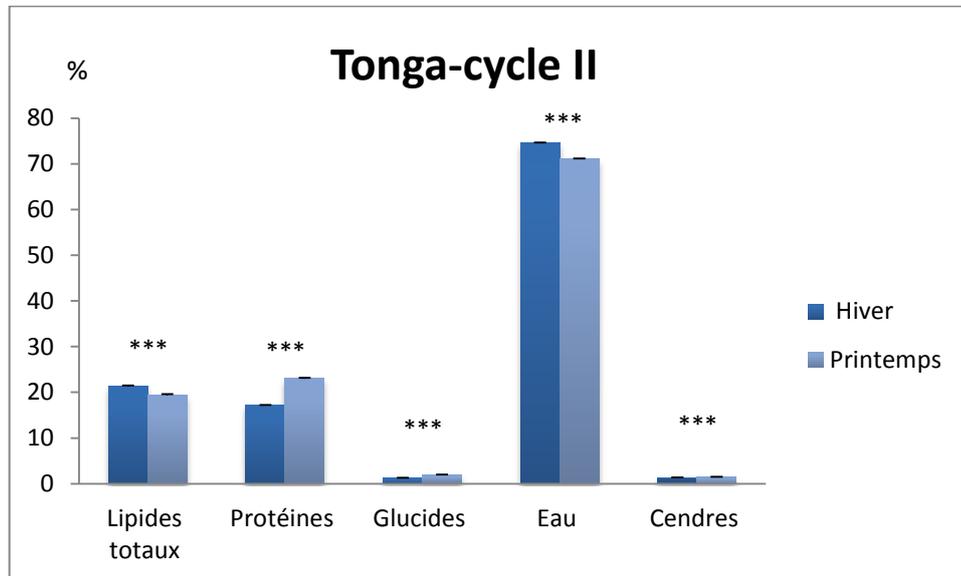


Figure 56: Pourcentage en nutriments du muscle de l'anguille du lac Tonga pour les deux saisons (hiver-printemps). (Barres verticales = \pm Ecart type, n=15, *** : $p \leq 0,001$)

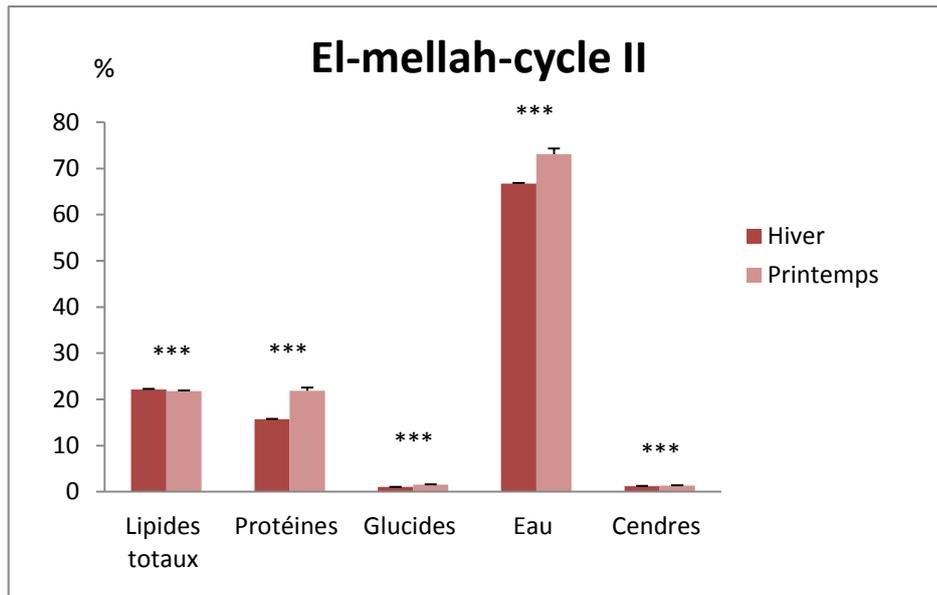


Figure 57: Pourcentage en nutriments du muscle de l’anguille de la lagune El mellah pour les deux saisons (hiver-printemps). (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, *** : $p \leq 0,001$).

3.3.2. Composition en acide gras et variation saisonnière :

Après extraction des lipides totaux du muscle de l’anguille des différents échantillons en fonction des saisons (hiver et printemps) par technique de Soxhlet. Les acides gras ou triglycérides sont méthylés par méthode de trans-estérification (méthanolyse) ce qui permet d’obtenir des dérivés volatils et analysables par chromatographie en phase gazeuse (CPG). Suite à cette méthodologie de travail et aux différentes investigations, les résultats obtenus se présentent comme suite :

L’analyse qualitative des différents chromatogrammes des acides gras (quelques profils seulement sont présentés en Annexe, (**figure 6,7,8 et 9**) montre que pour les deux saisons (hiver et printemps) et pour les deux sites , le muscle de l’anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah , contient 22 acides gras (Tableau 17) allant de C12 à C22 dont 15 soit 68,18 % sont saturés et 7 soit 31,81 % acides gras insaturés . Les différents acides gras identifiés présents dans ce même tableau sont présentés en fonction de leurs temps d’élution ou temps de rétention (Tr). Ainsi, les acides gras de faibles poids moléculaires (PM) tel que le C12 :0 avec Tr : 20,47 minutes sortira le premier et les acide gras de PM élevés tel que le C22 :0 sortira le dernier avec Tr : 39,43 minutes. Par ailleurs , l’analyse de la qualité de séparation des différents acides gras donne des profils d’acides gras (annexe) avec des pics bien symétriques caractéristiques d’une bonne résolution chromatographique , cependant , seulement 87 % de l’extrait lipidique est identifié ce qui ne complète pas la totalité des

composés présents dans le mélange. Ce résultat montre que quelque soit la saison (Hiver ou printemps) et quelque soit le site (lac Tonga ou la lagune El Mellah), l'anguille d'eau saumâtre ou d'eau douce synthétise les mêmes acides gras cités déjà et qui sont au nombre de 22. Ce résultat laisse penser que le métabolisme de l'anguille est programmé génétiquement pour la biosynthèse de ces acides gras, mais les différences se situent au niveau quantitatif, c'est-à-dire le pourcentage de ces acides gras varient en fonction des saisons et des milieux.

Tableau 17 : Identification des acides gras dans le muscle de l'anguille du lac Tonga et la lagune EL Mellah par CPG-FID pour les deux saisons (Hiver et printemps).

N°	Non de l'acide gras	Nomenclature	Temps de rétention en minutes (Tr)
1	Dodécanoate de méthyle	C12 :0	20,47
2	Myristate de méthyle	C14:0	24,42
3	12-méthyl-tetradécanoate de méthyle	C14 :0 (isomère)	25,71
4	Pentadécanoate de méthyle	C15 :0 (isomère ramifié)	26,25
5	Palmitate de méthyle ramifié isomère	C16:0	27,24
6	Palmitate de méthyle	C16 :0 (isomère)	28,06
7	Hexadénoate de méthyle isomère	C16	28,21
8	Palmitoléate de méthyle	C16 : 1 n-7	28,35
9	Hexadénoate de méthyle ramifié isomère	C16 :0 (isomère ramifié 1)	28,51
10	Hexadénoate de méthyle ramifié isomère	C16 :0 (isomère ramifié 2)	28,96
11	Heptadécanoate de méthyle isomère	C16:0 (isomère)	29,20
12	Heptadécanoate de méthyle	C 17 : 0	29,72
13	Ethyl-Hexadécanoate de méthyle	C17 : 0 (isomère ramifié)	29.99
14	Stéarate de méthyle	C 18 :0	31.57
15	Oléate de méthyle	C18 :1 n-9 (oléate)	31.85
16	Octadécénoate de méthyle*	C18 :1 n-9 (trans)	31.94
17	Linoléate de méthyle	C18 : 2 n-6 (Omega 6) (9-12)	32.45
18	Linoléate de méthyle	C18 : 3 n-3 (Omega 3)	33.33
19	Arachidate de méthyle	C20 :0	35.40
20	cis-11-Eicosénoate de méthyle	C20 :1 n-9	35.68
21	Eicosadiénoate de méthyle isomère	C20 :2 n-6 (Omega 6) (11-14)	36.43
22	Béhénate de méthyle	C22 :0	39.43

Au niveau de l'analyse quantitative des différents acides gras saturés ou insaturés identifiés dans le muscle de l'anguille, tous les résultats obtenus sont représentés par le tableau 18 (intersites) et le tableau 19 (intrasite). L'examen de ces résultats montre que l'acide palmitique est le plus dominant au niveau des deux sites (variation intersites) et des deux saisons (Hiver et printemps) allant jusqu'à un maximum de $21,529 \pm 0,010\%$ chez l'anguille d'El Mellah observé en hiver (tableau 18). Pour chaque site, l'acide palmitique diminue de manière significative ($p \leq 0,001$) de l'hiver au printemps au même titre que les lipides totaux. Egalement le taux de l'acide palmitique est significativement ($p \leq 0,001$) plus élevé dans la lagune El Mellah que celui du lac Tonga (Tableau 19) ce qui est déjà observé pour les lipides totaux. En effet, l'acide palmitique est connu comme un acide gras clé dans le métabolisme chez les poissons et très faiblement influencé par l'alimentation (Ackman, 1967). Ainsi, les résultats obtenus sont similaires à d'autres travaux effectués sur l'anguille Européenne (EL Oudiani, 2013^a) et la carpe (Hui Hong *et al.*, 2015).

Parmi les composés insaturés identifiés (AGI) dans le muscle de l'anguille pour les deux sites, on note la présence de quatre acides gras monoinsaturés (AGMI) : le palmitoléate C16 (n-7), l'acide oléique C18 (n-9), l'octadécénoate de méthyl C18 (n-9) forme trans et le C20 (n-9) cis-11-Eicosénoate. L'acide oléique est majoritaire et le maximum ($36,968 \pm 0,04\%$) est atteint chez l'anguille d'El mellah pendant la saison d'hiver avec un effet hautement significatif ($p \leq 0,001$). Selon les données bibliographiques, les acides gras monominsaturés (AGMI) particulièrement l'acide oléique varient fortement en quantités selon les espèces et l'alimentation des copépodes (Sargent *et al.*, 1989). En effet, la lagune El Mellah communique avec la mer ce qui enrichit le milieu en phytoplancton dans la chaîne trophique et augmente les teneurs en acide oléique chez l'anguille. En outre, l'analyse des résultats obtenus révèle également la présence d'acide gras polyinsaturés (AGPI) au nombre de trois et qui sont : l'acide linoléique C18 (3n-3) oméga 3, l'acide linoléique C18 (2n-6) oméga 6 et l'acide Eicosadiénoïque de méthyl C20 (2n-6) oméga 6. Les acides gras essentiels (acide linoléique ou Oméga 3 et linoléique oméga 6) jouent un rôle important dans la synthèse des autres acides gras polyinsaturés en particulier l'acide Eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA). Par ailleurs, des travaux de recherches (Oudiani and Missaoui (2013^a, 2013^b) effectués sur le muscle de l'anguille Européenne, mettent en évidence la présence de l'acide Eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA) qui sont très importants pour le développement et le fonctionnement du cerveau et la rétine (Lauritzen *et al.*, 2001). Chez les poissons d'eau douce, la truite arc-en-ciel et la carpe sont connues comme étant capables de réaliser pleinement cette bioconversion. En revanche,

chez les poissons marins, les enzymes impliquées dans les désaturations en ~ 6 , ~ 5 et ~ 4 " sont très faiblement actives voire inactives, ce qui entraîne des besoins spécifiques en AGLPI. Kanazawa *et al.*, 1979). L'absence de ces composés (EPA et de DHA) dans nos échantillons peut s'expliquer probablement soit par leur faibles pourcentages dans le muscle et non détectés par le chromatographe soit par la faible activité enzymatique des désaturases permettant ainsi leur biosynthèse .Toute fois , la présence des deux acides gras essentiels précurseurs (linoléique et linoléique) est un facteur nutritionnel très important du fait que ces deux acides gras peuvent être transformés chez l'homme grâce aux désaturases pour donner l'EPA et le DHA . Du point de vue allégation nutritionnelle, ces deux molécules peuvent être apportées comme complément alimentaire sous forme d'huile de morue connue pour sa commercialisation. Tous les résultats obtenus montrent qu'il y a d'une part une variation saisonnière au sein du même site ce qui influence les différents paramètres biochimiques et le pourcentage d'acides gras. Egalement, d'un site à un autre (lac Tonga et la lagune El Mellah), la salinité du milieu, la température et le régime alimentaire influencent seulement le pourcentage des différents acides gras mais les composés identifiés sont les mêmes.

Tableau 18 : Variation saisonnière intersites du % d'Acides gras de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah pour le cycle 2 (Hiver-Printemps). Moyenne \pm ES ; n = 15/site.

	% AG (2014)					
	Tonga Hiver	Mellah Hiver	P	Tonga Printemps	Mellah Printemps	P
C12:0	0,208 \pm 0,005	0,075 \pm 0,007	0,000	0,214 \pm 0,009	0,077 \pm 0,007	0,000
C13:0	0,108 \pm 0,004	/	/	0,117 \pm 0,006	/	/
C14:0	3,294 \pm 0,006	3,431 \pm 0,019	0,000	3,231 \pm 0,011	4,446 \pm 0,007	0,000
C14 :0(isomere)	0,647 \pm 0,030	0,265 \pm 0,007	0,000	0,206 \pm 0,005	0,068 \pm 0,006	0,000
C15:0	0,786 \pm 0,277	0,835 \pm 0,011	0,000	0,592 \pm 0,007	0,984 \pm 0,006	0,000
C16 :0(isomere ramifié)	0,302 \pm 0,006	0,204 \pm 0,005	0,000	0,214 \pm 0,011	0,208 \pm 0,007	0,004
C16:0	19,301 \pm 0,003	21,529 \pm 0,010	0,000	18,511 \pm 0,011	18,987 \pm 0,008	0,000
C16 :0(isomere)	0,732 \pm 0,011	0,771 \pm 0,009	0,000	0,675 \pm 0,008	0,773 \pm 0,011	0,000
C16 :1 n-7	7,091 \pm 0,041	7,258 \pm 0,072	0,000	7,655 \pm 0,008	9,840 \pm 0,029	0,000
C16 :0(isomère ramifié)	0,303 \pm 0,005	0,081 \pm 0,012	0,000	0,285 \pm 0,009	0,195 \pm 0,007	0,000
C16 :0(isomere ramifié 1)	1,005 \pm 0,030	0,743 \pm 0,005	0,000	0,631 \pm 0,018	0,777 \pm 0,027	0,000
C16 :0Ethyl-hexadecanoate	1,092 \pm 0,054	0,656 \pm 0,006	0,000	0,993 \pm 0,008	0,823 \pm 0,010	0,000
C17 :0(isomère)	0,854 \pm 0,013	0,556 \pm 0,013	0,000	0,478 \pm 0,010	0,367 \pm 0,007	0,000
C17 :0	1,020 \pm 0,257	0,812 \pm 0,008	0,004	0,914 \pm 0,009	0,736 \pm 0,012	0,000
C 18 :0	4,727 \pm 0,005	5,770 \pm 0,024	0,000	4,966 \pm 0,007	4,352 \pm 0,143	0,000
C18 :1 Omega 9	27,697 \pm 0,006	36,968 \pm 0,04	0,000	33,351 \pm 0,009	26,947 \pm 0,077	0,000
C18 :1 n-9	5,069 \pm 0,039	3,334 \pm 0,008	0,000	5,653 \pm 0,020	3,762 \pm 0,087	0,000
C18 : 2 n-6 Omega 6	4,599 \pm 0,007	0,678 \pm 0,011	0,000	3,738 \pm 0,008	0,770 \pm 0,006	0,000
C18 : 3 n-3 Omega 3 (ALA)	2,872 \pm 0,061	0,432 \pm 0,013	0,000	2,613 \pm 0,009	0,435 \pm 0,008	0,000
C20 :0	0,213 \pm 0,007	0,142 \pm 0,007	0,000	0,234 \pm 0,010	0,135 \pm 0,006	0,000
C20 :1 n-9	0,581 \pm 0,012	1,958 \pm 0,016	0,000	1,079 \pm 0,010	1,193 \pm 0,024	0,000
C20 :2 n-6 Omega 6	0,787 \pm 0,007	0,430 \pm 0,010	0,000	0,756 \pm 0,008	0,564 \pm 0,011	0,000
C22 :0	0,233 \pm 0,006	/	/	0,055 \pm 0,011	0,071 \pm 0,005	0,001
Σ AGS	34,825 \pm 0,325	35,87 \pm 0,036	0,000	32,27 \pm 0,028	33,000 \pm 0,136	0,000
Σ AGI	48,699 \pm 0,08	51,106 \pm 0,103	0,000	54,848 \pm 0,035	43,520 \pm 0,082	0,000
Σ AGMI	40,334 \pm 0,061	49,518 \pm 0,101	0,000	47,738 \pm 0,027	41,742 \pm 0,083	0,000
Σ n-6	5,386 \pm 0,009	1,109 \pm 0,017	0,000	4,495 \pm 0,007	1,335 \pm 0,016	0,000
Σ n-3	2,872 \pm 0,061	0,432 \pm 0,013	0,000	2,613 \pm 0,009	0,435 \pm 0,008	0,000
Σ AGI/ Σ AGS	1,398 \pm 0,013	1,425 \pm 0,008	0,000	1,697 \pm 0,002	1,318 \pm 0,006	0,000
n-3/ n-6	0,533 \pm 0,011	0,389 \pm 0,009	0,000	0,581 \pm 0,002	0,325 \pm 0,015	0,000

Tableau 19: Variation saisonnière intrasite du % d'Acides gras de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah pour le cycle 2 (Hiver-Printemps). Moyenne ± ES ; n = 15/site.

	AG% (2014)					
	Tonga Hiver	Tonga Printemps	P	Mellah Hiver	Mellah Printemps	P
C12:0	0,208±0,005	0,214±0,009	0,042	0,075±0,007	0,077±0,007	0,351
C13:0	0,108±0,004	0,117±0,006	0,000	/	/	/
C14:0	3,294±0,006	3,231±0,011	0,000	3,431±0,019	4,446±0,007	0,000
C14 :0(isomere)	0,647±0,030	0,206±0,005	0,000	0,265±0,007	0,068±0,006	0,000
C15:0	0,786±0,277	0,592±0,007	0,000	0,835±0,011	0,984±0,006	0,000
C16 :0(isomere ramifié)	0,302±0,006	0,214±0,011	0,000	0,204±0,005	0,208±0,007	0,055
C16:0	19,301±0,003	18,511±0,011	0,000	21,529±0,010	18,987±0,008	0,000
C16 :0(isomere)	0,732±0,011	0,675±0,008	0,000	0,771±0,009	0,773±0,011	0,316
C16 :1 n-7	7,091±0,041	7,655±0,008	0,000	7,258±0,072	9,840±0,029	0,000
C16 :0(isomère ramifié)	0,303±0,005	0,285±0,009	0,000	0,081±0,012	0,195±0,007	0,000
C16 :0(isomere ramifié 1)	1,005±0,030	0,631±0,018	0,000	0,743±0,005	0,777±0,027	0,000
C16 :Ethyl-hexadecanoate de methyle	1,092±0,054	0,993±0,008	0,000	0,656±0,006	0,823±0,01	0,000
C17 :0(isomère)	0,854±0,013	0,478±0,010	0,000	0,556±0,013	0,367±0,007	0,000
C17 :0	1,020±0,257	0,914±0,009	0,123	0,812±0,008	0,736±0,012	0,000
C 18 :0	4,727±0,005	4,966±0,007	0,000	5,770±0,024	4,352±0,143	0,000
C18 :1 Omega 9	27,697±0,006	33,351±0,009	0,000	36,968±0,04	26,947±0,077	0,000
C18 :1 n-9	5,069±0,039	5,653±0,020	0,000	3,334±0,008	3,762±0,087	0,000
C18 : 2 n-6 Omega 6	4,599±0,007	3,738±0,008	0,000	0,678±0,011	0,770±0,006	0,000
C18 : 3 n-3 Omega 3 (ALA)	2,872±0,061	2,613±0,009	0,000	0,432±0,013	0,435±0,008	0,419
C20 :0	0,213±0,007	0,234±0,010	0,000	0,142±0,007	0,135±0,006	0,021
C20 :1 n-9	0,581±0,012	1,079±0,010	0,000	1,958±0,016	1,193±0,024	0,000
C20 :2 n-6 Omega 6	0,787±0,007	0,756±0,008	0,000	0,430±0,010	0,564±0,011	0,000
C22 :0	0,233±0,006	0,055±0,011	0,000	/	0,071±0,005	/
Σ AGS	34,825±0,325	32,27±0,028	0,000	35,87±0,036	33,000±0,136	0,000
Σ AGI	48,699±0,08	54,848±0,035	0,000	51,106±0,103	43,520±0,082	0,000
Σ AGMI	40,334±0,061	47,738±0,027	0,000	49,518±0,101	41,742±0,083	0,000
Σ n-6	5,386±0,009	4,495±0,007	0,000	1,109±0,017	1,335±0,016	0,000
Σ n-3	2,872±0,061	2,613±0,009	0,000	0,432±0,013	0,435±0,008	0,419
Σ AGI/Σ AGS	1,398±0,013	1,697±0,002	0,000	1,425±0,008	1,318±0,006	0,000
n-3/ n-6	0,533±0,011	0,581±0,002	0,000	0,389±0,009	0,325±0,015	0,000

➤ **Les acides gras saturés (AGS) :**

l'analyse des résultats obtenus (Tableau 18 , figures 58 (a, b) et le tableau 19 ,figures 59 (a, b) de la variation saisonnière hiver et printemps du pourcentage des acides gras saturés (ΣAGS) au niveau du lac Tonga et la lagune El Mellah (comparaison intersites) , montre que les taux enregistrés sont de 34,825±0,325 % en hiver (Tonga) et un taux de 35,87±0,036 % en hiver (El Mellah) . L'examen de l'évolution (comparaison intrasite) des

AGS au niveau du lac Tonga montre que ces corps gras diminuent de l'hiver au printemps de même que pour la lagune El Mellah.

L'analyse statistique montre qu'il y a une différence statistique hautement significative aussi bien dans chaque site et pour les deux saisons qu'entre les deux sites ($P \leq 0,001$). Les taux les plus élevés sont observés chez l'anguille El Mellah en l'hiver. Ce résultat montre que la saison (hiver) semble influencer la synthèse de ces acides gras saturés. En effet, l'abondance relative des AGS s'expliquerait par leur origine endogène et l'alimentation disponible au niveau des deux lacs. Toute fois, selon Sargent *et al.* (1993), les acides gras saturés (acide palmitique) sont peu influencés par la nature d'acides gras disponibles dans l'alimentation du poisson.

➤ **Les acides gras insaturés (AGI) :**

L'examen des résultats (Tableau 18 et figures 58 (a, b) et tableau 19 et figure 59 (a, b) obtenus montre que le taux d'acides gras insaturés le plus élevé ($54,848 \pm 0,035$ %) est observé chez l'anguille du lac Tonga et cela pendant la saison de printemps avec un effet significatif ($p \leq 0.001$). Pour ce qui est de la saison d'hiver, l'analyse montre que le taux le plus élevé ($51,106 \pm 0,103$ %) est obtenu chez l'anguille El mellah avec une différence significative ($P \leq 0,001$). D'après Lecomte –Finiger (1983), en eau douce, les proies des anguilles sont principalement constitués de larves d'insectes, de crustacés, de poisson, mais également de rongeurs, par contre en mer, l'anguille se nourrit de petits poissons et de crustacés. Au printemps, ces anguilles préparent leur migration et les adultes ne s'alimentent pas et vivent des réserves accumulés pendant le stade d'anguille jaune. Par ailleurs, des travaux de recherche (Takeuchi *et al.*, 1989) ont montré qu'une augmentation de la salinité induit un enrichissement en acide gras polyinsaturés dans les phospholipides des branchies du saumon. Toutes ces variations dues aux facteurs environnementaux sont importantes chez les poissons sauvages.

➤ **Les acides gras mono insaturés (AGMI) :**

Les résultats sont représentés par le tableau 18 ; figures 58 (a, b) et le tableau 19, figures 59 (a, b). Les AGMI présentent des teneurs suffisamment élevés, ainsi, le maximum ($49,518 \pm 0,101$ %) est observé chez l'anguille de la lagune El Mellah pendant la saison d'hiver avec dominance de l'acide oléique, par contre chez l'anguille du lac Tonga, le maximum ($47,738 \pm 0,027$ %) est obtenu pendant la saison de printemps avec un effet

hautement significatif ($p \leq 0,001$). On peut dire que la salinité et l'alimentation influencent la quantité des acides gras. En effet, les travaux de recherches (Milli *et al.*, 2011) ont montré que la salinité de l'eau a une action sur le métabolisme lipidique des différentes espèces de poissons. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par d'autres chercheurs (El Ouidiani and Missaoui, 2013^b; Ghazalia *et al.*, 2013) chez l'anguille Européenne. En effet, les acides gras mono insaturés varient fortement en quantités selon les espèces et l'alimentation et les plus abondants sont à 18 ; 20 et 22 carbones et particulièrement l'acide oléique (18 :1 n-9) et l'acide céroléique (22 : 1 n-11) provenant de l'alimentation des crustacés et des poissons d'eau froide (Sargent *et al.*, 1989).

➤ **Les omégas ($\Sigma n-6$ et ($\Sigma n-3$):**

L'étude de la variation saisonnière de la famille des oméga 6 et les oméga 3 (Tableau 18, figures 58 (a, b) et tableau 19, figures 59 (a, b) montre qu'au niveau du lac Tonga, la quantité maximale enregistrée en hiver est de $5,386 \pm 0,009$ % (oméga 6) et $1,335 \pm 0,016$ % (oméga 6) enregistré en printemps pour la lagune El mellah avec des différences hautement significatives ($p \leq 0.001$). Les oméga 3 du site Tonga enregistrent le maximum avec $2,872 \pm 0,061$ % observé en hiver, ces taux diminuent de manière significative ($p \leq 0,001$) de l'hiver au printemps, par contre au niveau du lac El Mellah, les deux saisons ne semblent pas influencer le taux des oméga 3 avec un effet non significatif ($p > 0,05$) (tableau 18 et figure 58 b). Nos résultats sont légèrement similaires à d'autres travaux de recherche qui affirment que les poissons d'eau douce sont relativement plus riches en oméga 6, alors que les poissons marins sont relativement riches en oméga 3 (Ackman, 1967). Ces différences de la nature de lipides des tissus adaptés à diverses salinités ont souvent été attribués aux huiles ingérés dans le régime alimentaire (Farkas, 1971; Thomson *et al.*, 1977) et la capacité de à convertir les acides linoléique et linoléique à longues chaînes (Cowey and Sargent, 1977). D'autres travaux de recherches (Meister *et al.*, 1973) ont montré que chez l'anguille jaune, il y a un effet particulier de la salinité qui affecte principalement la nature des acides gras du tissu.

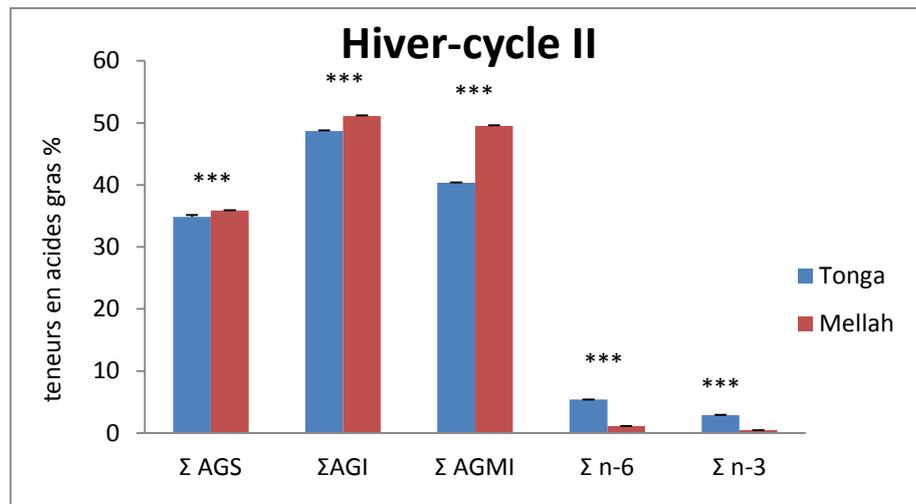
➤ **Les ratios AGI/AGS :**

obtenus (Tableau 18, figures 58 (a, b) et tableau 19, figures 59 (a, b) au niveau des deux sites varient entre 1,318 et 1,697 % et le maximum ($1,697 \pm 0,002$ %) est observé au printemps au niveau du lac Tonga avec un effet significatif ($p \leq 0,001$). Ces rapports montrent d'abord que le pourcentage est d'acide gars insaturés est supérieur aux acides gars saturés et cela pour les deux sites, ce qui révèlent la richesse de échantillons en acides gras

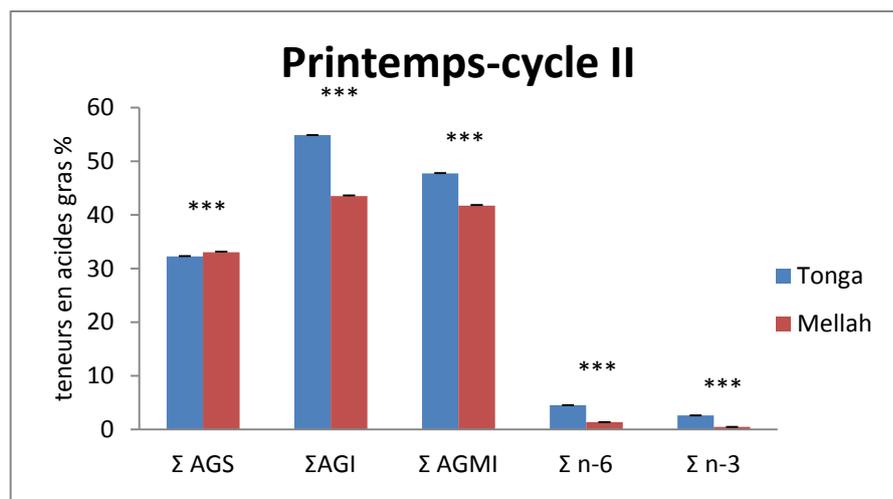
très recommandé sur le plan nutritionnel. Egalement les valeurs obtenues sont supérieures au seuil minimum de 0,45 préconisé par le HMSO (1994). Ces différents résultats montrent que le muscle de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah sont riches en acides gras insaturés avec une prédominance chez l'anguille de Tonga, dont le maximum est obtenu au printemps. Ainsi, nos résultats sont relativement similaires à d'autres travaux de recherche sur l'anguille Européenne (El Ouidiani and Missaoui, 2013^b ; Ghazalia *et al.* , 2013).

➤ **Les Ratio n-3/ n-6 :**

Le rapport n-3/n-6 est un bon indice pour comparer la valeur relative nutritionnelle des organismes marins (Piggott et Tucker, 1990). Il est bénéfique pour la santé humaine par augmentation de la consommation de poissons et de crustacés, qui sont riches en acides gras polyinsaturés de la famille n-3 et pauvres en acides gras polyinsaturés de la famille n-6 (Buzzi *et al.*, 1997). Pour l'être humain il est recommandé de consommer des produits qui sont caractérisés par rapport n-3/n-6 élevé pour réduire les maladies coronariennes et le risque du cancer (Kinsella *et al.*, 1990). Les résultats des rapports n-3/ n-6 obtenus (tableau 18 et 19) donnent une information sur l'équilibre entre ces deux acides gras. Ces rapports donnent des valeurs inférieurs 1 et cela pour les deux saisons et pour les deux sites, ce qui montre qu'il y a plus d'apport d'oméga 6 que d'oméga 3. Ainsi, les valeurs obtenues varient entre 0,325 (El Mellah printemps) et 0,581 % (Tonga printemps) avec effet hautement significatif ($p \leq 0,001$). Les apports en oméga 6 semblent supérieurs aux oméga 3, cependant, les recommandations belges (Brasseur *et al.*, 2004) donnent un rapport n-6 /n-3 se situant entre 2 et 6. Ainsi, l'examen de nos résultats donne les valeurs $\omega 6 / \omega 3$ de 3,06 pour la lagune El Mellah et 2,56 pour le lac Tonga qui sont situées dans cette fourchette ce qui montre la bonne qualité d'huile de l'anguille capturée au printemps au niveau du la lagune El Mellah. Ainsi, un apport alimentaire en poisson à haut rapport n-3/ n-6 serait bénéfique pour la santé humaine (Okland *et al.*, 2005).

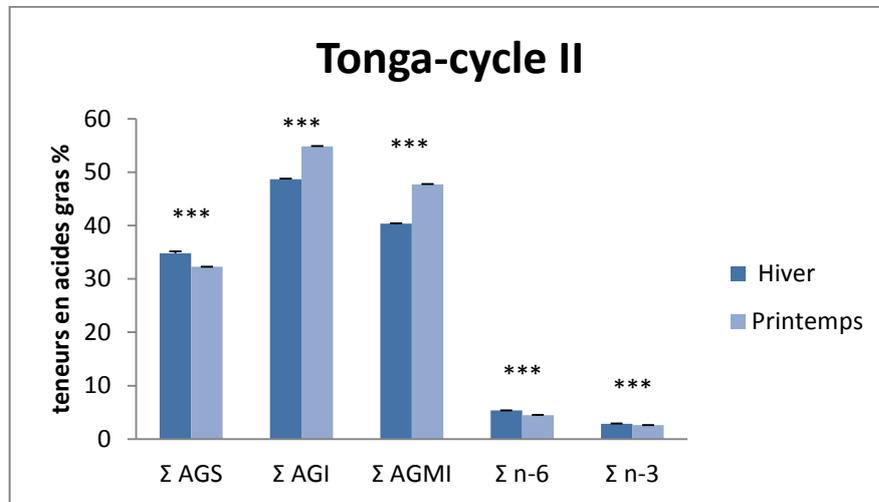


(a)

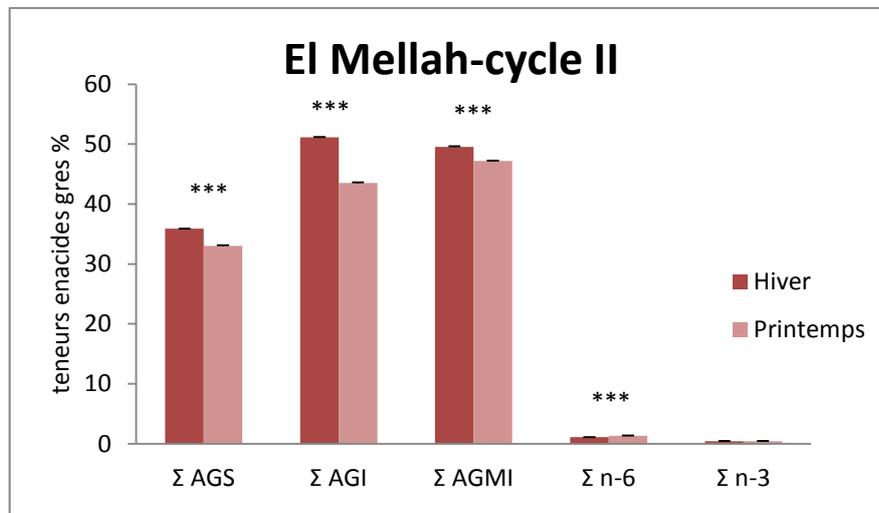


(b)

Figure 58 (a, b): Composition en acides gras (%) : Saturés (Σ AGS), insaturés (Σ AGIS), mono-insaturés (Σ AGMI), Σ n-6, Σ n-3, dans le muscle de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah pour le cycle II : (a) hiver/ (b) Printemps. (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, *** : $p \leq 0,001$).



(a)



(b)

Figure 59 (a et b). : Composition en acides gras (%) : Saturés (Σ AGS), insaturés (Σ AGIS), mono-insaturés (Σ AGMI), Σ n -6, Σ n -3, dans le muscle de l'anguille du lac Tonga et la lagune El Mellah pour le cycle II (2014) : (a)Tonga : hiver-Printemps / (b) El mellah : Hiver-Printemps. (Barres verticales= \pm Ecart type, n=15, N.S : $p > 0,05$, *** : $p \leq 0,001$).

3.4. Proportions des endoparasites recensés (Parasitisme)

L'examen de 360 anguilles pêchées dans chaque plan d'eau, durant les deux cycles d'étude, a révélé la présence de deux endoparasites : le cestode *Bothriocephalus claviceps* présent dans le tube digestif et le nématode *Anguillicoloides crassus* rencontré dans la vessie natatoire

Le dénombrement des parasites récoltés montre la nette prédominance du nématode *Anguillicola crassus* aussi bien en eau douce qu'en eau saumâtre. Le nombre de spécimens de l'espèce *A. crassus* récoltés est de l'ordre de 572 dans le Tonga contre seulement 36 dans la lagune ; ce qui correspond au 1/15^{ème} des effectifs rencontrés en eau douce. En ce qui concerne le cestode *B. claviceps*, nous avons pu récolter 3 dans la lagune et 338 spécimens dans le lac Tonga; ce qui correspond à plus de 112 fois le nombre de vers récoltés en eau saumâtre.

Les proportions des parasites récoltés chez les anguilles des deux plans d'eau ne montrent pas de grosses variations d'une année à l'autre ; nous notons, en effet, qu'en eau douce, le nématode *A. crassus* représente 62 à 63% des effectifs de parasites récoltés et *B. claviceps* 36 à 37%. En eau saumâtre, c'est toujours *A. crassus* qui prédomine avec 90 à 94% des effectifs contre 5 à 10% pour le cestode *B. claviceps* (tab. 20).

Tableau 20: Proportion des endoparasites recensés chez les anguilles peuplant les deux plans d'eau

Parasites	Tonga		El Mellah	
	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II
<i>Anguillicola crassus</i>	299 (63.34%)	273 (62.32%)	19 (90.47%)	17 (94.44%)
<i>Bothriocephalus claviceps</i>	173 (36.65%)	165 (37.67%)	2 (9.53%)	1 (5.55%)
Total	472	438	21	18

3.4.1. Répartition spatiale des indices parasitaires globaux :

✚ Prévalence %

Le ver nématode *A. crassus* est présent dans la vessie gazeuse des anguilles des deux plans d'eau ; ce sont toutefois les anguilles du lac Tonga qui enregistrent les taux d'infestation les plus élevés (proche de 40% des effectifs d'anguilles capturées) ; en milieu lagunaire, les taux d'infestation des anguilles par *A. crassus* n'excèdent pas 6,66% au cours des deux cycles d'étude (fig.60).

Le cestode *Bothriocephalus claviceps*, parasite du tube digestif, enregistre des taux d'infestation proche de 28% chez les anguilles du lac Tonga et pas plus de 1,1% chez celles de la lagune El Mellah (fig.60).

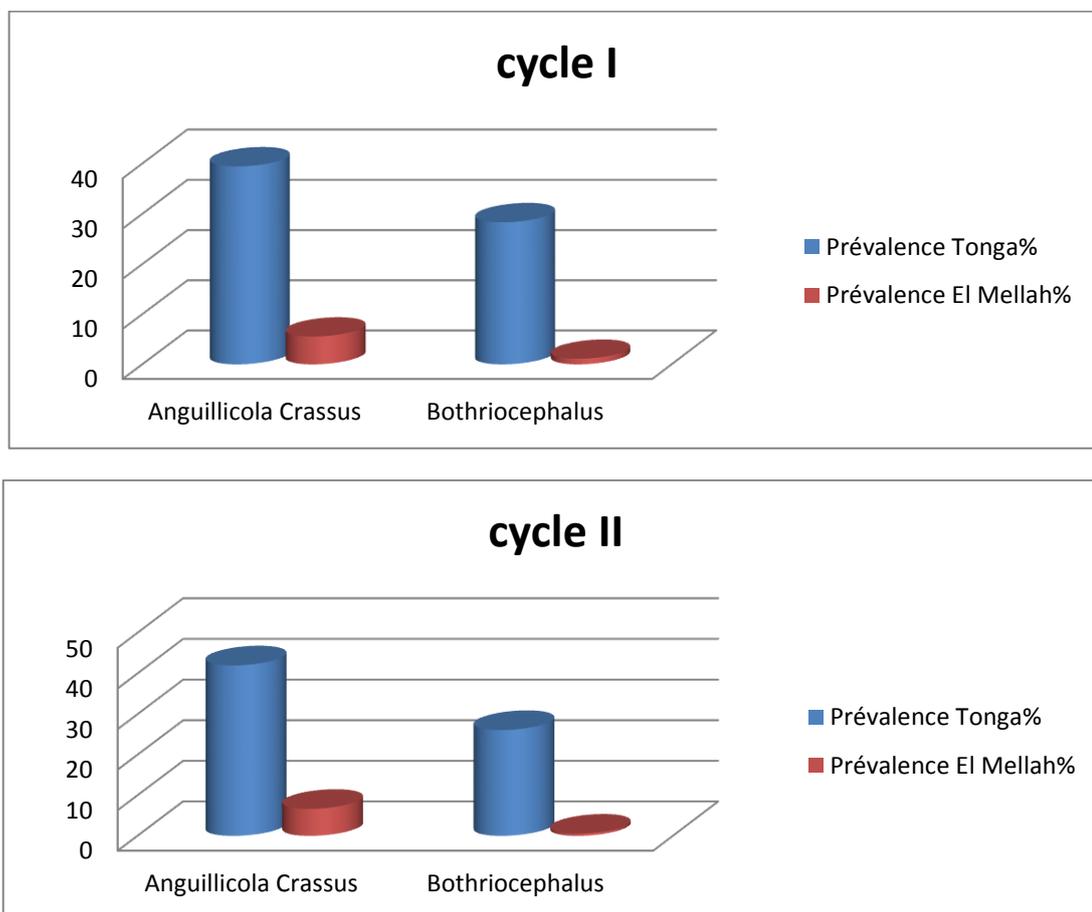


Figure 60 : Taux d'infestation des parasites recensés chez les anguilles capturées dans les deux plans d'eau.

✚ Intensité d'infestation

Les valeurs de l'intensité moyenne d'infestation par le nématode *A. crassus* varient entre 3,59 et 4,21 par anguille infestée dans le Tonga et sont comprises entre 1,42 et 1,9 par anguille infestée dans la lagune ; de ce fait, lors d'infestation par ce ver nématode parasite, les vessies des anguilles du Tonga abriteraient deux fois plus de parasites que celles de la lagune, ceci durant les deux cycles d'étude.

Dans le lac Tonga, les valeurs de l'intensité d'infestation par le cestode *Bothriocephalus claviceps* sont de l'ordre de 3,39 durant toute la période d'étude ; en revanche, dans la lagune, l'intensité moyenne d'infestation par *B. claviceps* ne dépasse pas la valeur 1 durant les deux cycles. Nos résultats montrent que, dans le lac Tonga, les tubes digestifs des anguilles infestées par ce cestode abriteraient 3 fois plus de parasite que celles de la lagune (fig.61).

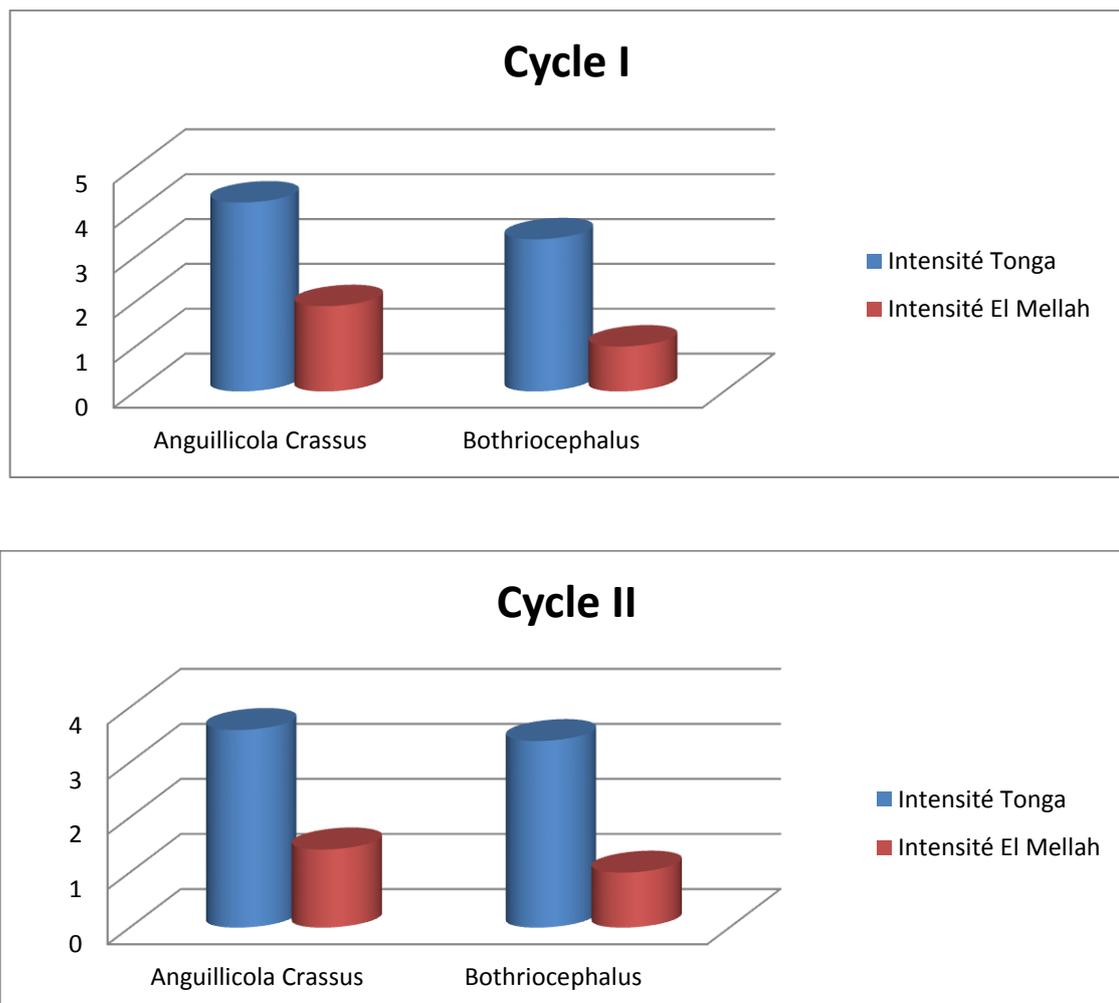


Figure 61 : Intensité d'infestation des parasites recensés chez les anguilles capturées dans les deux plans d'eau.

✚ Abondance

Les valeurs de l'abondance des parasites récoltés chez les anguilles des deux plans d'eau au cours des deux cycles d'étude montrent une évolution similaire à celle de l'intensité. L'espèce *Anguillicola crassus* montre des valeurs de l'abondance comprises entre 1,66 et 1,51 chez les anguilles du lac Tonga et entre 0,09 et 0,1 chez celles de la lagune El Mellah ; Ce ver nématode serait 15 fois plus abondant en eau douce qu'en eau saumâtre. L'espèce parasite *Bothriocephalus claviceps* montre des valeurs de l'abondance proches de 0,94 en eau douce et inférieures à 0,01 en eau saumâtre.

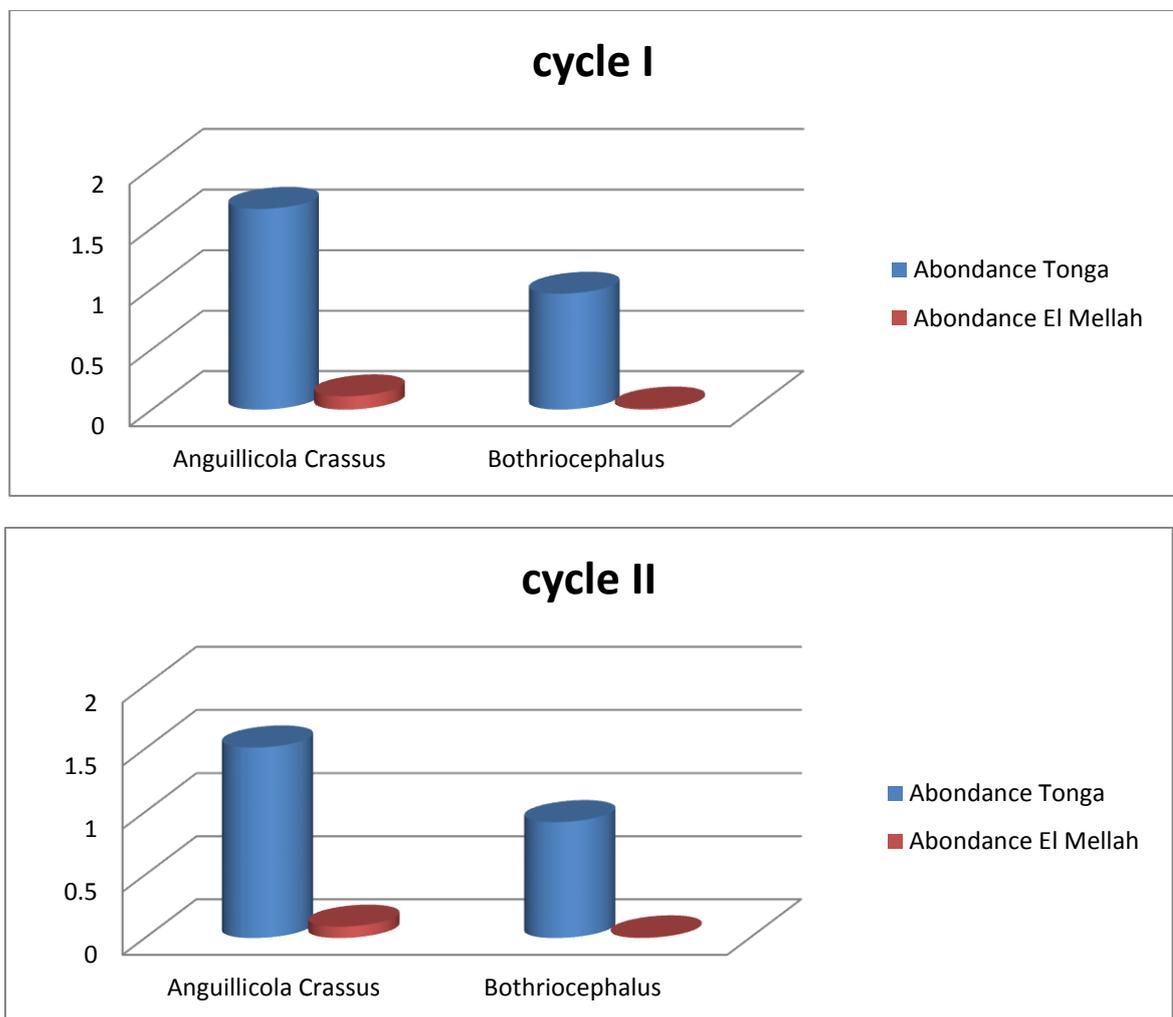


Figure 62: Abondance des parasites recensés chez les anguilles provenant des deux plans d'eau.

3.4.2. Distribution spatio-temporelle des indices parasitaires des espèces recensées :



3.4.2.1. L'espèce *Anguillicola crassus* :

Tableau 21 : Distribution spatio-temporelle des indices parasitaires d'*Anguillicola crassus*

	Prévalence Tonga (%)		Prévalence El Mellah (%)		Intensité Tonga		Intensité El Mellah		Abondance Tonga		Abondance El Mellah	
	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II
Janvier	53,33	66,66	13	13,33	5	3,4	2	1,5	2,66	2,26	0,26	0,2
Février	46,66	33,33	13	6,66	4,85	3,8	2,5	1	2,26	1,26	0,33	0,06
Mars	46,66	60	6,66	13,33	2,85	3	2	1	1,33	1,8	0,13	0,13
Avril	33,33	33,33	0	13,33	4,2	3,4	0	2	1,4	1,13	0	0,26
Mai	46,66	46,66	13	6,66	4,28	2,71	2,5	1	2	1,26	0,33	0,06
Juin	33,33	60	0	13,33	3,2	3,44	0	1,5	1,06	2,06	0	0,2
Juillet	20	13,33	0	0	4	8	0	0	0,8	1,06	0	0
Aout	33,33	33,33	6,66	6,66	5,8	3	1	2	1,93	1	0,06	0,13
Septembre	26,66	46,66	0	0	3,25	2,42	0	0	0,86	1,13	0	0
Octobre	40	26,66	6,66	6,66	5,16	5	1	1	2,06	1,33	0,06	0,06
Novembre	33,33	20	0	0	4	6	0	0	1,33	1,2	0	0
Décembre	60	66,66	6,66	0	3,66	4	1	0	2,2	2,66	0,06	0

Prévalence

Dans le lac Tonga, *A. crassus* est présent toute l'année, mais, en revanche, en milieu lagunaire sa présence est limitée à sept et 8 mois sur douze (respectivement cycle I et cycle II). Dans le lac Tonga, l'espèce *A. crassus* montre des taux d'infestation mensuels compris entre 20 et 60% durant le cycle I et variant de 13 à 66% au cours du cycle II ; Dans la lagune, les valeurs de la prévalence de ce ver nématode sont comprises entre 0 et 13% durant les deux cycles (fig.63).

En eau douce, la distribution des valeurs des prévalences saisonnières d'*A. crassus* se fait, durant le cycle I, selon l'ordre décroissant hiver > automne > printemps > été et durant le cycle II, selon l'ordre décroissant hiver > printemps > automne > été. En eau saumâtre, la distribution des valeurs saisonnières de la prévalence de *A. crassus* se fait selon l'ordre suivant Hiver > printemps > automne > été durant le cycle I ; en revanche, durant le cycle II les valeurs rencontrées en hiver et au printemps sont de l'ordre de 11,10% et celles de l'été et

l'automne sont égales à 2,22%. Il ressort de cette étude que le plus fort de l'infestation par *A. crassus* a lieu en hiver et le plus bas se passe en été ceci aussi bien en eau douce qu'en eau saumâtre.

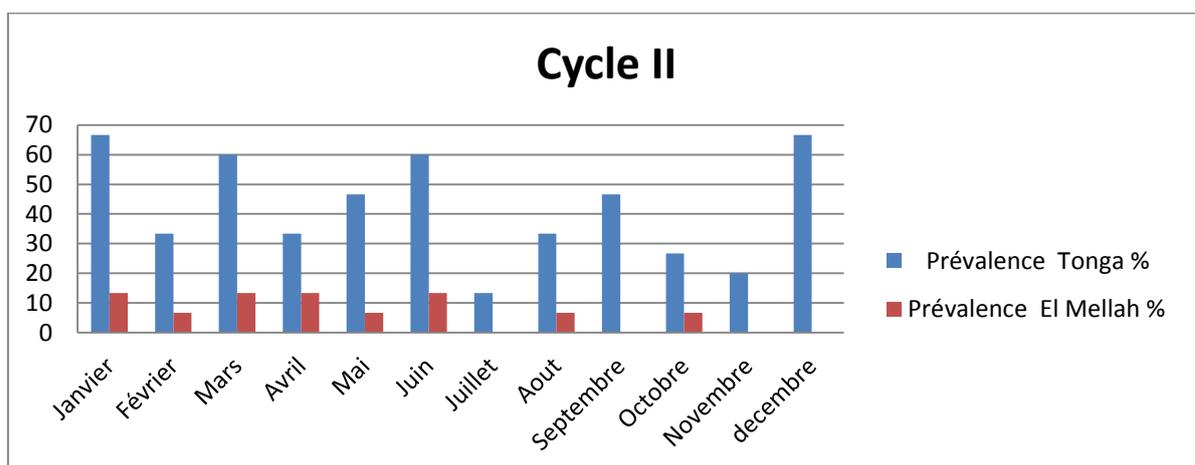
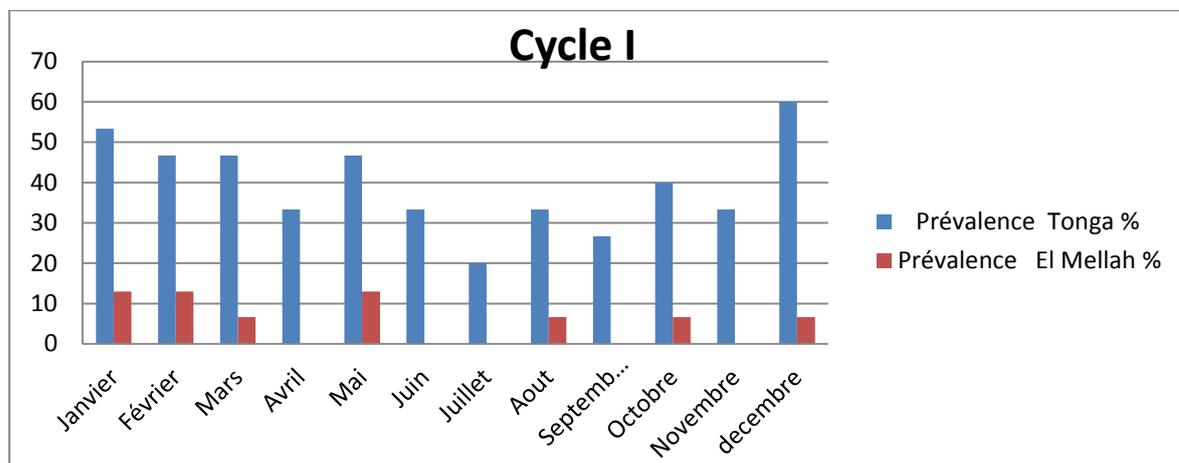


Figure 63 : Distribution mensuelle des prévalences d'*A. crassus* chez les anguilles provenant des deux plans d'eau.

Intensité d'infestation

Dans le lac Tonga, les valeurs de l'intensité d'infestation des anguilles par *A. crassus* varient de 2.85 (en mars) à 5.8 (en aout) durant le cycle I et de 2.4 (en septembre) à 8 (en juillet) durant le cycle II. Les valeurs des intensités moyennes saisonnières évoluent, durant le cycle I, selon l'ordre décroissant suivant été > automne > hiver > printemps (de 4,35 à 3,86 vers/anguille infestée) et durant le cycle II selon l'ordre décroissant suivant automne > été > hiver > printemps (de 5 à 3,16 vers/anguille infestée).

En milieu lagunaire, les valeurs de l'intensité d'infestation des anguilles par *A. crassus* varient de 1 à 2.5 durant le cycle I et de 1 à 2 durant le cycle II. En milieu saumâtre la distribution des valeurs des intensités moyennes saisonnières évoluent, durant le cycle I, selon l'ordre décroissant suivant hiver > printemps > automne > été (de 2,16 à 0,33 vers/anguille infestée) et durant le cycle II selon l'ordre décroissant suivant printemps > hiver > été > automne (de 1,5 à 0,33 vers/anguille infestée). Il ressort de ces observations que les saisons de fortes infestations changent d'un milieu à l'autre et d'une année à l'autre ; nous notons, en effet, qu'en eau douce c'est en été et en automne que l'anguille infestée héberge le plus de parasites ; en eau saumâtre, c'est plutôt en hiver et au printemps que l'anguille abrite le plus de parasites dans sa vessie. Quant aux valeurs les plus basses elles sont notées au printemps dans le lac Tonga et en été –automne dans la lagune.

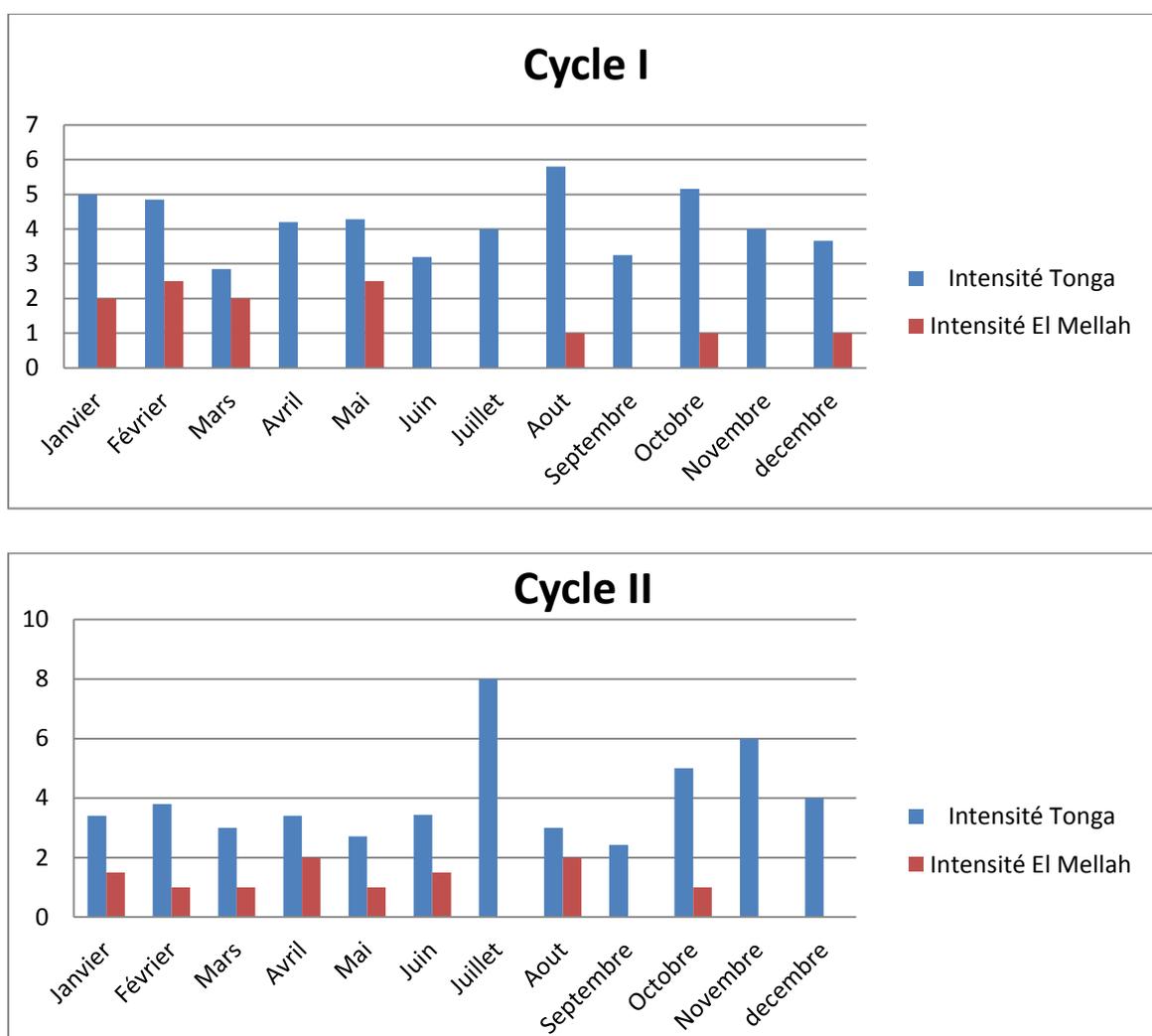


Figure 64 : Distribution mensuelles des intensités moyennes d'infestation par *Anguillicola crassus* chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.

 **Abondance**

Dans le lac Tonga, les valeurs de l'abondance d'*A. crassus* sont comprises entre 0,8 et 2,66 durant les deux cycles d'étude. Les valeurs saisonnières de l'intensité d'infestation varient de 2,08 à 1,19 durant le cycle I et entre 1,77 et 1,06 durant le cycle II ; nous notons toutefois que la distribution des valeurs saisonnières suit l'ordre décroissant suivant hiver > automne > printemps > été ceci durant les deux cycles (fig. 65).

Les valeurs de l'abondance d'*A. crassus* en milieu lagunaire sont faibles ; elles varient de 0,02 à 0,24 vers/anguille examinée. Nous notons, toutefois, que les valeurs les plus élevées sont relevées en période hivernale et printanière et les plus basses en été et en automne (fig.65).

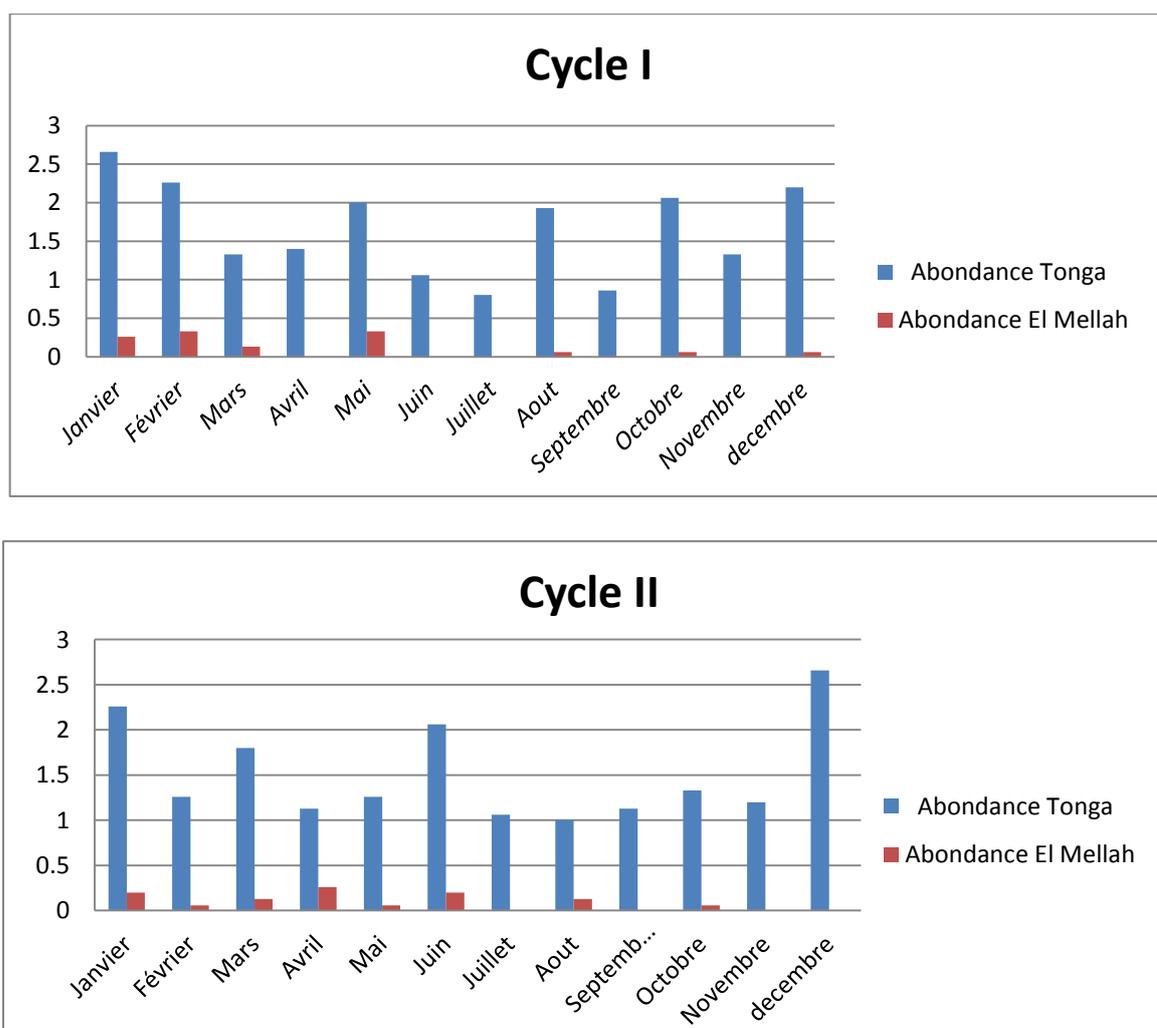


Figure 65 : Distribution mensuelles des abondances d'*Anguillicola crassus* chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.

3.4.2.2. L'espèce *Bothriocephalus claviceps* :

Dans le tableau 22, sont consignés l'ensemble des indices parasites de *Bothriocephalus claviceps* chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau pour les deux cycles d'étude.

Tableau 22 : Distribution spatio-temporelle des indices parasites de *Bothriocephalus claviceps* chez les anguilles peuplant les deux plans d'eau pour le cycle I et II.

	Prévalence Tonga (%)		Prévalence El Mellah (%)		Intensité Tonga		Intensité El Mellah		Abondance Tonga		Abondance El Mellah	
	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II
Janvier	26,66	20	0	0	1,5	1,66	0	0	0,4	0,33	0	0
Février	60	46,66	0	0	2,22	2,42	0	0	1,33	1,13	0	0
Mars	33,33	40	0	0	3,2	3	0	0	1,06	1,2	0	0
Avril	13,33	20	0	0	5	5,5	0	0	0,66	0,73	0	0
Mai	60	13,33	0	0	5	4,77	0	0	3	2,86	0	0
Juin	46,66	60	0	0	4,28	4,66	0	0	2	1,86	0	0
Juillet	26,66	40	0	0	3	3,66	0	0	0,8	0,73	0	0
Aout	20	6,66	0	0	2	3	0	0	0,4	0,2	0	0
Septembre	6,66	6,66	0	0	3	3	0	0	0,2	0,2	0	0
Octobre	20	26,66	3,33	0	5	4,25	1	0	1	1,13	0,03	0
Novembre	6,66	13,33	3,33	0	2	1	1	0	0,13	0,13	0,03	0
Décembre	20	20	0	3,33	2,66	2,33	0	1	0,53	0,46	0	0,03

Prévalence %

Dans le lac Tonga, le cestode parasite est rencontré toute l'année à des prévalences comprises entre 6,66 et 60% durant toute la période d'étude. L'évaluation des taux d'infestation saisonniers des anguilles par *B. claviceps* fait apparaître des valeurs élevées (proches de 40%) en hiver et au printemps et basses en été (proche de 18%) et en automne (moins de 16% et moins de 20% durant le cycle I et II respectivement).

En milieu lagunaire, le cestode *Bothriocephalus claviceps* n'est rencontré qu'en octobre et novembre durant le cycle I et uniquement en décembre durant le cycle II ou il n'infeste pas plus de 3,33% des effectifs d'anguille (fig.66).

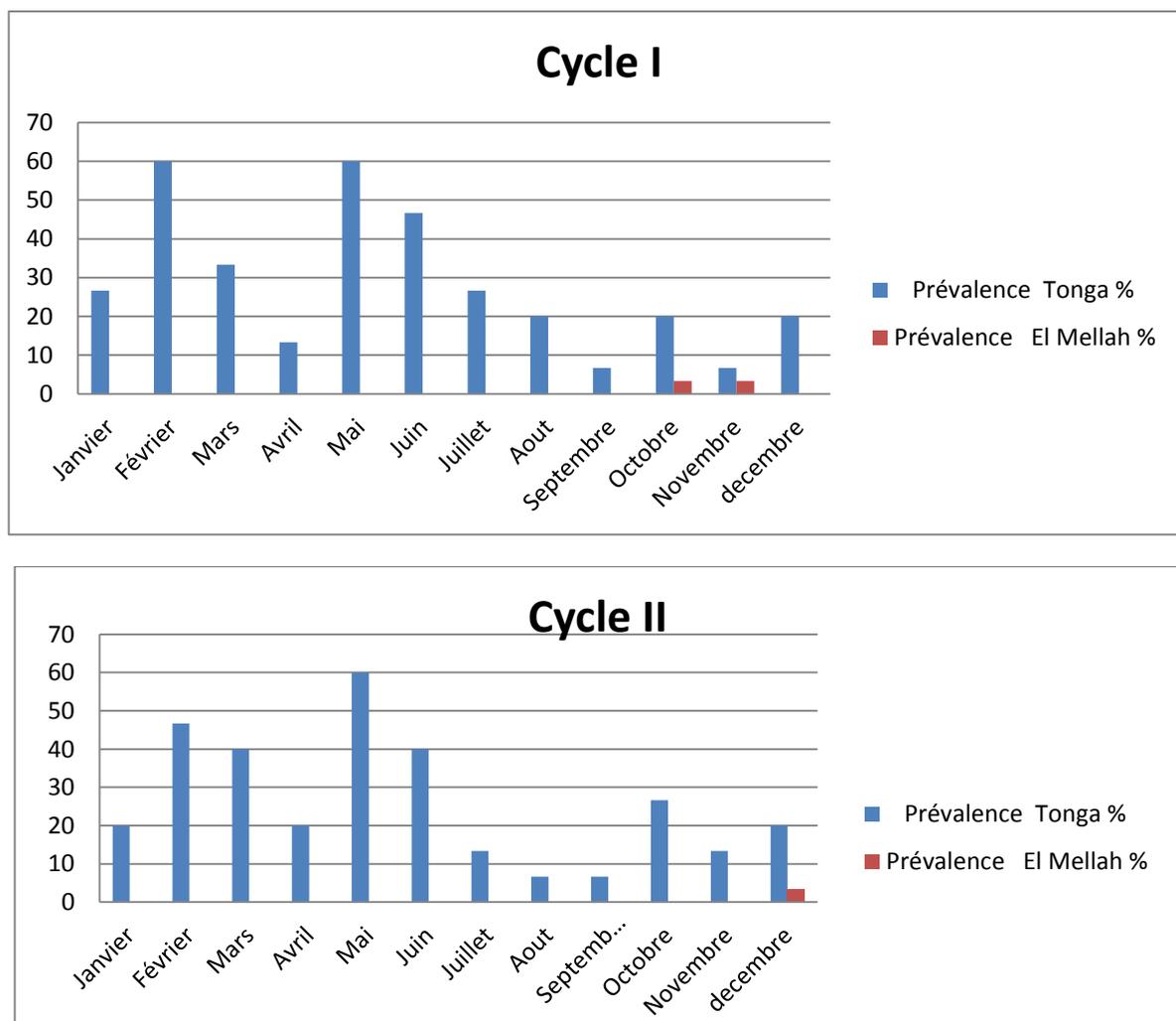


Figure 66 : Distribution mensuelle des prévalences de *Bothriocephalus claviceps* chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.

■ Intensité

En eau douce, les valeurs mensuelles de l'intensité moyenne d'infestation par l'espèce *Bothriocephalus claviceps* sont comprises entre 1 et 5,5 cestode/anguille infestée. Durant le cycle I, l'évaluation de l'intensité d'infestation saisonnière par ce cestode montre l'existence de fortes valeurs au printemps ($I = 4,76$) et en automne ($I = 3,22$) et des valeurs relativement basses en été et en hiver (2,66 et 2,30 respectivement). Durant le cycle II, la distribution des valeurs saisonnières de l'intensité d'infestation par *B. claviceps* se fait selon l'ordre décroissant suivant printemps > été > automne > hiver (valeurs comprises entre 4,97 et 2,36). Durant toute la période d'étude, c'est effectivement en période hivernale que les valeurs les plus basses sont enregistrées.

Dans la lagune El mellah, les valeurs de l'infestation moyenne des anguilles par l'espèce *Bothriocephalus claviceps* ne dépassent pas un cestode/anguille infestée (fig.67).

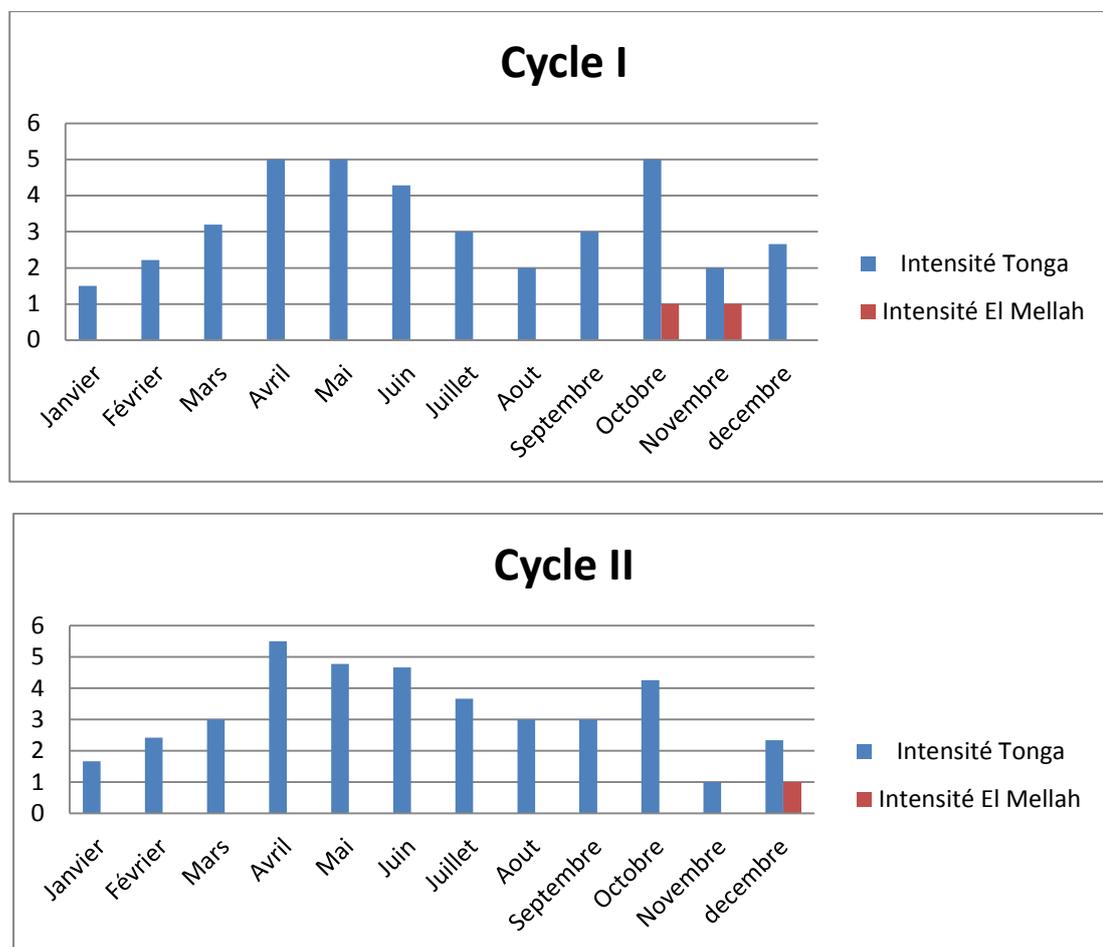


Figure 67 : Distribution mensuelle des intensités moyennes d'infestation par *B. claviceps* chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.

■ Abondance

Les valeurs mensuelles, de l'abondance de *Bothriocephalus claviceps*, relevées chez les anguilles du lac Tonga varient de 0,13 à 3 cestode/anguille examinée (fig. 68). La distribution des valeurs de l'abondance saisonnières de *Bothriocephalus claviceps* se fait selon l'ordre décroissant suivant printemps > hiver > automne > été (les valeurs étant comprises entre 1,88 et 0,46 durant le cycle I et entre 1,81 et 0,37 au cours du cycle II).

En milieu lagunaire, l'espèce *Bothriocephalus claviceps* est très faiblement représentée ; la valeur de l'abondance de ce parasite ne dépasse pas 0,03 (fig.68).

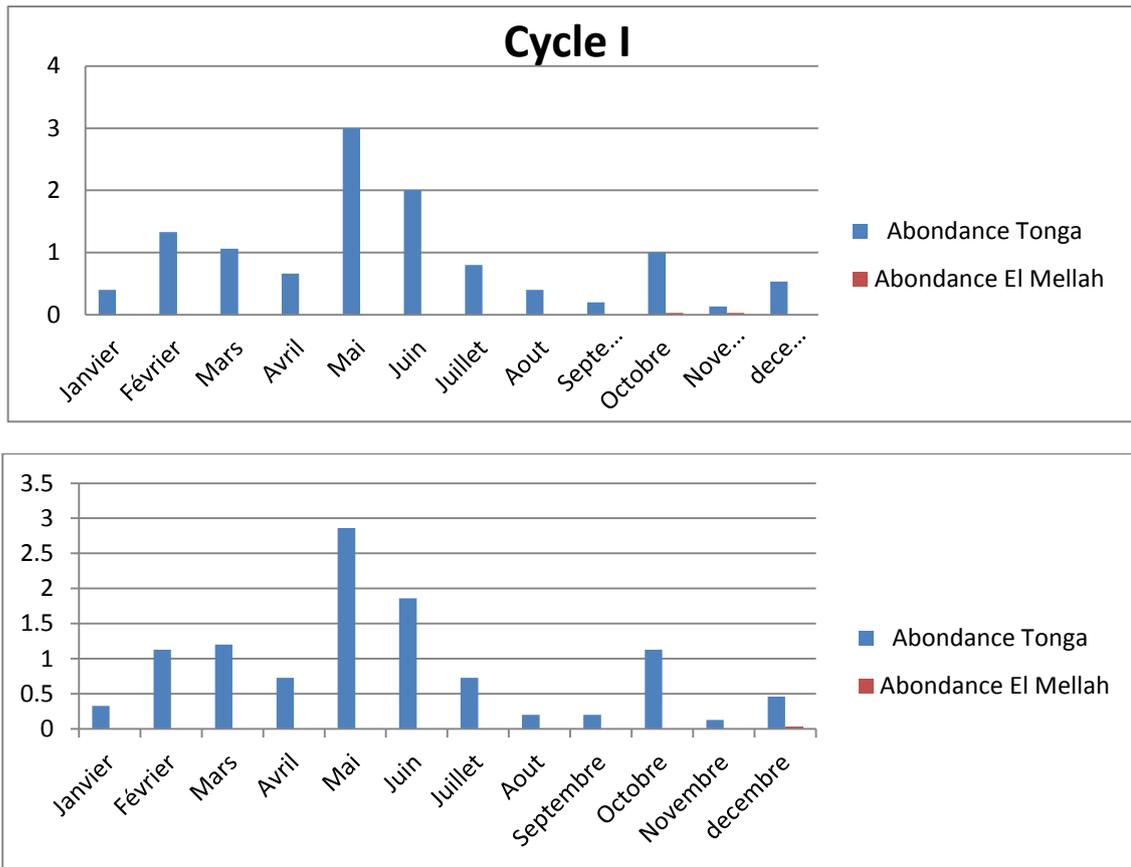


Figure 68 : Distribution mensuelle des abondances de *Bothriocephalus claviceps* chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau.

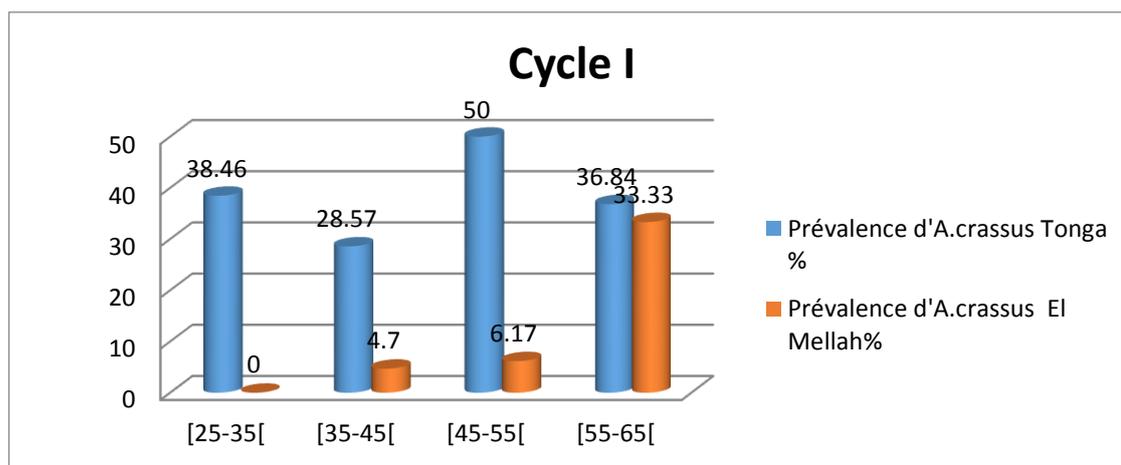
3.4.3. Distribution des indices parasitologiques en fonction de la taille de l'anguille :

3.4.3.1. *Anguillicola crassus* :

✚ Prévalence

▪ Dans le lac Tonga, durant le cycle I les valeurs des prévalences du nématode *A. crassus* sont élevées (50% % des effectifs sont infestés) chez les classes de taille [45-55[et basses (moins de 29% des effectifs) chez les classes de taille [35-45[; elles sont intermédiaires chez les classes de taille [25-35[et [55-65[qui présentent des taux d'infestations respectifs de 38,46% et 36,84%. Au cours du cycle II, les taux d'infestations sont élevés (plus de 62% des effectifs sont infestés) chez les petites anguilles ([25-35[) et bas (35% des effectifs) chez les plus grandes ([55-65[). Chez les classes de taille [35-45[et [45-55[les taux d'infestations enregistrés sont proches de 42%.

▪ Dans la lagune, durant le cycle I, les prévalences du nématode *A. crassus* augmente avec l'augmentation de la taille des anguilles ; les valeurs enregistrées passent de 4,7% à 6,17% et 33,33% chez respectivement les classes de taille [35-45[, [45-55[et [55-65[. Au cours du cycle II, ce sont toujours les anguilles de grande taille ([55-65[) qui sont les plus infestées (plus de 16% des effectifs); Chez les classes de taille [35-45[et [45-55[ce ver parasite de la vessie enregistre des prévalences de 8,88% et 4,16%. Les anguilles de petite taille [25-35[ne sont pas infestées par *A. crassus* (fig. 69).



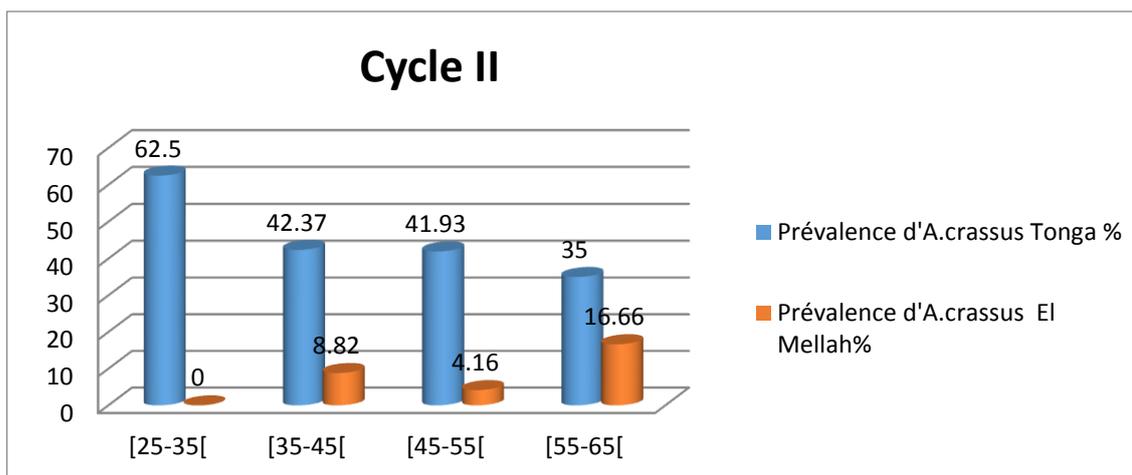


Figure 69 : Répartition du taux d'infestation par *Anguillicola crassus* en fonction de la taille des anguilles.

✚ Intensité d'infestation et abondance d'*A. crassus*

▪ Dans le lac Tonga,

Les valeurs de l'intensité d'infestation varient d'une année à l'autre et d'une classe à l'autre ; nous notons, durant le cycle I, la présence de 5 à 3,88 vers/anguille infestée chez les individus de la classe de taille [35-45] et entre 4,58 et 8,57 vers/anguille infestée chez ceux de la classe de taille [55-65]. Les anguilles infestées de la classe de taille [25-35] hébergent 3 à 3,2 vers et celles de la classe de taille [45-55] abritent 3,82 à 2,56 vers (respectivement cycle I et cycle II)

En ce qui concerne l'abondance, les valeurs enregistrées durant le cycle I semblent augmenter avec l'augmentation de la taille des anguilles (fig.70). Au cours du cycle II, ce sont les individus de petite et grande taille qui hébergent le plus de vers parasites (respectivement 2 et 3 par anguille examinée) ; Les individus des classes de taille [35-45] et [45-55] abritent respectivement 1,64 et 1,07 vers/anguille examinée.

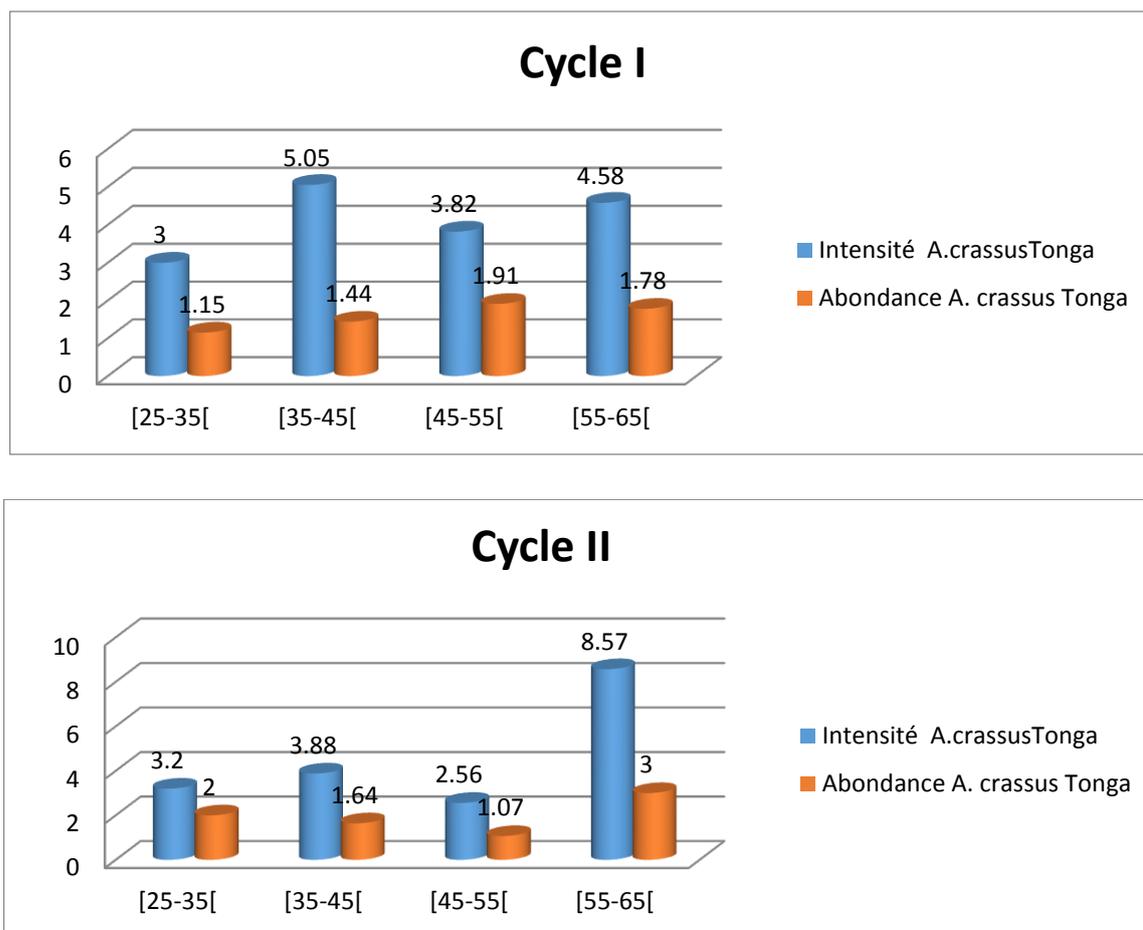


Figure 70 : Répartition des charges de l'infestation par *Anguillicola crassus* en fonction de la taille des anguilles peuplant le lac Tonga.

▪ **Dans la lagune El Mellah**

En milieu lagunaire, les anguilles de petite taille n'hébergent pas de vers nématode, en revanche celles de grande taille en hébergent le plus grand nombre. Au cours du cycle I, les valeurs de l'intensité d'infestation augmentent avec la taille des anguilles ; ces dernières hébergent de 1,25 à 2 et 4 chez respectivement les classes de taille [35-45[, [45-55[et [55-65[. Les valeurs de l'intensité d'infestation des anguilles par *A. crassus* notées durant le cycle II ne dépassent pas 2 vers/poisson infesté ; Ce sont les individus des classes de taille [35-45[et [45-55[qui abritent 1,33 et 1,75 vers/poisson infesté respectivement. Les anguilles de grande taille n'abritent qu'un ver par poisson infesté.

L'abondance de *A. crassus* montre les valeurs les plus élevées (1,33 et 0,16 ver/anguille examinée respectivement cycle I et II) chez les individus de grande taille ([55-65]) ; chez ceux des autres classes de taille les valeurs de l'abondance ne dépassent pas 0,12 vers/anguille examinée (fig.71).

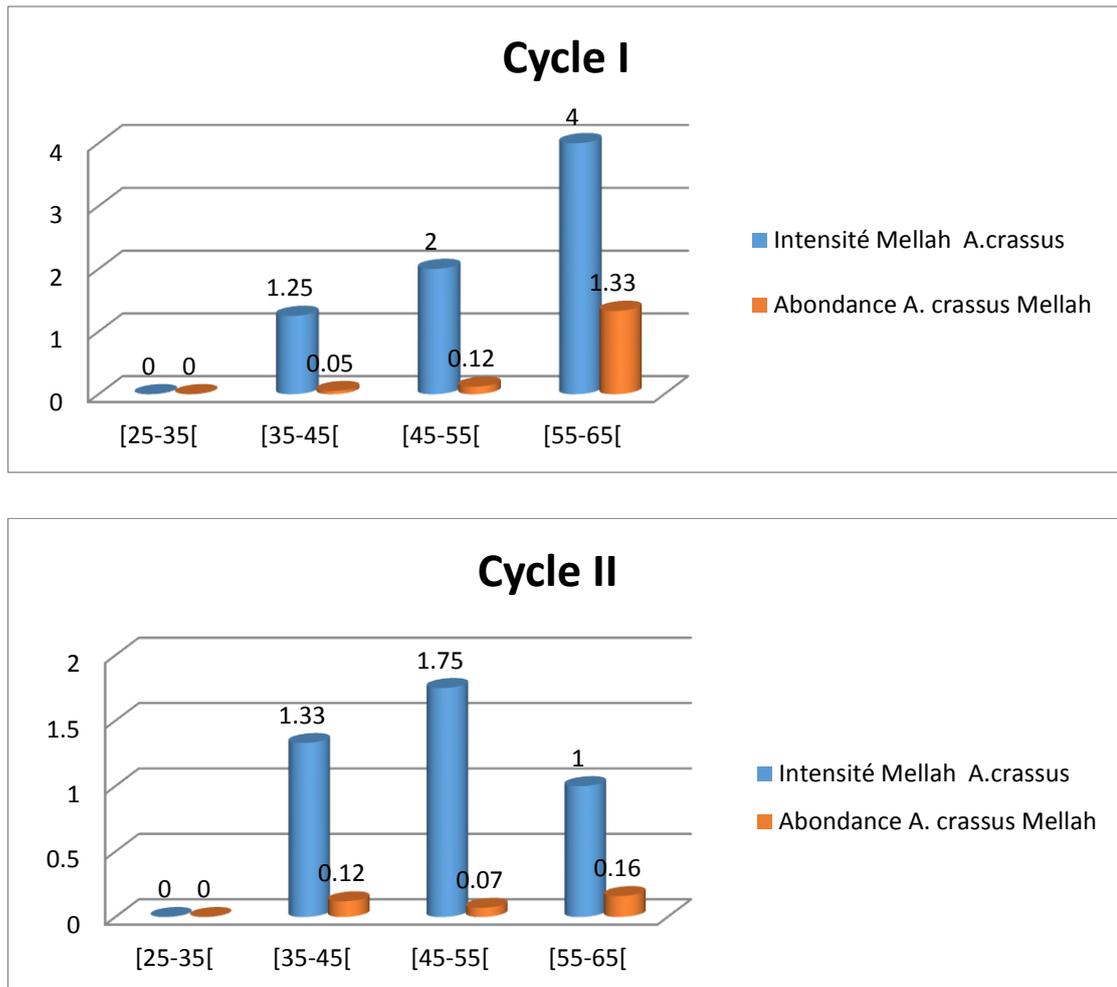


Figure 71 : Répartition des charges de l'infestation par *Anguillicola crassus* en fonction de la taille des anguilles peuplant la lagune El Mellah.

3.4.3.2. *Bothriocephalus Claviceps*:

✚ Prévalence

En eau douce, les prévalences de *B. claviceps* les plus élevées sont enregistrées chez les anguilles de petite taille ou plus de 40 et 62% des effectifs sont infestés respectivement durant le cycle I et II. Chez les autres classes de taille, les effectifs infestés par le cestode fluctuent entre 25 et 28% durant le cycle I et varient de 20 à 27% au cours du cycle II.

Dans la lagune El Mellah, *B. claviceps* infeste durant le cycle I, moins de 2.5% et durant le cycle II, moins de 9% des effectifs d'anguilles des classes de taille [45-55[et [55-65[respectivement (fig.72).

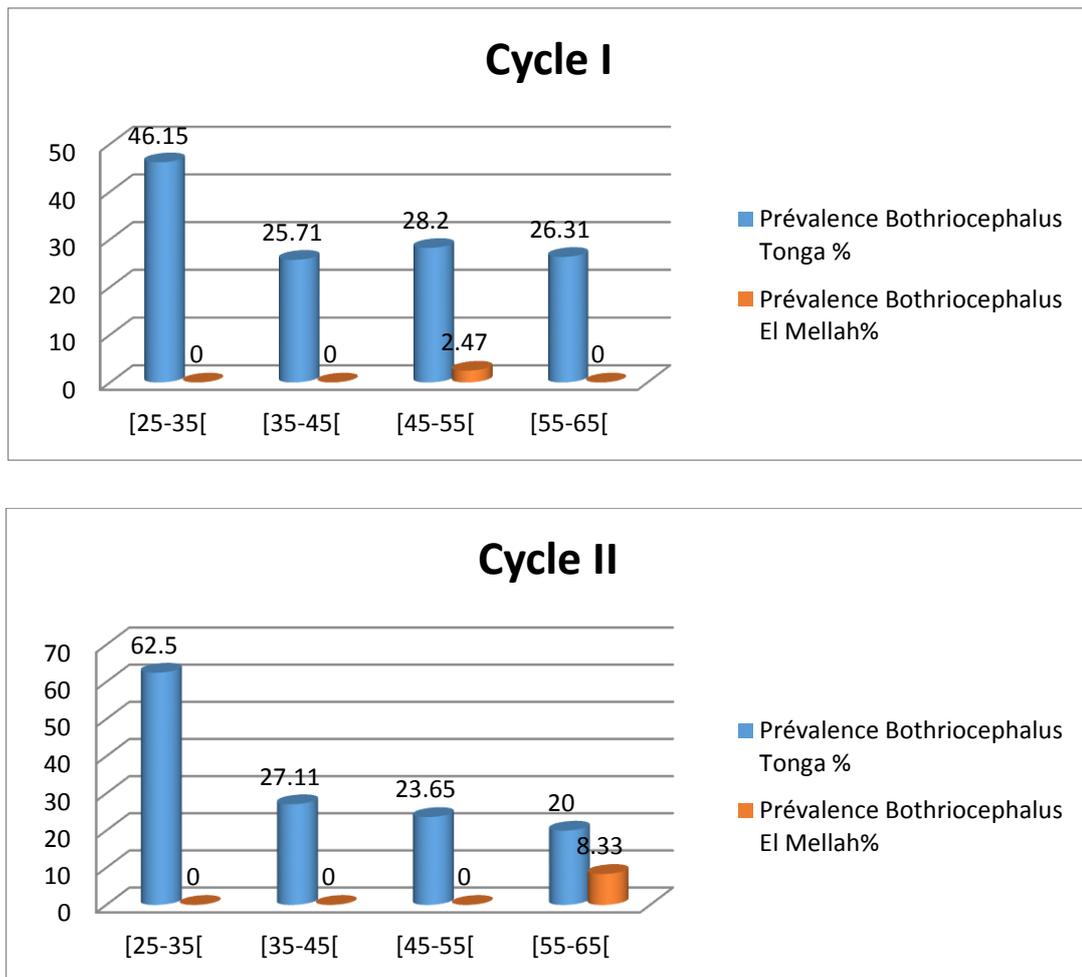


Figure 72 : Répartition du taux d'infestation par *Bothriocephalus Claviceps* en fonction de la taille des anguilles

✚ Intensité d'infestation et abondance

▪ Lac Tonga :

En eau douce, ce sont les anguilles de grande taille (plus de 55 cm) qui hébergent le plus grand nombre de cestode parasite (I = 5,4 durant le cycle I et I = 7,5 durant le cycle II). Les valeurs de l'intensité les plus basses (I = 2,5 et I = 2,4 respectivement cycle I et II) sont relevées chez les anguilles de petite taille (moins de 35cm). Chez les anguilles des classes de taille [35-45[et [45-55[les valeurs de l'intensité sont proches de 3 durant le cycle I et fluctuent entre 2,86 et 3,75 au cours du cycle II.

Le cestode *B. claviceps* montre les valeurs de l'abondance les plus élevées (comprises entre 1,1 et 1,5 parasite/anguille examinée) chez les anguilles de petite ([25-35]) et de grande

taille ([55-65[). Les valeurs intermédiaires (0,67 et 1,01) sont notées chez les anguilles des classes de taille [35-45[et [45-55[(fig.73).

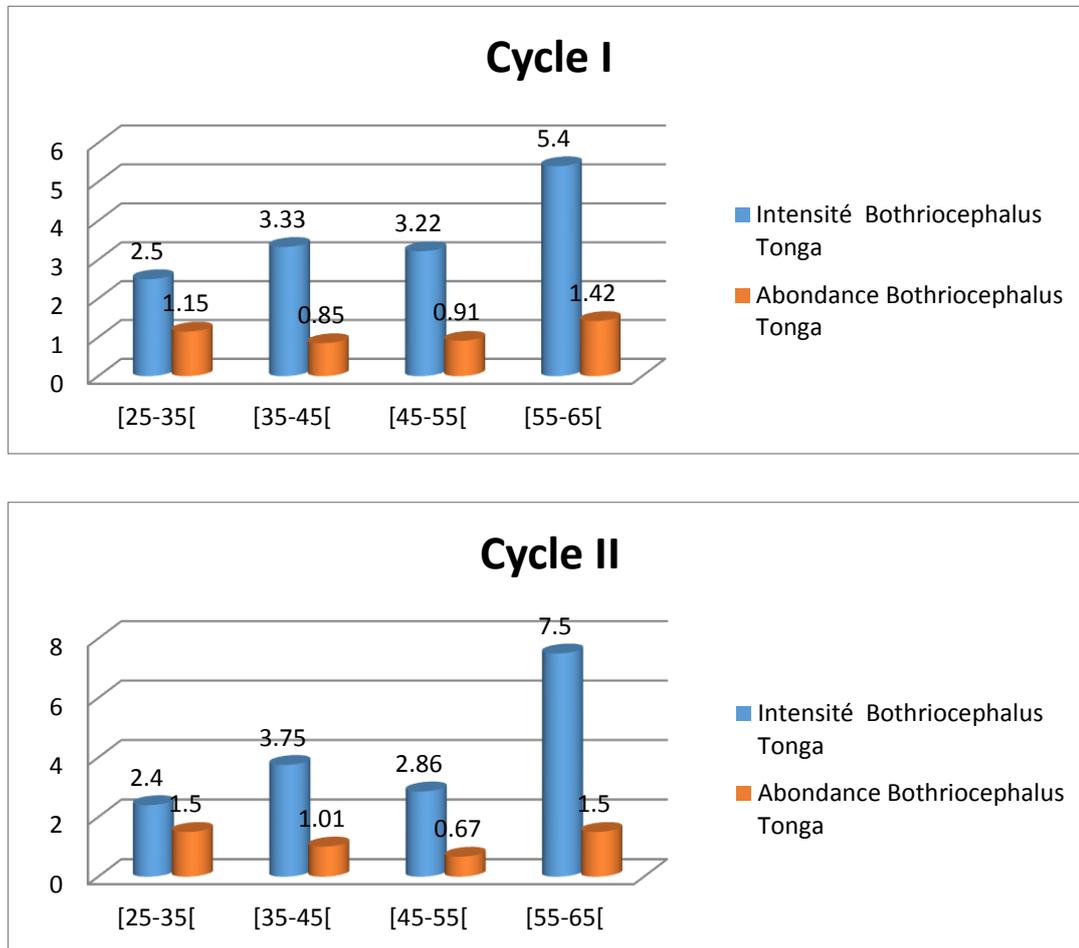


Figure 73 : Répartition des charges d'infestation de *B. Claviceps* en fonction de la taille des anguilles peuplant le lac Tonga.

▪ **Lagune El Mellah**

En milieu lagunaire, durant le cycle I, ce sont les anguilles de la classe de taille [45-55[qui sont infestées par un seul spécimen de l'espèce *B. claviceps* ; quant à l'abondance, elle n'excède pas 0.025 vers par anguille examinée (fig. 59). Au cours du cycle II, ce sont les anguilles de la classes de taille [55-65[qui sont infestées ; les charges en cestode sont de l'ordre de 1 parasite/anguille infestée et 0,08 parasite/anguille examinée (fig.74).

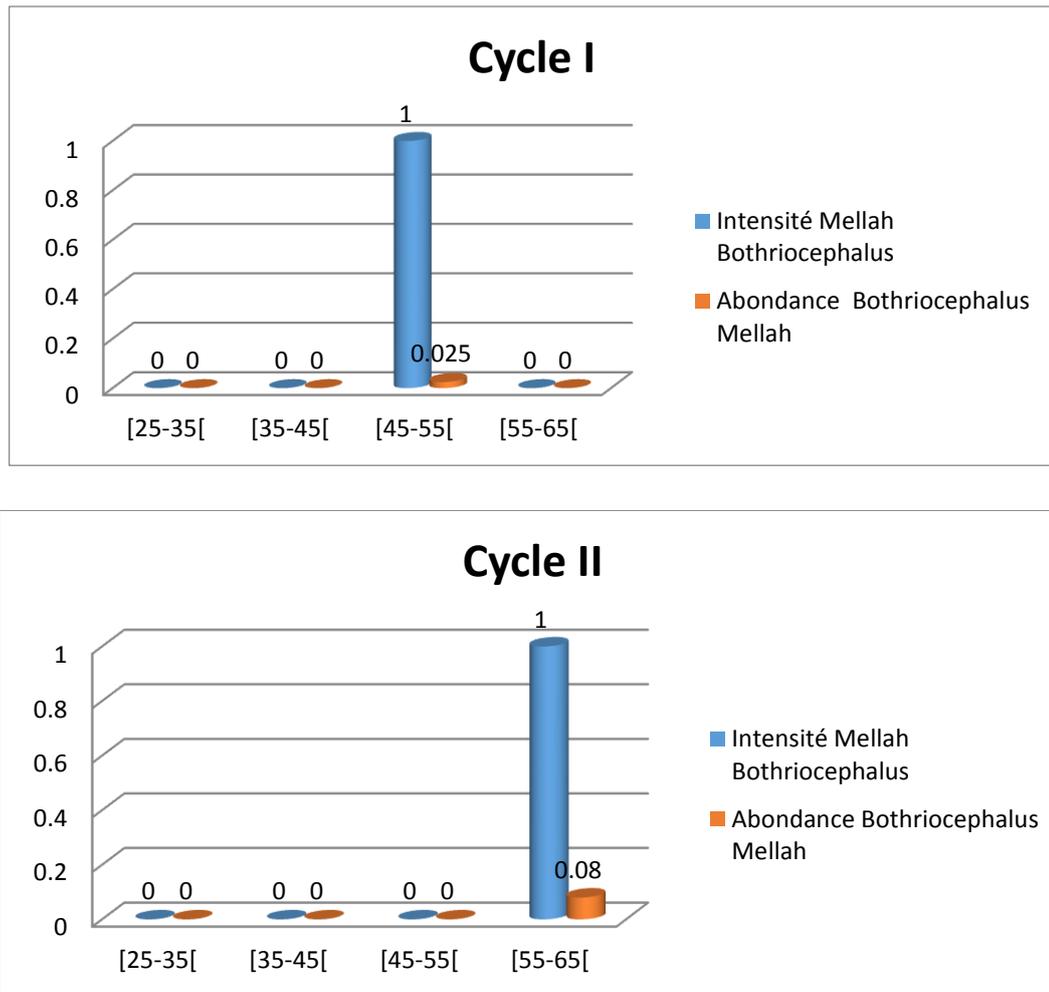


Figure 74 : Répartition des charges d'infestation de *B. Claviceps* en fonction de la taille des anguilles peuplant la lagune El Mellah.

3.5. Etat de la vessie natatoire

Les vessies examinées dans le cadre de cette étude montrent divers états ; elles peuvent avoir des parois translucides sans aucune lésion ; elles peuvent présenter des dommages dits modérés du fait que les parois deviennent opaques avec ou sans hémorragie. La vessie gazeuse peut faire l'objet de dommages sévères qui peuvent se manifester par l'apparition d'une opacité des parois à laquelle serait associée une hémorragie ou bien les parois deviennent opaques et fibreuses ou enfin la combinaison des trois lésions simultanément (opaque, fibreuse et hémorragique).

Dans le lac Tonga, les proportions d'anguilles présentant des vessies saines sont de l'ordre de 15% durant le cycle I et baissent jusqu'à 10% au cours du cycle II. A cette baisse de proportions de vessies intactes notées durant le cycle II est associée une hausse des proportions de vessies sévèrement endommagées dont les valeurs passent de 43 à 48%. Quant aux vessies présentant un dommage modéré, leurs proportions n'ont pas beaucoup variées durant les deux cycles.

Dans la lagune, durant les deux cycles d'étude, les vessies sévèrement endommagées ne représentent que 8 à 9% ; En comparaison avec les valeurs enregistrées au cours du cycle I, nous notons, durant le cycle II, une baisse des proportions des vessies intactes (de 42 à 29%) et une hausse de celles des vessies présentant un dommage modéré (de 50 à 62%).

Dans le Tonga plus de 40% des vessies présentent des lésions sévères contre seulement 7% dans la lagune (soit 6 fois). En eau saumâtre, les proportions des vessies saines (Translucides) font 3 fois celles notées dans le lac Tonga. En ce qui concerne les vessies présentant des dommages modérés les taux relevés dans la lagune sont sensiblement plus élevées que ceux enregistrés dans le lac Tonga.

Tableau 23 : états des vessies natatoires des anguilles capturées dans les deux sites d'étude

Etat	Type de lésion	Tonga		El Mellah	
		Cycle I	Cycle II	Cycle I	Cycle II
Intacte (0)	Translucide	15.66%	9.99%	42.50%	29.50%
Dommages modérés (1)	-opaque	42.21%	42.10%	49.80%	61.80%
	-Hémorragique				
Dommages sévères (2)	-Opaque +hémorragique	42,13%	47,91%	7,70%	8,70%
	-Opaque+fibrosités				
	Opaque+hémorragique +fibrosités				



Vessie natatoire translucide(a)

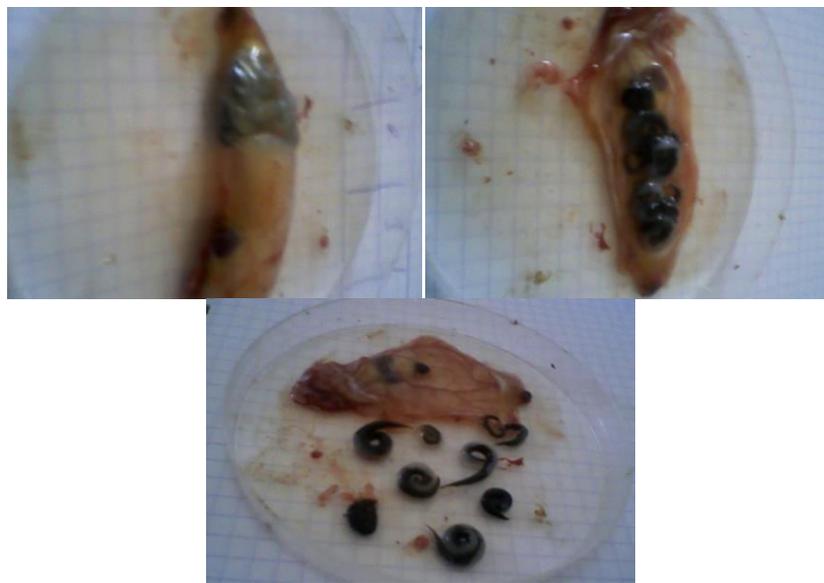


(b) Vessie natatoire opaque

(c) vessie natatoire fibreuse



(d) Vessie natatoire hémorragique



(e) Vessie natatoire abritant le nématode *Anguillicola crassus*

Figure 75 : états de la vessie natatoire (Ladjama, 2009).

3.5.1. Impact d'*Anguillicola crassus* sur l'anguille européenne :

Un total de **608** vers nématodes de l'espèce *Anguillicola crassus* ont été récoltés à partir des vessies natatoires de 360 anguilles de longueurs comprises entre 250 et 650 mm, provenant du lac Tonga et de la lagune El Mellah.

❖ **Etat des vessies natatoires des anguilles capturées dans les deux plans d'eau**

-Lac Tonga : au cours du cycle I, parmi les 180 vessies examinées (fig.76) nous avons constaté la présence de 152 organes lésés contre seulement 28 vessies saines ou ne présentant pas de lésions macroscopiques apparentes (soit 84,34% contre 15,66%). Au cours du cycle II, 90% des 180 anguilles examinées présentent des vessies lésées et seulement 10% montrent des vessies saines (Fig.77). D'une année à l'autre le nombre de vessies lésées montre une légère augmentation.

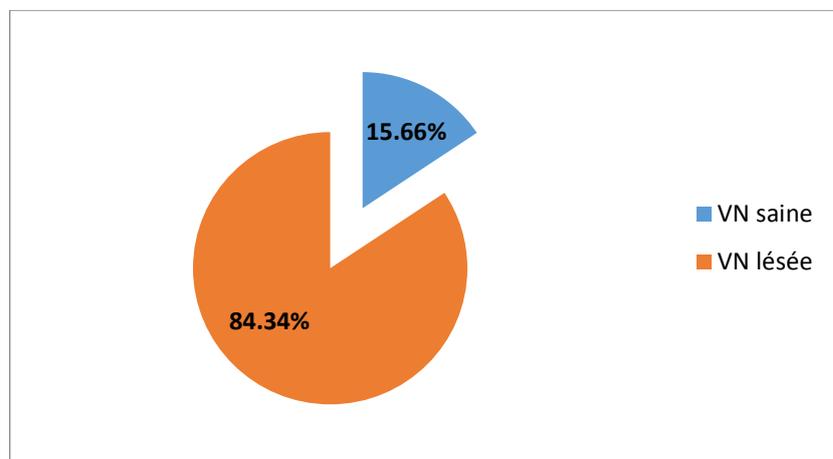


Figure 76: Proportions des vessies lésées (VNL) et des vessies saines (VNS) chez les anguilles du lac Tonga (cycle I).

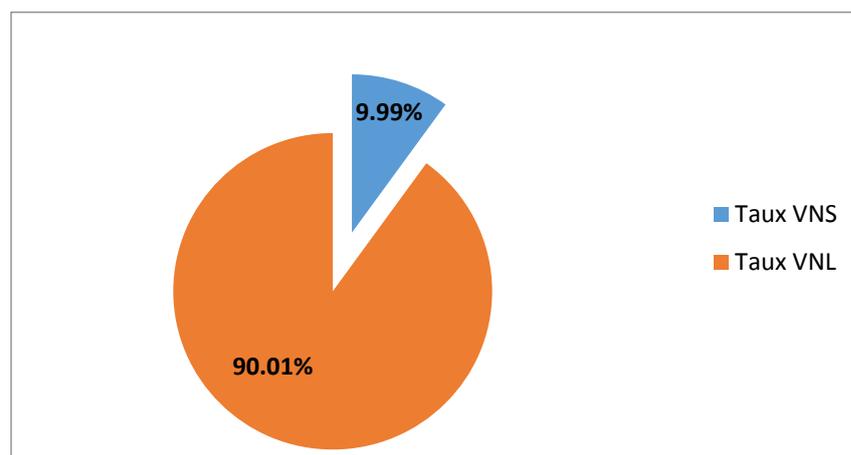


Figure 77 : Proportions des vessies lésées (VNL) et des vessies saines (VNS) chez les anguilles du lac Tonga (cycle II).

▪ **Vessies saines** : parmi les 28 vessies, du cycle I, considérées comme saines, c'est-à-dire dont la paroi est translucide (ou transparente), nous avons rencontré des vers nématodes dans seulement 4 vessies (ce qui représente 14,28%) ; dans les 24 autres vessies (soit 85,71%) le parasite n'est pas présent (fig.78). Durant le cycle II, le nombre de vessies saines a baissé ; il est passé à 18 organes non lésés parmi lesquels plus de 83% n'abritent pas de vers parasites et moins de 17%, bien que sains, ils hébergent le nématode (fig.79).

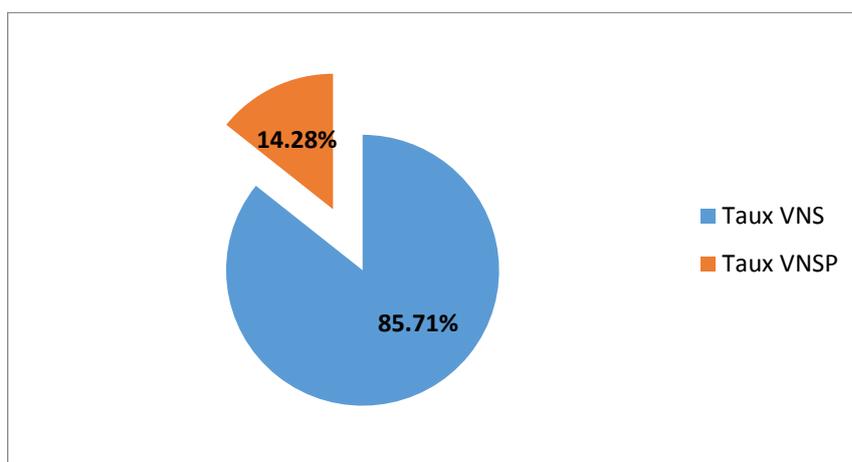


Figure 78 : Proportions des vessies saines parasitées (VNSP) et non parasitées (VNS) chez les anguilles du lac Tonga (cycle I)

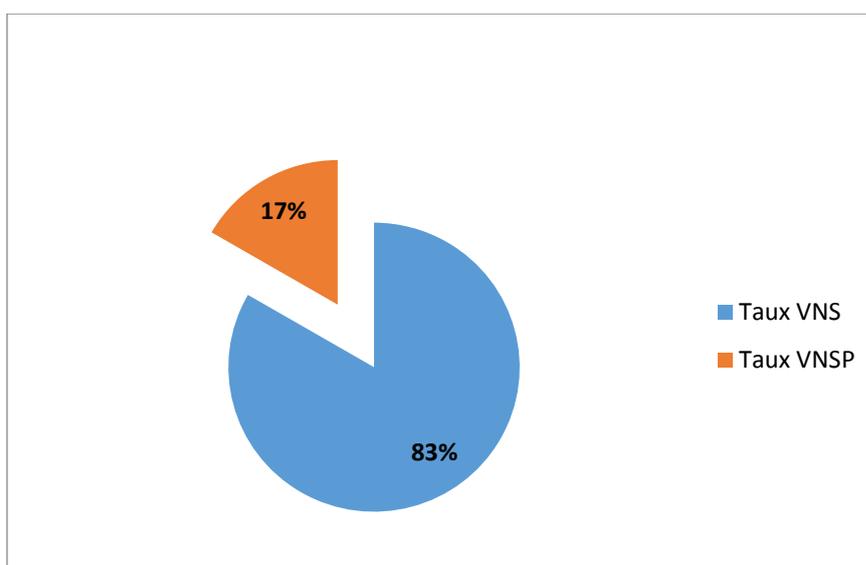


Figure 79 : Proportions des vessies saines parasitées (VNSP) et non parasitées (VNS) chez les anguilles du lac Tonga (cycle II)

Vessies lésées : parmi les 152 vessies présentant des dommages modérés ou sévères, nous notons durant le cycle I, la présence du nématode dans 44% des vessies (soit 67 organes) ; quant aux vessies lésées et n'hébergeant pas de parasites elles représentent plus de 56% (soit 85 organes) (fig.80). Au cours du cycle II, les proportions de vessies lésées présentant des vers nématodes dans leur lumière sont proches de 45% et celles n'hébergeant pas de parasites elles dépassent 54%. Malgré l'augmentation du nombre de vessies lésées notée durant le cycle II (le nombre étant passé de 152 à 162), les proportions de vessies lésées abritant et n'abritant pas de vers parasites ne montrent pas de grosses différences d'une année à l'autre (fig.81).

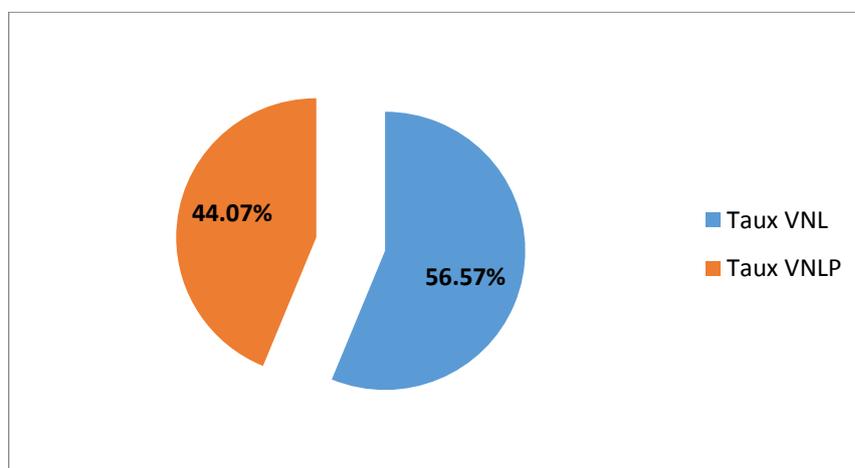


Figure 80 : Proportions des vessies lésées parasitées (VNLP) et non parasitées (VNL) chez les anguilles du lac Tonga (cycle I)

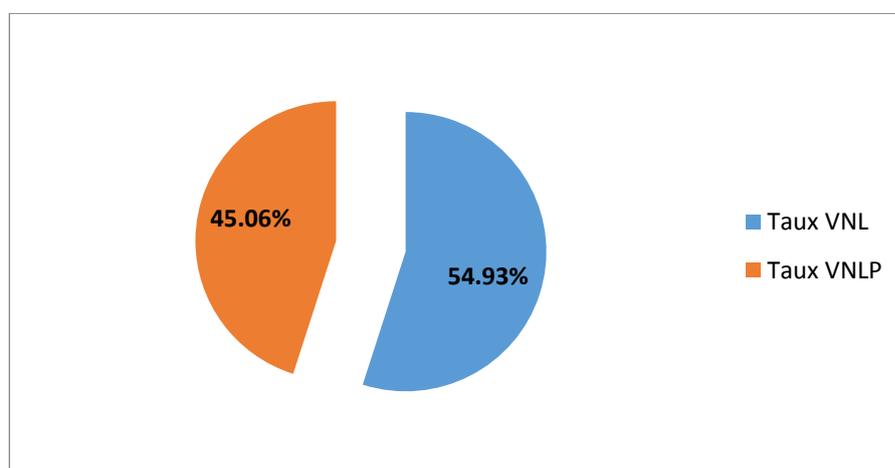


Figure 81 : Proportions des vessies lésées parasitées (VNLP) et non parasitées (VNL) chez les anguilles du lac Tonga (cycle II)

Tableau 24: Etat des vessies natatoires des anguilles capturées mensuellement dans le lac Tonga durant le cycle I.

Mois	Vessie natatoire saine			Vessie natatoire lésée		
	Nombre	Abritant des parasites	N'abritant pas de parasites	Nombre	Abritant des parasites	N'abritant pas de parasites
Janvier	00	00	00	20	8	12
Février	00	00	00	14	7	7
Mars	00	00	00	16	7	9
Avril	00	00	00	12	5	7
Mai	02	00	02	13	7	6
Juin	00	00	00	11	5	6
Juillet	06	00	06	9	3	6
Aout	08	00	08	5	5	0
Septembre	04	02	02	14	2	12
Octobre	02	01	01	13	4	9
Novembre	02	00	02	13	5	8
Décembre	04	01	03	12	9	3
Total	28	04	24	152	67	85

Tableau 25: Etat mensuelle des vessies natatoire des anguilles capturées dans le lac Tonga pour le cycle II.

Mois	Vessie natatoire saine			Vessie natatoire lésée		
	Nombre	Abritant des parasites	N'abritant pas de parasites	Nombre	Abritant des parasites	N'abritant pas de parasites
Janvier	00	00	00	18	10	8
Février	00	00	00	16	5	11
Mars	00	00	00	15	9	06
Avril	00	00	00	16	5	11
Mai	00	00	00	14	7	07
Juin	00	00	00	12	9	03
Juillet	04	01	03	10	1	09
Aout	06	01	05	6	4	02
Septembre	03	01	02	14	6	08
Octobre	02	00	2	13	4	09
Novembre	02	00	02	13	3	10
Décembre	01	00	01	15	10	05
Total	18	03	15	162	73	89

-Lagune El Mellah : Au cours du cycle I, parmi les 180 anguilles capturées dans la lagune, plus de 57% des effectifs montrent des vessies lésées et 42% des individus ont des vessies saines (Fig.82). En revanche, au cours du cycle II, plus de 70% de la fraction de population d'anguille examinées présentent des vessies lésées. D'une année à l'autre nous notons une baisse des proportions de vessies saines (Fig .83).

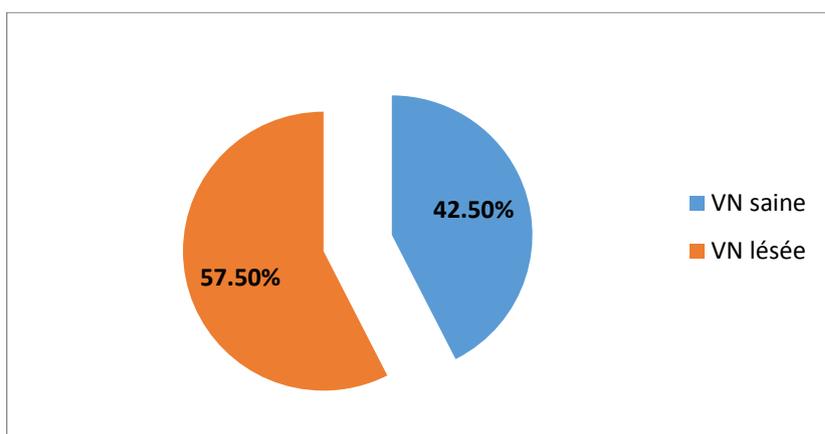


Figure 82: Proportions des vessies lésées (VNL) et des vessies saines (VNS) chez les anguilles de la lagune (cycle I).

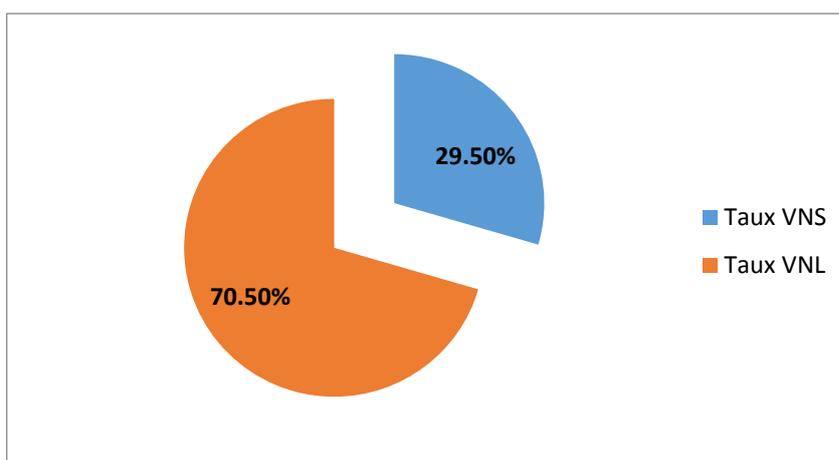


Figure 83: Proportions des vessies lésées (VNL) et des vessies saines (VNS) chez les anguilles de la lagune (cycle II).

▪ **Vessies saines** : parmi les vessies dont la paroi est translucide (considérées comme saines), nous notons la présence du ver nématode dans aucune des vessies examinées durant les deux cycles d'étude réalisés dans la lagune (tab. 26.27).

▪ **Vessies lésées** : Durant les deux cycles d'étude effectués dans la lagune, parmi les vessies présentant des dommages (modérés ou sévères), nous notons la présence du nématode dans moins de 10% des vessies ; en ce concerne les vessies lésées mais n'hébergeant pas de parasites elles représentent plus de 90% (fig.84). En milieu lagunaire, nous notons, d'une

année à l'autre, que l'anguillicolose ne montre pas de grosses fluctuations ceci aussi bien pour les vessies saines que pour les vessies lésées.

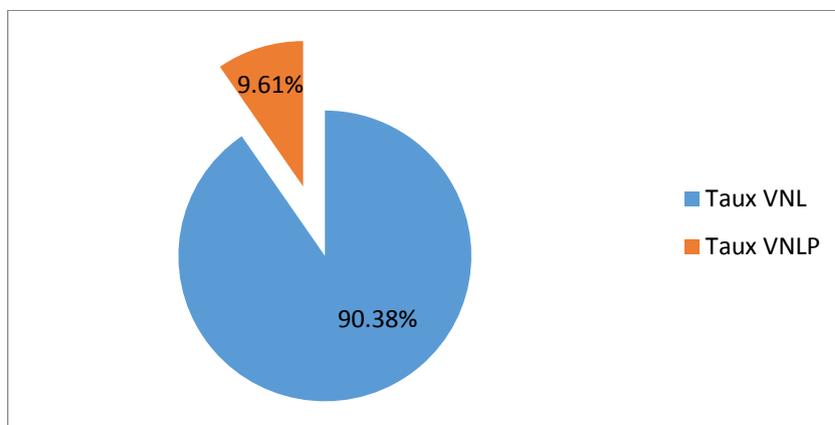


Figure 84 : Proportions des vessies lésées non parasitées (VNL) et parasitées (VNLP) chez les anguilles de la lagune El Mellah (cycle I).

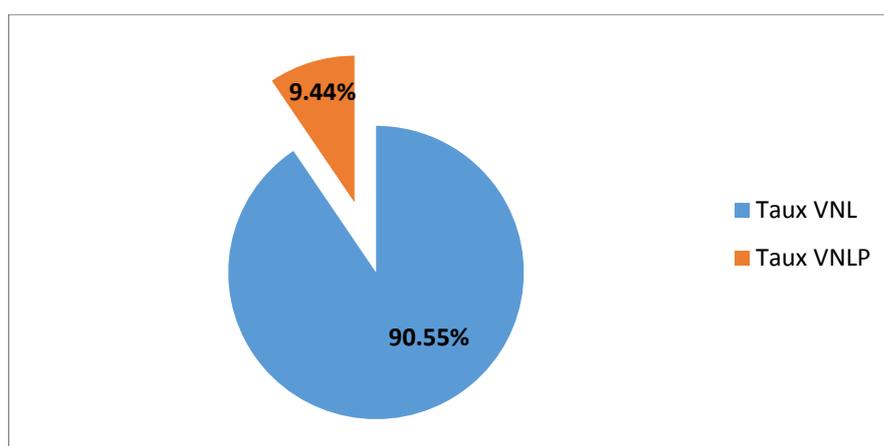


Figure 85 : Proportions des vessies lésées non parasitées (VNL) et parasitées (VNLP) chez les anguilles de la lagune El Mellah (cycle II).

Tableau 26: Etat mensuelle des vessies natatoires des anguilles capturées dans la lagune El mellah pour le cycle I.

Mois	Vessie natatoire saine			Vessie natatoire lésée		
	Nombre	Abritant des parasites	N'abritant pas de parasites	Nombre	Abritant des parasites	N'abritant pas de parasites
Janvier	00	00	00	13	2	11
Février	00	00	00	11	2	09
Mars	00	00	00	13	1	12
Avril	02	00	02	12	0	12
Mai	04	00	04	10	2	8
Juin	12	00	12	7	0	07
Juillet	14	00	14	5	0	05
Aout	18	00	18	3	1	02
Septembre	11	00	11	6	0	06
Octobre	08	00	08	8	1	07
Novembre	07	00	07	7	0	07
Decembre	00	00	00	9	1	08
Total	76	00	76	104	10	94

Tableau 27: Etat mensuelle des vessies natatoires des anguilles capturées dans la lagune El mellah pour le cycle II.

Mois	Vessie natatoire saine			Vessie natatoire lésée		
	Nombre	Abritant des parasites	N'abritant pas de parasites	Nombre	Abritant des parasites	N'abritant pas de parasites
Janvier	02	0	02	14	2	12
Février	01	0	01	10	1	9
Mars	00	0	00	15	2	13
Avril	02	0	02	10	2	8
Mai	04	0	04	12	1	11
Juin	03	0	03	11	2	09
Juillet	07	0	07	8	0	08
Aout	10	0	10	5	1	04
Septembre	11	0	11	10	0	10
Octobre	04	0	04	09	1	8
Novembre	07	0	07	10	0	10
Decembre	02	0	02	13	0	13
Total	53	00	53	127	12	115

3.6. Analyse statistique :

3.6.1. Dans le lac Tonga

Tableau 28: Répartition mensuelle des paramètres physicochimiques des eaux du lac Tonga.

mois	T	O2	pH	MES
Janvier	12,18	3,11	7,12	3,55
Février	11,70	4,57	7,18	6,50
Mars	16,65	1,02	7,32	7,42
Avril	20,13	0,95	7,51	10,08
Mai	21,50	0,88	7,69	11,35
Juin	25,75	0,94	7,36	11,05
Juillet	28,08	0,93	7,14	10,65
Aout	29,70	0,53	7,19	14,20
Septembre	25,18	2,22	7,23	5,60
Octobre	22,78	4,88	7,05	6,60
Novembre	20,93	6,03	6,98	7,30
Décembre	18,93	7,70	6,87	8,65

3.6.1.1. Analyse en composante principale

Anguillicola crassus

Ce sont les deux premiers axes (F1 et F2) qui illustrent 88,18% de la variance totale soit respectivement 60,59 % et 27,60 % de l'inertie.

L'axe F1 est défini sur le pôle positif par les MES, le pH et la température de l'eau avec de fortes contributions relatives (respectivement $r = 0,82$, $\cos^2 = 0,67$; $r = 0,72$, $\cos^2 = 0,52$ et $r = 0,68$, $\cos^2 = 0,47$). Aussi, ce sont les saisons estivales et automnales qui se projettent sur le pôle positif, défini par les MES, le pH et la température. Ainsi, une augmentation des MES et de la température ferait baisser la prévalence du parasite *Anguillicola crassus*; ceci est observé en période estivale où les prévalences sont à leurs plus basses valeurs. Cet axe est défini, sur le pôle négatif, par l'oxygène dissous de l'eau ($r = -0,86$, $\cos^2 = 0,75$) ; Sur cet axe se projettent l'abondance et la prévalence d'*Anguillicola crassus*. Ce sont les saisons les plus froides qui se projettent sur ce pôle négatif. De ce fait, de fortes abondances et prévalences d'*Anguillicola crassus* sont observées lors de forte oxygénation de l'eau (hiver et printemps) et quand la température de l'eau est basse.

Par ailleurs, l'axe F2 est défini essentiellement par la variable T° ($r = 0,67$, $\cos^2 = 0,43$) qui se projette sur le pôle positif et la variable pH ($r = -0,63$, $\cos^2 = 0,40$) qui se projette sur le pôle négatif. Sur la partie positive de l'axe se projette l'intensité d'infestation. De ce fait,

l'augmentation de l'intensité d'infestation par *A. crassus* serait favorisée par l'augmentation de la T° de l'eau. Les valeurs les plus élevées étant relevées en période estivale et automnale qui se projettent sur le pôle positif de l'axe F2. Sur la partie négative de l'axe se projette la prévalence qui augmenterait avec l'augmentation du pH observée en période printanière et hivernale.

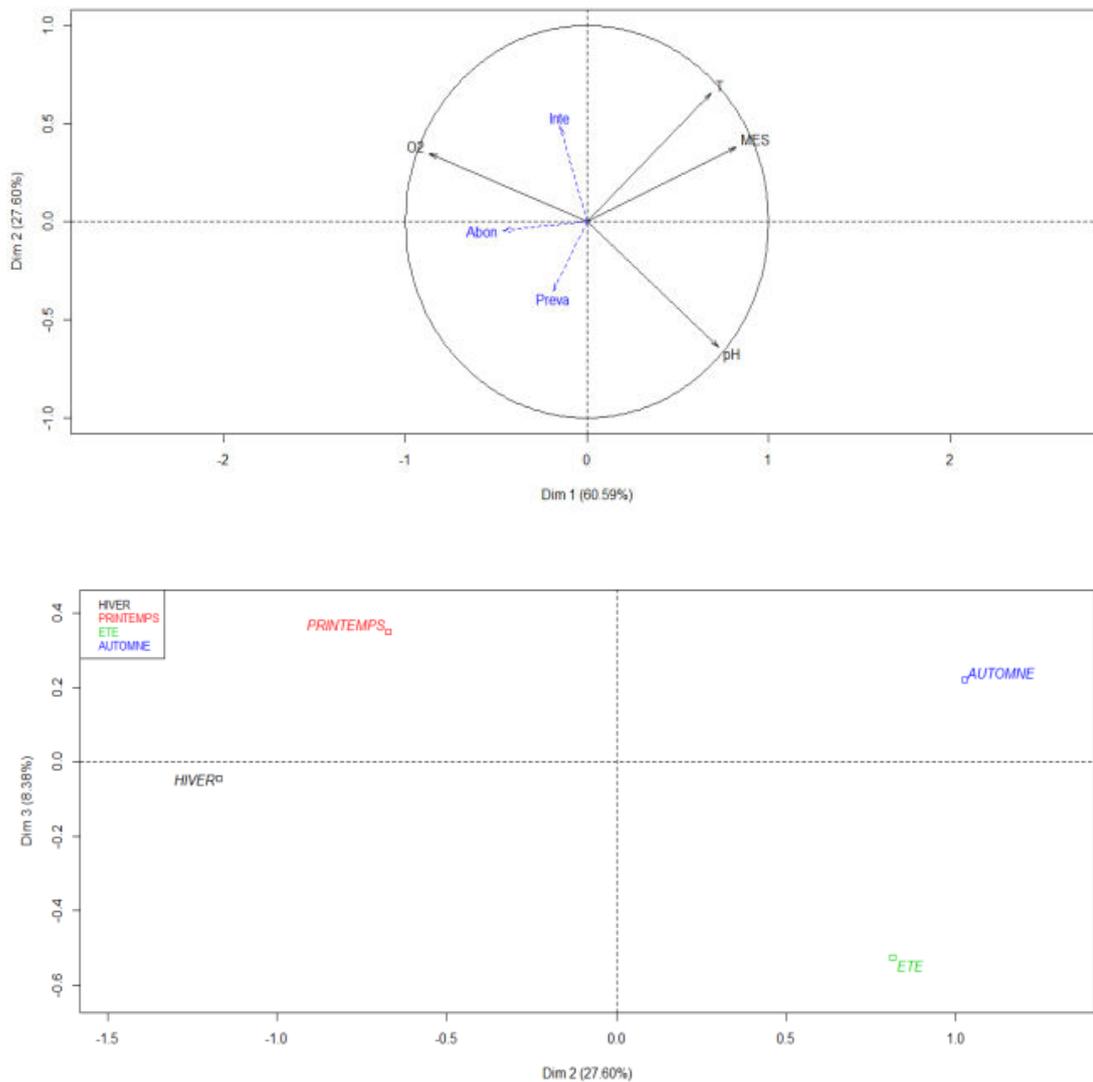


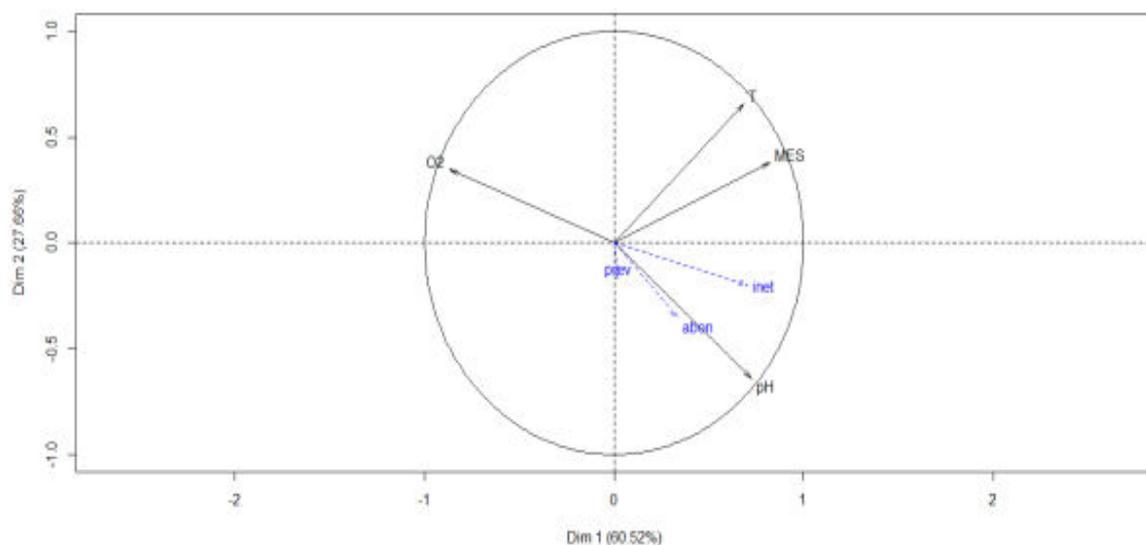
Figure 86: Analyse en Composante Principale basée sur la variation inter saison des paramètres biotiques (relatifs à *A. crassus*) et abiotiques au niveau du lac Tonga. Plan factoriel (1-2).

✚ *Bothriocephalus claviceps*

Ce sont les deux premiers axes (F1 et F2) qui illustrent 88,18% de la variance totale soit respectivement 60,59 % et 27,60 % de l'inertie.

L'axe F1 est défini sur le pôle positif par les MES, le pH et la température de l'eau avec de fortes contributions relatives (respectivement $r = 0,82$, $\cos^2 = 0,67$; $r = 0,72$, $\cos^2 = 0,52$ et $r = 0,68$, $\cos^2 = 0,47$). Aussi, ce sont les saisons estivales et printanière qui se projettent sur le pôle positif, défini par les MES, le pH et la température. Ainsi, une augmentation du pH ferait augmenter l'abondance et l'intensité d'infestation par *B. claviceps*; ceci est observé en période printanière ou les valeurs de l'intensité d'infestation par *B. claviceps* sont les plus élevées. Cet axe est défini, sur le pôle négatif, par l'oxygène dissous de l'eau ($r = -0,86$, $\cos^2 = 0,75$).

Par ailleurs, l'axe F2 est défini essentiellement par la variable T° ($r = 0,67$, $\cos^2 = 0,43$) qui se projette sur le pôle positif et la variable pH ($r = -0,63$, $\cos^2 = 0,40$) qui se projette sur le pôle négatif. Sur la partie négative de l'axe se projette l'abondance de *B. claviceps*. De ce fait, l'augmentation de l'abondance de ce cestode serait favorisée par l'augmentation du pH de l'eau relevée en période printanière ; la T° de l'eau, en augmentant ferait baisser les valeurs de l'abondance notée en été.



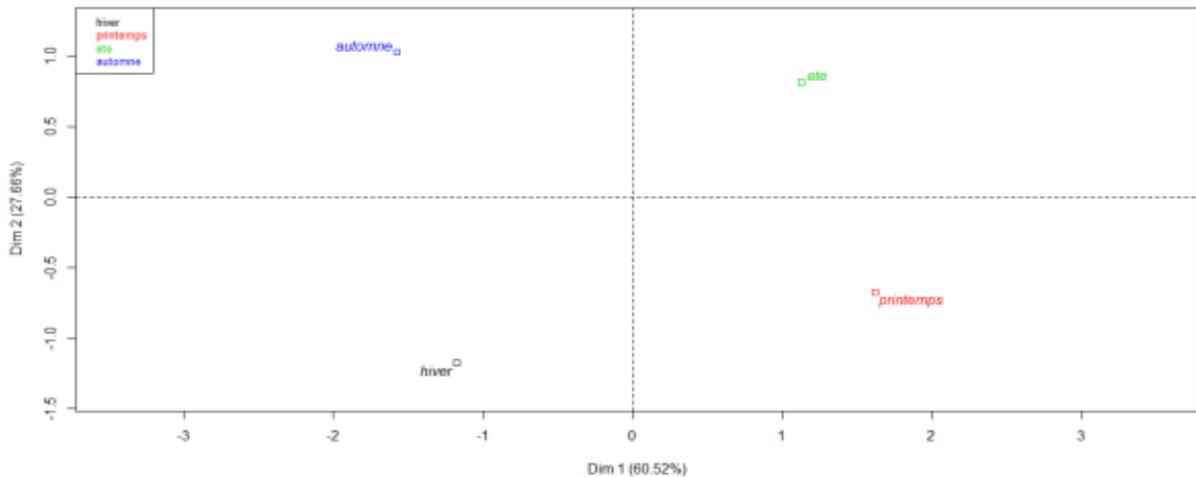


Figure 87 : Analyse en Composante Principale basée sur la variation inter saison des paramètres biotiques (relatifs à *B. claviceps*) et abiotiques au niveau du lac Tonga. Plan factoriel (1-2).

3.6.1.2. Correlogramme des parasites *A. crassus* et *B. claviceps*

- L'abondance de *A. crassus* est corrélée positivement avec l'oxygène dissous de l'eau et négativement avec la T° (faible corrélation négative avec le pH et les MES). L'abondance de *B. claviceps* est corrélée positivement avec les MES et le pH mais est négativement corrélée avec la T° de l'eau.
- L'intensité d'infestation par *A. crassus* est corrélée négativement avec le pH ; cet indice montre une corrélation positive avec l'oxygène. L'Intensité d'infestation par *B. claviceps* montre une forte corrélation positive avec le pH et les MES (et dans une moindre mesure avec la T°) ; en revanche, cet indice est négativement corrélée avec l'O2 de l'eau.
- la prévalence d'*A. crassus* est corrélée négativement avec la T° et l'intensité d'infestation. La prévalence de *B. claviceps* montre une légère corrélation négative avec la T°

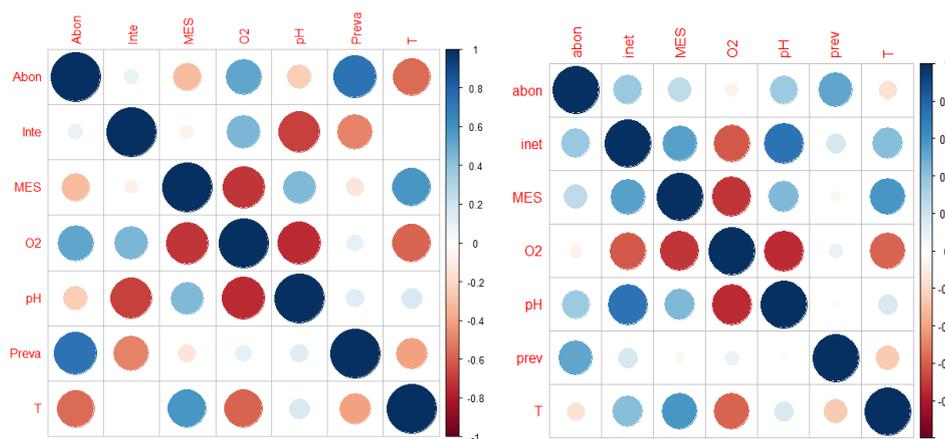


Figure 88: Corrélogramme (corrplot) présentant les corrélations entre les 7 paramètres biotiques et abiotiques (*A. crassus* à gauche et *B. claviceps* à droite) rencontrés dans le lac Tonga. Couleur bleue : corrélation positive ; couleur rouge : corrélation négative ; absence de couleur : corrélation non significative.

3.6.2. Dans la lagune El Mellah

Tableau 29: Répartition mensuelle des paramètres physicochimiques des eaux de la lagune El Mellah.

mois	T	O2	Sal	pH
Janvier	11,07	8,8	24,39	7,3
Février	15,26	11,39	23,78	7,85
Mars	20,49	10,26	19,29	7,69
Avril	24,81	11,8	20,34	7,86
Mai	26,62	7,44	22,67	8,31
Juin	28,54	6,92	25,03	8,35
Juillet	30,33	8,24	27,11	8,45
Aout	25,3	13,59	30,48	8,58
Septembre	23,08	11,77	28,97	8,1
Octobre	16,53	12,27	29,17	8,3
Novembre	13,46	8,43	30,78	8,36
Décembre	11,96	8,27	26,38	8,18

3.6.2.1. Analyse en composante principale

✚ *Anguillicola crassus*

Les deux axes (F1 et F2) illustrent 73,95% de la variance totale soit respectivement 43,44% et 30,51% de l'inertie.

L'axe F1 est défini sur le pôle positif essentiellement par le pH ($r=0,95$, $\cos^2=0,91$) et la salinité ($r=0,74$; $\cos^2=0,55$); sur cet axe se projettent les saisons estivale et automnale. Cet

axe est défini, sur le pôle négatif, par la prévalence ($r = -0,55$, $\cos^2=0,31$) et l'abondance ($r = -0,42$, $\cos^2=0,17$) du parasite *A. crassus*. Aussi, ce sont les saisons hivernale et printanière qui se projettent sur le pôle négatif ; Plus la salinité est basse, plus l'infestation par *A. crassus* est élevée.

L'axe F2 est défini par les variables oxygène dissous ($r = 0.61$, $\cos^2=0.38$) qui se projette sur le pôle positif et la température ($r = -0.719$, $\cos^2=0.51$) qui se projette sur le pôle négatif ; Sur cette partie de l'axe se projettent la saison printanière ainsi que la prévalence et l'abondance d'*A. crassus*. De ce fait, l'abondance et la prévalence d'*A. crassus* seraient influencées par la température ; quand celle-ci augmente l'infestation par *A. crassus* baisse.

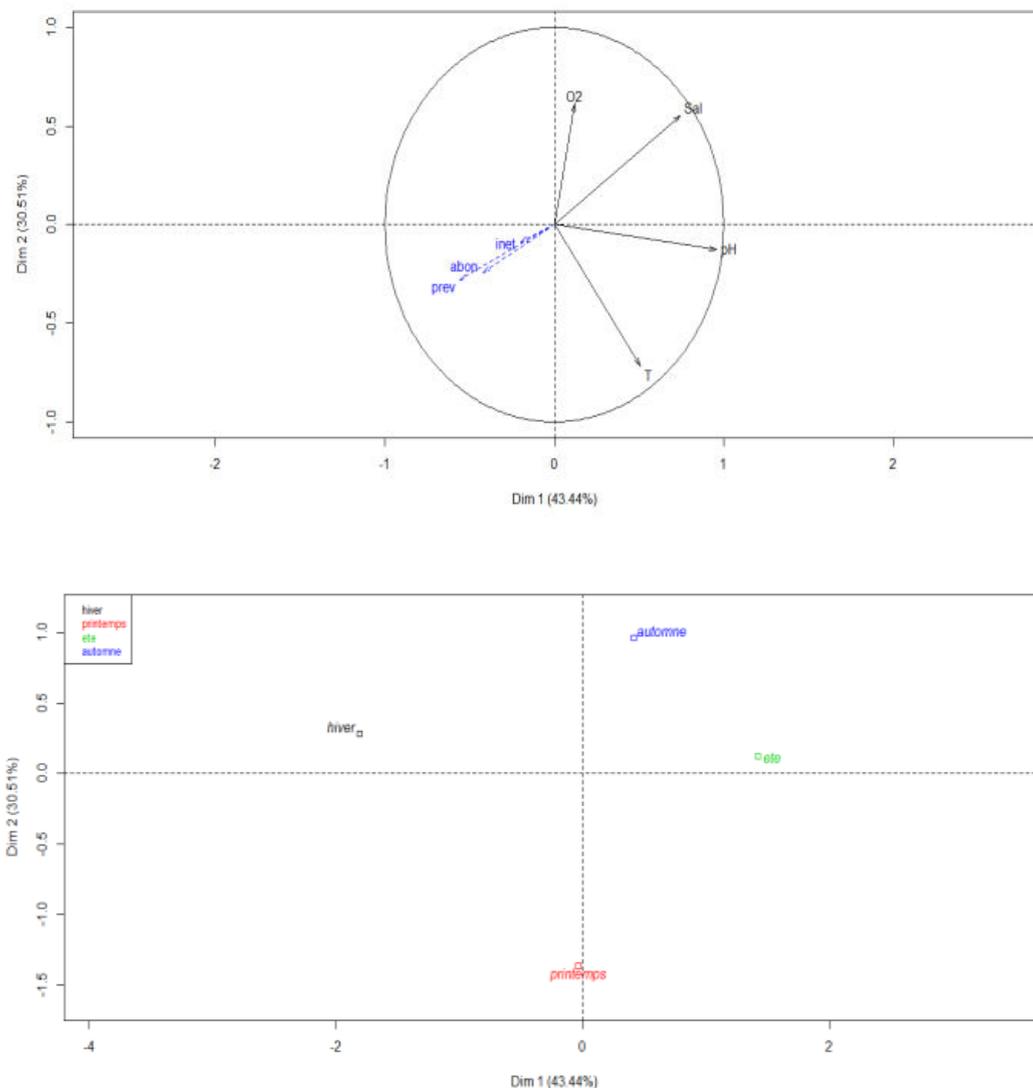
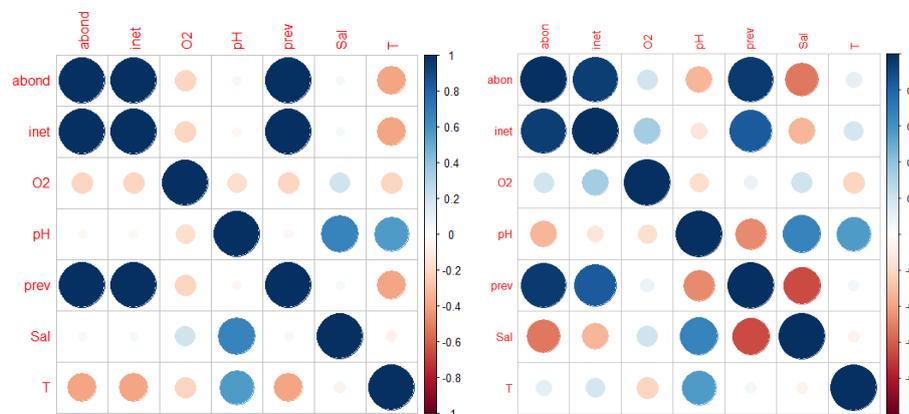


Figure 89: Analyse en Composante Principale basée sur la variation inter saison des paramètres biotiques (relatifs à *A. crassus*) et abiotiques au niveau de la lagune El Mellah. Plan factoriel (1-2).

3.6.2.2. Correlogramme des parasites *A. crassus* et *B. claviceps*

- l'abondance d'*A. crassus* montre une corrélation positive avec la T° et l'oxygène dissous mais est corrélée négativement avec la salinité et le pH ;
- l'intensité de l'infestation par *A. crassus* est corrélée positivement avec l'oxygène dissous et la T° ; elle montre une corrélation négative avec la salinité surtout ;
- La prévalence d'*A. crassus* est corrélée négativement avec la salinité et le pH

En ce qui concerne *B. claviceps*, ce cestode parasite montre une prévalence, une abondance et une intensité d'infestation négativement corrélée avec la T° et dans une moindre mesure avec l'oxygène dissous;



Structure de la sous population

Dans le lac Tonga, la taille des anguilles capturées est comprise durant le cycle I entre 270mm et 680mm et durant le cycle II entre 280 mm et 650mm ; en ce qui concerne les anguilles capturées dans la lagune El Mellah, leur taille varie durant le cycle I de 280 mm à 580mm et durant le cycle II de 258mm à 580mm.

En eau saumâtre, les anguilles dont la taille est comprise entre 400 et 550mm représentent plus des $\frac{3}{4}$ des effectifs capturés durant les deux cycles. En eau douce, les anguilles dont la taille est comprise entre 370 et 570mm, représentent plus du $\frac{4}{5}$ ^{ème} des effectifs capturés durant les deux cycles. Les effectifs d'anguille de plus grande taille (>570mm) représentent entre 6 et 9% selon l'année et le plan d'eau.

La taille moyenne mensuelle des anguilles échantillonnées varie de 380 à 500 mm dans la lagune El Mellah et de 380 à 571mm dans le lac Tonga; les tailles moyennes de plus de 450mm sont le plus souvent notées en période hivernale et printanière en milieu saumâtre et durant presque toute l'année en eau douce.

En milieu lagunaire, les anguilles de poids compris entre 100 et 200g représentent plus de la moitié des effectifs et celles de plus de 200g le $\frac{1}{5}$ ^{ème}; les anguilles de plus de 300g représentent juste 2%. Le poids moyen mensuel des anguilles échantillonnées dans la lagune varie de 63 à 210g ; Les poids moyens les plus faibles sont enregistrés en période estivale et les plus élevés en période hivernale.

Les anguilles capturées dans le lac Tonga montrent des poids variant de 25 à 600g ; les anguilles de poids compris entre 100 et 200g représentent plus de la moitié des effectifs et celles dont le poids varie de 200 à 300g font plus de 18%. Quant aux anguilles de plus de 300 g elles représentent 6 à 10% des effectifs de l'échantillon. Le poids moyen des anguilles capturées dans le lac Tonga fluctue entre 96 et 364g ; Les valeurs les plus basses sont notées en octobre et novembre et les plus élevées en décembre et septembre. Les anguilles de faibles poids sont rencontrées en période hivernale et automnale et celles de poids élevées en période printanière et estivale.

Dans le lac Oubeira, Tahri (2016) rapporte que les tailles et poids des 480 anguilles capturées étaient compris entre 300 et 895 mm et entre 130 et 1330 g respectivement durant la 1^{ère} et la 2^{ème} campagne. Cette auteure a par ailleurs remarqué l'absence d'anguilles de moins de 300 mm et que la classe dominante était représentée par les individus de taille comprise entre 700-800 mm. Dans ce même plan d'eau, Boudjadi (2010) signale des tailles et poids

d'anguilles compris entre 310 mm et 894 mm et entre 42,96g et 1,9kg. En revanche, chez les anguilles de l'estuaire du Mafragh, Tahri (2009) enregistre des tailles variant de 240 mm à 740 mm. Au Maroc, El Hilali (2007) et Wariaghli (2013), notent que la population de l'estuaire du Sebou et du Loukous, est constituée de petits individus de tailles et poids respectifs de 200 mm/12 g (Sebou) et 200-400 mm/50-200 g (Loukous).

Dans le lac Oubeira, Tahri (2016), note que les tailles et les poids moyens les plus élevés (des tailles et poids moyens de 637,9 mm/533,56 g et 726,64 mm/784,26g respectivement au cours de la 1^{ère} et 2^{ème} campagne) sont enregistrés en période hivernale. Toujours dans le lac Oubeira, Boudjadi (2010) signale que les tailles les plus élevées sont enregistrées en période hivernale (de décembre à février). En milieu estuarien, les anguilles de grandes taille sont plutôt rencontrées entre juin et octobre (taille >500 mm ; poids > 200g) (Tahri, 2009).

Vollestad (1992), en comparant les tailles des anguilles argentées échantillonnées dans 38 sites répartis sur l'ensemble de l'aire de distribution de l'espèce, a estimé que la taille moyenne des femelles argentées en Europe était de l'ordre de 632,3 mm (min-max : 450-863). Selon Tzeng et Iizuka, (2003), l'anguille femelle japonaise *Anguilla japonica* mesure à maturité 614 ± 40.5 mm. Les tailles les plus élevées sont observées dans le Saint-Laurent, chez l'espèce américaine *Anguilla rostrata* (853 mm) par Verreault et Dumont, (2003) ou en Tasmanie chez l'anguille australienne *Anguilla australis* (945 mm) par Sloane, (1984). La taille maximale (1330 mm) de l'anguille européenne a été notée chez une femelle échantillonnée dans un lac hollandais (Dekker, 1998).

Indice de condition K

Les valeurs mensuelles de l'indice de condition K des anguilles collectées dans le lac Tonga oscillent entre 1,47 et 1,91 durant le cycle I et entre 0,99 et 1,92 durant le cycle II. Les valeurs mensuelles de l'indice de condition K des anguilles de la lagune oscillent, durant le cycle I, entre 0,86 et 1,89 et durant le cycle II entre 1,1 et 1,71. Le calcul de l'indice de condition saisonnier des anguilles capturées dans les deux plans d'eau montre que les valeurs les plus élevées sont relevées en automne et en hiver ; ce qui suggèrerait que les anguilles montrent leur meilleur état d'embonpoint en automne et en hiver.

Dans le lac Oubeira, Tahri (2016) note, selon les valeurs du coefficient de condition obtenues, que les anguilles capturées dans ce plan d'eau possèdent un potentiel énergétique

important, avec des valeurs assez élevées (1^{ère} campagne : K compris entre 1,69 et 1,89 ; 2^{ème} campagne : K compris entre 1,78 et 2,26). Cette auteure rapporte que le coefficient de condition était corrélé positivement avec la taille et le poids des anguilles capturées. En revanche, Boudjadi (2010) montre l'existence d'une faible relation du coefficient de condition K avec la taille, le poids et même l'âge des anguilles. Ce même auteur signale, dans le Mafrag, que le coefficient de condition est 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.

Les valeurs enregistrées dans les divers plans d'eau du PNEK semblent beaucoup plus élevées que celles signalées par Acou *et al.*, (2009) dans les bassins versants français comme le Frémur ou l'Oir (0.168 et 0.196 respectivement) ou encore dans les neuf sites échantillonnés par Durif (2003), où K était égale à 0.190 ± 0.003 .

Croissance corporelle

La croissance relative estimée par l'équation reliant la longueur totale au poids total des anguilles prélevées dans la lagune Mellah, montre l'existence, durant le cycle I, d'une allométrie minorante ($b = 2,75$; $R^2 = 66\%$) et durant le cycle II, d'une allométrie majorante ($b=3,13$; $R^2 = 80\%$). La valeur du coefficient de détermination enregistrée, durant le cycle II, témoigne d'une différence très hautement significative ($P = 0.000$) entre l'évolution du poids et la longueur totale des individus ; c'est-à-dire que le poids croît plus vite que le cube de la longueur. En revanche, l'estimation de la croissance relative par l'application de l'équation reliant la longueur totale au poids total des anguilles échantillonnées dans le lac Tonga, révèle une allométrie minorante. Nous notons toutefois un coefficient de détermination R^2 de l'ordre de 76,31% durant le cycle II et de plus de 88% durant le cycle I. Cette forte valeur du coefficient de détermination témoignerait d'une différence très hautement significative ($P = 0.000$) entre l'évolution du poids et la longueur totale des individus.

Dans le lac Oubeïra, au cours des 2 campagnes de prélèvement des anguilles, Tahri (2016) note, après l'application de l'équation reliant la longueur totale (Lt) au poids total (Pt), l'existence d'une allométrie majorante, c'est-à-dire que le poids des anguilles croît plus vite que le cube de la longueur. Toujours dans le lac Oubeïra, Boudjadi, (2010) obtient, en revanche, un coefficient d'allométrie égal à 2,99. En milieu estuarien, Tahri, (2009), signale chez les anguilles du Mafrag, un coefficient d'allométrie légèrement plus élevé ($b = 3,11$).

Dans la partie septentrionale de l'aire de répartition géographique de l'anguille (en Irlande), Moriarty (1972), établit également une relation exponentielle entre la taille et le poids des anguilles ; il constate que «b» varie entre 3,3 et 3,5. De même, Klein Breteler *et al.* (1990), trouvent un taux d'allométrie (b) de l'ordre de 3,1 et Bahnsawy (1989), en Pologne, trouve aussi un taux d'allométrie (b) supérieur à 3 (b = 3,2). Ces résultats sont très proches de ceux rapportés par Yahyaoui *et al.* (2004) dans le Rhin Moyen (b = 3,1). Dans la zone méridionale de l'aire de répartition géographique de l'anguille, Yahyaoui (1991), trouve des taux d'allométrie de l'ordre de 3,2.

Hurley (1972) note une diminution de la croissance à l'approche de la maturité. Au cours du cycle vital les gains en poids relatif diminuent de la phase civelle à la phase anguille argentée ; ils sont plus importants jusqu'à une taille d'environ 500 mm. Hedgepeth (1983) a déterminé que la croissance relative en longueur était plus élevée pendant les trois ou quatre premières années d'existence, tandis que le plus grand gain de poids absolu était observé au cours de la cinquième ou sixième année. Entre 3 et 6 ans, les longueurs et poids ont été variables. Ces changements ont été reliés à la maturation sexuelle.

La taille semble être un stimulus pour le déclenchement de la métamorphose en phase anguille argentée chez *Anguilla anguilla* (Frost, 1945b). Chez *Anguilla rostrata*, la fécondité augmente d'ailleurs avec la taille corporelle des femelles en phase argentée (Wenner et Musick, 1974 ; Barbin et McCleave, 1997). La grande variabilité observée entre les relations longueur-âge se reflète, dans une moindre mesure, sur la relation longueur-poids. En effet, les anguilles du même milieu, de même longueur et de même sexe peuvent présenter des différences de poids notables (Sinha et Jones 1967a). Les informations sont cependant plus simples à interpréter car la précision des données dépend d'une mesure directe et non d'une estimation. Un biais mineur peut survenir lorsque les anguilles jaunes s'alimentent intensément. Helfman *et al.*, (1984a) ont soustrait un facteur de correction [$3,11 \text{ g} + 0,016$ (poids total)] aux individus ayant ingéré beaucoup d'appâts dans les pièges.

Régime alimentaire

Le régime alimentaire des différentes fractions de population examinées dans le cadre de cette étude, est basée sur plusieurs paramètres : l'analyse du régime alimentaire des anguilles par le calcul du coefficient de vacuité (CV %) déterminé par l'évaluation des proies en cours ou non de digestion dans l'appareil digestif et la fréquence d'apparition des proies (F%).

Dans le lac Tonga, la valeur moyenne du coefficient de vacuité enregistrée pendant les deux cycles d'étude du régime alimentaire est proche de 60% dans le lac Tonga et de 74% dans la lagune El Mellah. La valeur mensuelle de ce coefficient varie de 33,33% à 86,66% en eau douce et de 60 à 93,33% en eau saumâtre. L'estimation des valeurs saisonnières du coefficient de vacuité fait apparaître des valeurs basses en hiver, élevées en automne - été et intermédiaires au printemps, ceci aussi bien en eau douce qu'en eau saumâtre. L'évolution du coefficient de vacuité en fonction de la taille des anguilles capturées dans les deux sites montre une similitude illustrée par l'apparition de la valeur la plus basse chez les individus de la classe de taille [45-55] durant les deux cycles d'étude.

Djebbari (2012) note chez les fractions de population d'anguilles capturées dans ces mêmes plans d'eau un coefficient de vacuité moyen égal à 65% dans le lac Tonga et 79% dans la lagune El Mellah ; cette auteure, note par ailleurs, qu'en période estivale le coefficient de vacuité montre une hausse. Chez la fraction de population d'anguille de l'estuaire du Mafrag, Tahri, (2009) note un comportement trophique vorace en hiver (CV = 40%) alors que cette activité est fortement diminuée en été (CV = 80%). En ce qui concerne l'évolution temporelle du CV (%) chez les fractions de population de l'Oubeira, Tahri (2016), enregistre les valeurs les plus basses à la fin de l'hiver et au printemps et les plus élevées en été. Ceci reflète une baisse de l'activité trophique des anguilles à cette période probablement en relation avec la température. Le facteur limitant est, selon Vollestad et al., (1988), la température de l'eau qui provoque chez l'anguille jaune comme chez de nombreuses espèces animales un ralentissement du catabolisme et, par conséquent, une réduction des besoins alimentaires. La recherche de nourriture qui constitue l'une des motivations des déplacements se trouve alors fortement ralentie durant les périodes de fortes chaleurs.

Dans les zones tempérées de son aire de distribution, il est généralement admis que l'anguille cesse toute activité durant la période hivernale (Tesch, 1993). Bruun (1963) rapporte que l'alimentation d'*Anguilla anguilla* ne débutait pas avant qu'une température d'au moins 10°C soit atteinte. Toujours chez *A. anguilla*, Nyman (1972) note, une alimentation

normale entre 13-17°C, des comportements agonistiques plus fréquents à une température supérieure à 17°C et sous les 8°C l'alimentation cesse, les individus s'enfouissent dans le substrat et demeurent inactifs. Walsh *et al.* (1983) ont déterminé expérimentalement qu'à des températures d'acclimatation situées entre 10-20°C, typiques de la saison estivale, les anguilles jaunes d'*Anguilla rostrata* s'alimentaient régulièrement. Sous les 5°C (typique de l'hiver) et sur une période de plus de cinq semaines, l'alimentation cessait.

Les résultats de l'analyse qualitative du contenu du tube digestif de l'anguille, peuplant les deux plans d'eau, montrent la présence de proies d'origine animale et végétale. Les proies d'origine animale sont soit des vertébrés (poissons) soit des invertébrés (crustacés, insectes) ; en ce qui concerne les proies d'origine végétales, ce sont des algues ou des plantes. Nous notons, par ailleurs, que les proportions de ces proies varient d'un plan d'eau à l'autre et d'une classe de taille à l'autre.

Djebbari (2012) note qu'en eau saumâtre, les crustacés et les plantes représentent plus de 88% des aliments ingérés par l'anguille d'El mellah, alors que les poissons et les insectes ne représentent pas plus de 12% ; les anguilles du Tonga consomment beaucoup plus de poissons et de végétaux (presque 80% des aliments ingérés) que de crustacés et insectes (20% des aliments ingérés). Les résultats de cette étude font ressortir que chez les anguilles des 2 plans d'eau, les plantes représentent une assez forte proportion dans leur régime alimentaire. L'analyse qualitative du contenu du tube digestif de l'anguille du Mafrag montre, selon Boudjadi (2010), la présence d'une forte proportion de poissons (46%) et d'aliments digérés (37%) et à peine 17% d'insectes et de crustacés. Tahri (2016) signale chez les anguilles du lac Oubeïra une affinité pour les proies d'origine animale qui représentent l'essentiel de leur régime alimentaire.

Selon Lecomte-Finiger (1983), l'anguille sélectionne ses proies d'après leur accessibilité et son comportement nutritionnel s'adapte aux disponibilités du milieu. En eau douce, ses proies sont constituées principalement de larves d'insectes, de crustacés, de poissons mais également de rongeurs chez les individus de grande taille. En mer, l'anguille se nourrit de petits poissons et de crustacés. Au cours de leur migration vers la mer des Sargasses, les adultes ne s'alimentent pas et vivent des réserves accumulées pendant le stade d'anguille jaune.

L'activité alimentaire de l'anguille est nocturne et les principales proies sont des invertébrés benthiques et des poissons. Les anguilles attrapent ces derniers par la chasse mais elles les capturent plus aisément lorsqu'ils sont confinés dans des trappes (Godfrey, 1951;

O'Connor, 1971; Caron *et al.*, 1986), dans des filets de pêche ou encore profitent des carcasses trouvées. Des matières végétales (2-5% de fréquence d'occurrence) et des débris inorganiques (5- 18% de fréquence d'occurrence) sont souvent trouvés dans les estomacs en proportions variables (Wenner et Musick, 1975; McCord, 1977; Facey et LaBar, 1981), suggérant un mode alimentaire benthique qui a été confirmé par des observations directes (Perlmutter, 1951; Jenkins et Jenkins, 1980; Helfman, 1986 et 1995).

En eau saumâtre, avec l'augmentation de la taille des anguilles, nous notons une augmentation des proportions de crustacés et de poissons et une baisse des proportions des plantes et des insectes. En eau douce, l'augmentation de la taille des anguilles se traduit par une baisse des proportions de plantes, de crustacés et d'insectes et l'augmentation des proportions de poissons.

Nos résultats sont confortés par ceux de Djebbari (2012) qui rapporte chez les anguilles du lac Tonga et de la lagune El mellah des changements dans les proportions des proies au fur et à mesure que la taille change.

Selon certains auteurs, Il existerait chez l'anguille, comme chez de nombreuses autres espèces prédatrices, une relation entre la taille des proies et celle de l'individu (Ogden, 1970; Facey et LaBarg 1981). A mesure que l'individu grandit, le pourcentage de poissons et de crustacés augmente (Sinha et Jones, 1967b; Ogden, 1970; Moriarty, 1978; Facey et LaBar, 1981; Lookabaugh et Angermeier, 1992). Cependant la taille de la proie (poisson) n'est pas toujours corrélée à la taille corporelle (Tesch, 1991). La taille de la proie peut aussi être corrélée avec la largeur de la bouche (tête). Selon Lammens et Visser (1989), il existe un phénomène de flexibilité morphologique chez des populations d'*Anguilla anguilla* selon que les individus montrent une spécialisation alimentaire pour les insectes ou pour les poissons ; toujours d'après ces auteurs, les anguilles piscivores présenteraient en moyenne des têtes de 1,2 à 1,5 fois plus larges et une condition équivalente ou meilleure que celle des insectivores. La réponse morphologique a semblé correspondre aux conditions environnementales, mais la part reliée au sexe n'a pu être établie (Lammens et Visser, 1989).

Du fait de leur régime alimentaire omnivore, il est difficile de définir un portrait général du comportement alimentaire des anguilles jaunes. Le régime varie, en effet, avec la taille de l'individu, la dimension des mâchoires, la saison et la disponibilité des proies. De plus, ces observations révèlent les difficultés d'interprétation des données qui, bien qu'elles soient facilement collectées et peu sujettes à l'erreur expérimentale, sont biaisées par d'autres facteurs inhérents au type même d'expérimentation. En effet il est probable qu'entre la

capture dans les filets statiques et la relève de ceux-ci, les anguilles aient pu se nourrir des proies prisonnières des filets (notamment des athérines et des invertébrés benthiques et pélagiques) ; de plus, durant le temps écoulé entre leur séjour dans les nasses et le moment de leur dissection, les anguilles peuvent digérer les proies.

Le parasitisme chez l'anguille

Le dénombrement des parasites récoltés montre la nette prédominance du nématode *Anguillicola crassus* aussi bien en eau douce qu'en eau saumâtre. En eau saumâtre, *A. crassus* représente le 1/15^{ème} et le cestode *B. claviceps* le 1/112^{ème} des effectifs rencontrés en eau douce.

Les proportions des parasites récoltés chez les anguilles des deux plans d'eau ne montrent pas de grosses variations d'une année à l'autre ; nous notons, en effet, qu'en eau douce, le nématode *A. crassus* représente 62 à 63% des effectifs de parasites récoltés et *B. claviceps* 36 à 37%. En eau saumâtre, c'est toujours *A. crassus* qui prédomine avec 90 à 94% des effectifs contre 5 à 10% pour le cestode *B. claviceps*

Anguillicoloides crassus

Le ver nématode *A. crassus* est présent dans la vessie gazeuse des anguilles des deux plans d'eau ; ce sont toutefois les anguilles du lac Tonga qui enregistrent les taux d'infestation les plus élevés (proche de 40% des effectifs d'anguilles capturées) ; en milieu lagunaire, les taux d'infestation des anguilles par *A. crassus* n'excèdent pas 6,66% au cours des deux cycles d'étude. Dans le lac Tonga, *A. crassus* est présent toute l'année, mais, en revanche, en milieu lagunaire sa présence est limitée à sept et 8 mois sur douze (respectivement cycle I et cycle II). Dans le lac Tonga, l'espèce *A. crassus* montre des taux d'infestation mensuels compris entre 20 et 60% durant le cycle I et variant de 13 à 66% au cours du cycle II ; Dans la lagune, les valeurs de la prévalence de ce ver nématode sont comprises entre 0 et 13% durant les deux cycles.

Nos résultats sont confortés par ceux de Djebbari (2012) qui signale, dans le lac Tonga, la présence du nématode *A. crassus* toute l'année ; en revanche, en milieu lagunaire la présence de ce parasite est limitée à huit mois sur douze et à des taux d'infestation qui n'excèdent pas 5%. Cette auteure enregistre, dans le Tonga, des taux d'infestations des anguilles, par *A. crassus*, compris entre 30 et 53,33% et 20 et 63,33% respectivement durant le 1er et le 2ème cycle. Dans le lac Oubeira, Tahri (2016) note la présence du ver nématode *Anguillicoloïdes crassus* durant tous les mois de prélèvement à un taux d'infestation moyen proche de 50% au cours des 2 campagnes avec en moyenne 8 et 4 parasites par anguille infestée et examinée respectivement au cours de la 1ère campagne contre 6 et 3 parasites par anguille infestée et examinée respectivement durant la 2^{ème} campagne.

Nous notons, dans le cadre de cette étude que les valeurs de l'intensité moyenne d'infestation par le nématode *A. crassus* varient entre 3,59 et 4,21 par anguille infestée dans le Tonga et

sont comprises entre 1,42 et 1,9 par anguille infestée dans la lagune. Dans l'estuaire du Mafrag, Tahri (2009) rapporte des indices parasitaires proches de ceux calculés dans cette étude ($P=50\%$, $I= 4$ vers/vessie infestée et $A=2,05$ vers/poisson examiné). Dans le cadre de cette étude, l'espèce parasite *Anguillicoloides crassus* montre des valeurs de l'abondance comprises entre 1,66 et 1,51 chez les anguilles du lac Tonga et entre 0,09 et 0,1 chez celles de la lagune El Mellah ; Ce ver nématode serait 15 fois plus abondant en eau douce qu'en eau saumâtre.

En eau douce, la distribution des valeurs des prévalences saisonnières d'*A. crassus* se fait, durant le cycle I, selon l'ordre décroissant hiver > automne > printemps > été et durant le cycle II, selon l'ordre décroissant hiver > printemps > automne > été. En eau saumâtre, la distribution des valeurs saisonnières de la prévalence de *A. crassus* se fait selon l'ordre suivant Hiver > printemps > automne > été durant le cycle I ; en revanche, durant le cycle II les valeurs rencontrées en hiver et au printemps sont de l'ordre de 11,10% et celles de l'été et l'automne sont égales à 2,22%. Il ressort de cette étude que le plus fort taux de l'infestation par *A. crassus* a lieu en hiver et le plus bas se passe en été ceci aussi bien en eau douce qu'en eau saumâtre.

Dans le lac Tonga, Djebbari (2012) note que l'évaluation des taux d'infestation saisonniers fait apparaître, durant le 1er cycle des valeurs de l'ordre de 43, 42 et 37,77% en hiver, en automne et au printemps et en été respectivement. En ce qui concerne le 2ème cycle, les taux d'infestation saisonniers sont élevés au printemps ($P = 47,78\%$) et en hiver ($P = 42,22\%$), intermédiaire en automne ($P = 37,77\%$) et bas en été ($P = 32,22\%$). Ces résultats viennent conforter les nôtres du fait qu'ils font apparaître que la valeur la plus basse de l'infestation est notée en période estivale.

Les valeurs des intensités moyennes saisonnières évoluent, durant le cycle I, selon l'ordre décroissant suivant été > automne > hiver > printemps (de 4,35 à 3,86 vers/anguille infestée) et durant le cycle II selon l'ordre décroissant suivant automne > été > hiver > printemps (de 5 à 3,16 vers/anguille infestée).

En milieu saumâtre la distribution des valeurs des intensités moyennes saisonnières évoluent, durant le cycle I, selon l'ordre décroissant suivant hiver > printemps > automne > été (de 2,16 à 0,33 vers/anguille infestée) et durant le cycle II selon l'ordre décroissant suivant printemps > hiver > été > automne (de 1,5 à 0,33 vers/anguille infestée). Il ressort de ces observations que les saisons de fortes infestations changent d'un milieu à l'autre et d'une année à l'autre ; nous notons, en effet, que c'est en été et en automne qu'en eau douce l'anguille infestée

héberge le plus de parasites et plutôt en hiver et au printemps qu'en eau saumâtre l'anguille abrite le plus de parasites dans sa vessie. Quant aux valeurs les plus basses elles sont notées au printemps dans le lac Tonga et en été –automne dans la lagune. Dans le lac Tonga, les valeurs de l'abondance d'*A. crassus* sont comprises entre 0,8 et 2,66 durant les deux cycles d'étude. Les valeurs de l'abondance d'*A. crassus* en milieu lagunaire sont faibles ; elles varient de 0,02 à 0,24 vers/anguille examinée. Nous notons, toutefois, que les valeurs les plus élevées sont relevées en période hivernale et printanière et les plus basses en été et en automne

Dans le Tonga, l'évaluation des intensités d'infestation saisonnières révèle la présence, durant le 1er cycle, de moins de 4 nématodes /anguille infestée au printemps et en été et plus de 4 en hiver et en automne ; mais durant le 2ème cycle, c'est seulement au printemps que la valeur de l'intensité est inférieure à 4 (Djebbari, 2012). Cette auteure rapporte, qu'en milieu lagunaire, c'est en période hivernale et printanière que les anguilles hébergent le plus grand nombre de vers (plus de un parasite par poisson infesté). Boudjadi (2010) rapporte que l'anguille de l'Oubeira héberge, en hiver et au printemps plus de 7 vers, en automne plus de 5 vers et en été seulement 3 vers; dans le Mafrag, cet auteur rapporte que l'intensité moyenne d'infestation la plus élevée ($I = 4,9$) est notée en période automnale et la plus basse ($I = 2,7$) en période printanière ; Les valeurs de l'intensité relevées en hiver et en été sont de l'ordre de 3,4 et 3,7 respectivement.

L'enregistrement en période hivernale et printanière de valeurs moyennes, de l'intensité et de l'abondance, élevées est conforté par les données obtenues dans des biotopes similaires au Maroc (Rahou et *al.*, 2001), en Tunisie (Gargouri Ben Abdallah et Maamouri, 2006) et en France (Lefebvre et *al.*, 2002b).

Dans le lac Tonga, Djebbari (2012) notent que les valeurs de l'abondance de *A. crassus* varient de 0,7 à 2,5 et de 0,8 à 2,6 respectivement durant le 1er et le 2ème cycle ; ce qui conforte les données obtenues dans le cadre de cette étude. Dans l'Oubeira, (Boudjadi, 2010) trouve des valeurs basses ($A=1,1$) en été et élevées ($A>5$) en hiver et au printemps ; en revanche, dans le Mafrag, selon cette auteure, *A. crassus* enregistre la valeur de l'abondance la plus basse ($A=1,1$) au printemps et la plus élevée ($A=2,6$) en automne. Les valeurs saisonnières de l'abondance de ce parasite dans le Tonga sont proches de celles rapportées dans le Mafrag par Boudjadi (2010).

Les valeurs de la prévalence relevées dans le lac Tonga sont proches de celles notées au Maroc dans l'estuaire Moulouya (Rahou et *al.*, 2001) et dans l'estuaire du Sebou (Loukili et Belghyti, 2007) et en France, dans le Delta du Rhône (Lefebvre et *al.*, 2002). En Tunisie, les valeurs rapportées par Gargouri Benabdallah et Maamouri (2006) sont en revanche plus faibles et n'excèdent pas 35%. Des variations mensuelles de la prévalence sont rapportées dans de nombreux biotopes; dans l'estuaire Moulouya, Rahou et *al.* (2001) signalent 0% (en août) et 70% (en avril) ; dans les lagunes tunisiennes, Gargouri Ben Abdallah et Maamouri, (2006) notent 4,35% (en juillet) et 35% (en mars) ; dans le delta du Rhône, Lefebvre et *al.* (2002) enregistrent 40% (en octobre) et 72% (en juin). Cette variation mensuelle des indices parasitologiques serait liée aux fluctuations de la température ; cette dernière aurait une influence aussi bien sur le développement larvaire du ver nématode dans l'eau et dans l'hôte intermédiaire (Petter et *al.*, 1989; de Charle roy et *al.*, 1989) que sur les anguilles fortement infestées (Lefebvre et *al.*, 2004).

Ces fluctuations saisonnières du taux d'infestation seraient liées aux 2 périodes critiques où l'anguille arrête de se nourrir, l'une en hiver quand la température baisse en dessous de 10°C et l'autre en été quand la température dépasse 30°C (Lecompte-Finiger, 1983) ; durant ces 2 périodes, l'atteinte de l'anguille par le stade infestant du nématode serait limitée, ce qui engendrerait une baisse des taux d'infestation. Gibrat et Nielsen, (1985) notent que la principale phase active d'alimentation de l'anguille s'étale d'avril à septembre, avec un maximum d'avril à juin ; Cette période représente la phase idéale pour le succès de la transmission de la larve à l'hôte intermédiaire ou paraténique. D'autres auteurs pensent que la faible prévalence estivale trouverait son explication dans le changement de régime de l'anguille qui au départ est basé sur l'ingestion d'annélides et petits crustacés, plus particulièrement les cyclops (hôte intermédiaire de ce parasite) pour devenir ichtyophage en juin-juillet (Sinha et Jones, 1966).

Le développement d'*A. crassus* est dépendant de la température en milieu expérimental. Knopf et *al.*, (1998) rapportent qu'à basse température (4°C), le développement larvaire se fait plus lentement et les adultes sont sévèrement touchés avec une mortalité accrue et une baisse de la croissance et de la reproduction. Un suivi de 4 ans en Camargue montre des variations saisonnières avec des pics réguliers au début de l'été et à la fin de l'hiver. Il montre également qu'il n'y a pas d'influence de la localisation de l'échantillon et que l'importance de l'année semble secondaire (Lefebvre *et al.*, 2002b).

Plus récemment, EL Hilali (2007) enregistre dans l'estuaire du Sebou une prévalence de 55,36% avec 1,92 parasite par vessie. Enfin, en Tunisie, des taux d'infestation de 7,26% avec

1,06 parasite par vessie sont rapportés par Gargouri et Maamouri (2006) dans la lagune d'Ichkeul. Dans la lagune du Vaccarès, Lefebvre et al., (2002b) ont enregistré une abondance de 4 parasites, une prévalence de 70% et une intensité moyenne de 4 à 6 parasites, au cours des mois de juillet des années 97, 98, 99 et 2000 ; Dans cette même lagune, Fazio (2007), en juillet de l'année 2004, note les mêmes résultats (une prévalence de 77% et une intensité moyenne de 6,5 parasites). En ce qui concerne la lagune de Mauguio, Benajiba et ses collaborateurs ont enregistré une prévalence de 30 à 40% et une intensité moyenne de 3 parasites pour les mois de juillet 1988 et 1989.

Le nombre de nématodes serait régi par un mécanisme d'autorégulation conditionné par des facteurs intrinsèques liés au parasite tels que: le nombre de femelles gravides par anguille infestée et le nombre d'oeufs pondus par femelle; ainsi que, la mortalité des hôtes intermédiaires en fonction de l'augmentation du degré d'infestation chez ces hôtes et l'importance de l'effectif des hôtes définitifs. Ces différents facteurs contribuent à l'autorégulation du nombre de nématodes qui atteint un seuil maximal qui ne peut être dépassé. Ashworth (1994) montre que le degré d'infestation atteint une valeur asymptotique de 4 à 5 nématodes par anguille. Exception faite de deux études réalisées en Suède (Hoglund et al., 1993) et en Hollande (Van beneden , 1859) où des degrés d'infestations assez élevés ont été rapportés.

D'après les résultats des nombreuses études réalisées dans divers hydrosystèmes de l'extrême Nord Est algériens, il semble que l'infestation par *A. crassus* ait atteint un niveau seuil comme cela a été noté dans plusieurs sites européens. Blanc (1998) rapportait un niveau d'intensité moyenne stabilisé à environ 4 adultes par hôte, indiquant selon lui, une autorégulation ; Il est cependant peu probable de connaître quand cette infestation se stabilisera à un niveau plus faible que celui noté au Japon chez *A. japonica*. En Hongrie, Molnár et al. (1994) estiment qu'un équilibre hôte-parasite a été atteint en 1993 dans le lac Balaton avec une stabilisation des taux d'infestation à 44-57%. C'est en Camargue, dans le canal de Fumemorte, que le plus long suivi (de 1982 à 2003) de la dynamique d'*A. crassus* a été mené (Lefebvre et Crivelli, 2004a). Depuis son introduction en 1985, le taux de prévalence d'*A. crassus* est passé de 32% à 50% entre 1989 et 1990, puis a fluctué entre 56% et 73% de 1997 à 2003. Moins de 10 ans après son introduction, l'apparition d'un palier à environ 60-70% est observée. L'intensité d'infestation au cours des 5 dernières années est de l'ordre de 6 nématodes/anguille infestée et ne montre pas de tendance à la hausse. Ces résultats confirment ceux observés ailleurs en Europe où la propagation d'*A. crassus* s'est caractérisée de la même façon, par une rapide

propagation puis une stabilisation autour d'un seuil (Ashworth, 1994 ; Molnar *et al.*, 1994 ; Wurtz *et al.*, 1998).

Par ailleurs, dans le lac Tonga et la lagune El Mellah, les charges épidémiologiques relevées (prévalence, intensité et abondance) montrent de grosses différences spatiotemporelles. Ces différences s'expliqueraient par la longévité des larves d'*Anguillicola crassus* qui dépend essentiellement de la salinité et de la température du milieu aquatique dans lequel elles évoluent. En eau douce, les larves libres peuvent vivre jusqu'à 3 à 4 semaines ; en revanche, si la rencontre avec l'hôte n'est pas réalisée et si la salinité du milieu est élevée et combinée ou non avec une température élevée, la durée de vie de ces larves est réduite à 3-4 jours (De Charleroy *et al.*, 1987 et 1989 ; Kennedy & Fitch, 1990; Schippers *et al.*, 1991).

Les indices épidémiologiques (prévalence, intensité et abondance) du parasite *A. crassus* varient en fonction de plusieurs facteurs biotiques (taille et régime alimentaire) et abiotiques (température, pH, salinité...).

En eau douce, les anguilles de toutes les classes de taille sont infestées par *A. crassus*, en revanche, en eau saumâtre les anguilles de petite taille ne sont pas infestées par le nématode. Dans le lac Tonga, les prévalences de *Anguillicola crassus* de plus de 50 et 62% sont notées chez les anguilles de la classe de taille [35-45] et [25-35] respectivement (durant les cycles I et II respectivement). En revanche, en eau saumâtre, les prévalences maximales (33% et 17%) sont enregistrées chez les anguilles de grande taille [55-65] (respectivement durant le cycle I et II).

Dans l'Oubeira, Tahri (2016) signale que l'infestation par *Anguillicoloïdes crassus* n'épargne aucune classe de taille ; en revanche, elle note que ce sont les anguilles de grandes tailles (plus de 60 cm) qui sont les plus touchées (plus de 60%). Dans l'estuaire du Mafrag, *A. crassus* infestait toutes les classes de taille (Tahri, 2009) mais plus particulièrement les anguilles de grande taille. En ce qui concerne l'intensité d'infestation et l'abondance, les valeurs les plus élevées étaient relevées aussi bien chez les spécimens de petite taille que ceux de grande taille. Selon certaines observations, ce nématode peut infester des anguilles de toutes tailles, allant des anguilles de petites tailles (6-15 cm, dès qu'elles se nourrissent de zooplancton) en adaptant sa taille à la taille de la vessie de l'hôte jusqu'aux anguilles adultes (Lefebvre *et al.*, 2002b).

Dans le lac Tonga, les valeurs de l'intensité d'infestation les plus élevées sont notées chez les classes de taille [35-45] et [55-65] (respectivement 5,05 et 4,58 durant le cycle I et 3,88 et 8,57 durant le cycle II). Les valeurs de l'abondance, les plus élevées sont relevées chez les

anguilles des classes de taille [45-55] et [55-65] durant le cycle I (respectivement 1,9 et 1,7 ver/poisson examiné) et chez celles des classes de taille [25-35] et [55-65] durant le cycle II (respectivement 2 et 3 ver/poisson examiné). En eau saumâtre, ce sont, néanmoins, les anguilles de taille supérieure à 45 cm qui abritent le plus de vers parasites (1 à 4 vers/anguille infestée)

Nos résultats sont confortés par ceux de Djebbari (2012) qui signale, dans le lac Tonga, des taux d'infestation par *A. crassus* de l'ordre de 62% chez les anguilles de petites tailles (classe de taille [25-35]). En revanche, les charges parasitaires les plus élevées sont relevées chez les spécimens de grande taille (Djebbari, 2012). Ces résultats sont en accord avec ceux de Gargouri Ben Abdallah et Maamouri (2006) qui notent, chez les individus de petites tailles (20-25cm), les plus fortes prévalences, et chez ceux de grande taille les valeurs de l'intensité les plus fortes. Cette relation pourrait venir d'une exposition de l'hôte plus longue en milieu parasité, une surface à infester plus grande ou une consommation plus grande compte tenu de sa taille. Lefebvre et al. (2002b) trouvent une corrélation positive entre la taille de l'anguille et l'intensité et l'abondance du parasite, mais pas avec sa prévalence. Les résultats obtenus par Boudjadi (2010), chez les anguilles du Mafrag, sont similaires à ceux rapportés par Lefebvre *et al.*, (2002b).

Le régime alimentaire de l'hôte joue certainement un rôle pour expliquer la relation en cloche de l'abondance du parasite en fonction de la taille de l'hôte. En effet, les jeunes anguilles se nourrissent d'abord de crustacés puis deviennent de plus en plus piscivores. Selon Blanc (1998), un taux plus faible d'infestation des anguilles de grandes tailles peut indiquer, soit une diminution parallèle du taux d'infestation des hôtes paraténiques, soit l'acquisition d'une résistance au parasite. Selon certains auteurs, une infestation plus grande (3 parasites) serait à corrélérer avec la phase intense d'alimentation de l'hôte (Benajiba *et al.*, 1994). Cette variation mensuelle des indices parasitologiques serait liée aux fluctuations de la température ; cette dernière aurait une influence aussi bien sur le développement larvaire du ver nématode dans l'eau et dans l'hôte intermédiaire (Petter *et al.*, 1989 ; de Charleroy *et al.*, 1989) que sur les anguilles fortement infestées (Lefebvre *et al.*, 2004).

Toutes les études montrent que les oeufs des nématodes *Anguillicola crassus* contiennent des L2 et que l'éclosion des oeufs dépend de la température. Kennedy et Fitch (1990) rapportent la présence d'une relation exponentielle entre la survie et l'infestation des parasites et le temps.

Il est, en effet, rapporté que le nématode *A. crassus* a une préférence pour les températures élevées et le cycle est perturbé au-dessous de certaines valeurs ; c'est ce qui explique son

absence dans la partie Nord du globe (Höglund et Thomas 1993; Thomas et Ollevier 1992, 1993; Knopf et al., 1998). Knopf et al. (1998) ont remarqué une mortalité élevée chez les adultes à 4°C ; Le cycle du parasite est bouclé en 90 jours quand la température est favorable mais peut atteindre 4 mois dans certains cas (Höglund et al., 1993).

Nos résultats sont en accord avec ceux de nombreux auteurs qui rapportent l'existence d'une corrélation négative entre la salinité et les indices parasitologiques. De même, dans le sud de la Bretagne, Sauvaget et al., (2003) notent que les prévalences sont supérieures pour les anguilles vivant dans des milieux peu salés (>90%) comparées à celles vivant dans des conditions estuariennes (15%). La même tendance est observée, par Gargouri Ben Abdallah et Maamouri, (2006) dans 4 lagunes de Tunisie.

Kirk et al., (2000a) signalent que les niveaux d'infestation diminuent avec l'augmentation de la salinité. Certains auteurs notent, cependant, que même en eau de mer, l'éclosion des œufs des parasites est diminuée mais pas totalement inhibée (Kennedy & Fitch, 1990). Lefebvre et al., (2004) mettent en évidence une relation négative entre les indices parasitaires (prévalence, intensité moyenne et abondance moyenne) des anguilles argentées et la salinité (prévalence de 52% en eau saumâtre à 77% en eau douce).

L'augmentation du parasitisme par *A. crassus* chez l'anguille s'expliquerait par la simplicité du cycle évolutif de ce parasite et par son adaptabilité à un grand nombre d'hôtes intermédiaires. Selon Kirk, (2003), l'accumulation de larves chez l'hôte paraténique serait en faveur de l'augmentation rapide des valeurs épidémiologiques. Les niveaux élevés de l'infestation s'expliqueraient par l'absence de mécanismes de défense de l'anguille vis-à-vis de ce parasite allochtone ; l'étude de l'évolution des larves d'*A. crassus* chez l'anguille japonaise et l'anguille européenne a montré que 60% des larves récoltées chez *A. japonica* étaient retrouvées mortes, encapsulées dans la paroi de la vessie gazeuse, mais, en revanche, aucune larve n'était morte chez *A. anguilla*. Il a été par ailleurs démontré que le développement des vers était significativement lent chez *A. japonica* comparé à celui noté chez *A. anguilla* (Knopf et al., 1998).

✚ *Bothriocephalus claviceps*

Le seul cestode recensé est *Bothriocephalus claviceps* Goeze, 1782 ; il appartient à la famille *Bothriocephalidae*, parasite spécifique de l'intestin de l'anguille d'Europe. Il est commun et assez répandu (Nie et Kennedy, 1991). Il est caractérisé par la présence d'un scolex portant des bothridies. C'est un parasite hétéroxène qui nécessite la présence d'un copépode Cyclopoïde comme unique hôte intermédiaire (Nie et Kennedy, 1991 ; Scholz, 1997).

Le cestode *Bothriocephalus claviceps*, parasite du tube digestif, enregistre des taux d'infestation moyen proche de 28% chez les anguilles du lac Tonga et pas plus de 1,1% chez celles de la lagune El Mellah. Dans le lac Tonga, le cestode parasite est rencontré durant toute la période de l'étude à des prévalences comprises entre 6,66 et 60%. En milieu lagunaire, le cestode *B. claviceps* n'est rencontré qu'en octobre et novembre durant le cycle I et uniquement en décembre durant le cycle II ou il n'infeste pas plus de 3,33% des effectifs d'anguille. L'évaluation des taux d'infestation saisonniers des anguilles par *B. claviceps* fait apparaître des valeurs élevées (proches de 40%) en hiver et au printemps et basses en été (proche de 18%) et en automne (moins de 16% et moins de 20% durant le cycle I et II respectivement).

Nos résultats sont confortés par ceux de Djebbari (2012) ; cette auteure signale, dans la lagune El Mellah, la présence du cestode *B. claviceps* uniquement en octobre ou il n'infeste pas plus de 3,33% des effectifs d'anguille ; Par ailleurs, cette auteure note dans le lac Tonga, des taux d'infestation compris entre 16 et 73% durant le 1er cycle et 3,33 et 60% durant le second cycle. Les valeurs des prévalences saisonnières notées, durant les 2 cycles d'étude, sont élevées en hiver et au printemps et basses en été et en automne. Chez les anguilles de l'Oubeira, Boudjadi (2010), signale que l'espèce *Bothriocephalus claviceps* est présente seulement 9 mois sur douze à des prévalences ne dépassant pas 10% ; mais, en revanche, dans le Mafrag, ce cestode parasite infeste les anguilles durant toute l'année à des prévalences de plus de 34% en période estivale.

Dans l'Oubeira, Tahri (2016) rapporte des taux d'infestation de l'anguille, par *B. claviceps* qui ne dépassent pas 34% et signale que c'est en période automnale que les valeurs les plus élevées sont relevées. Dans le Mafrag, ce parasite touche moins de 7% de la population d'anguilles examinées (Tahri, 2009). La valeur de la prévalence la plus élevée est enregistrée en juin (16,66%) quand la température de l'eau atteint 24,8°C (Tahri, 2016). Cette observation est confortée par celle de Dupont et Gabrion (1986) en Camargue (France). De nombreux auteurs signalent l'existence de relations entre les saisons et la dynamique des

populations de plusieurs pseudophyllides (Jarroll, 1979 ; Granath et Esch, 1983 ; Kennedy, 1983). Selon Smyth (1952), en général, le facteur thermique est toujours mis en cause : l'augmentation de la température stimule, d'une part, l'ovogénèse des cestodes et déclenche, d'autre part, l'accroissement démographique chez de nombreuses espèces de copépodes, hôtes intermédiaires. En Espagne, Maillo *et al.* (2005) signalent que parmi les 3 lagunes étudiées, *B. claviceps* n'est présent qu'à 1,4% dans une seule d'entre elles (Encanyissada). Dans les lagunes adriatiques, Di Cave *et al.* (2001) relèvent des taux d'infestation de l'ordre de 9,1% alors qu'en Corse, Caillot *et al.* (1999) enregistrent un taux d'infestation de 20%. Des prévalences et des intensités plus élevées ont été rapportées dans la péninsule Ibérique (Maillo *et al.*, 2001). La présence de ce cestode a été également signalée dans les eaux douces de plusieurs continents (Borgsteede *et al.*, 1999).

En eau douce, les valeurs mensuelles de l'intensité moyenne d'infestation par l'espèce *Bothriocephalus claviceps* sont comprises entre 1 et 5,5 cestode/anguille infestée. Durant le cycle I, l'évaluation de l'intensité d'infestation saisonnière par ce cestode montre l'existence de fortes valeurs au printemps (I = 4,76) et en automne (I = 3,22) et des valeurs relativement basses en été et en hiver (2,66 et 2,30 respectivement). Durant le cycle II, la distribution des valeurs saisonnières de l'intensité d'infestation par *B. claviceps* se fait selon l'ordre décroissant suivant printemps > été > automne > hiver (valeurs comprises entre 4,97 et 2,36). Durant toute la période d'étude, c'est effectivement en période hivernale que les valeurs les plus basses sont enregistrées.

L'espèce parasite *B. claviceps* montre des valeurs de l'abondance proches de 0,94 en eau douce et inférieures à 0,01 en eau saumâtre. Dans le lac Tonga, la distribution des valeurs de l'abondance saisonnière de *Bothriocephalus claviceps* se fait selon l'ordre décroissant suivant printemps > hiver > automne > été (les valeurs étant comprises entre 1,88 et 0,46 durant le cycle I et entre 1,81 et 0,37 au cours du cycle II).

Djebbari (2012) note, dans le lac Tonga, des valeurs de l'intensité d'infestation de l'ordre de 1 parasites/poisson infesté pendant le 1er cycle ; en revanche, ces valeurs varient de 1 à 5,7 durant le second cycle. Les valeurs moyennes saisonnières les plus élevées (proche de 5) sont notées au printemps et les plus basses (proche de 1,5) en automne ; des valeurs comprises entre 3 et 4 sont relevées en hiver et en été respectivement. Selon Boudjadi (2010), la valeur de l'intensité d'infestation la plus élevée (I=1,3) est relevée en période hivernale dans l'Oubeira et en période printanière et estivale (respectivement 2,5 et 2,1) dans le Mafrag. Dans le Tonga, les valeurs de l'abondance du cestode *B. claviceps* sont relativement élevées

en période hivernale et printanière et basses en période estivale et automnale. Ce cestode est abondant en été (0,7) et très peu abondant (0,11) en hiver chez les anguilles de l'estuaire du Mafrag.

Dans le lac Tonga, le cestode *Bothriocephalus claviceps* infeste beaucoup plus les anguilles de petite taille que celles de grande taille. Dans la lagune El Mellah, *Bothriocephalus sp* infeste beaucoup plus les anguilles de grande taille. Nous notons toutefois que ce sont les anguilles de grande taille ([55-65[) qui abritent le plus grand nombre de parasites (plus de 5 et 7 cestodes/anguille infestée respectivement durant le cycle I et II) et celles de petite taille ([25-35[) abritent le moins de vers (proche de 2,5 parasites par poisson infesté). Nous notons toutefois que les valeurs de l'abondance les plus élevées sont enregistrées chez les anguilles de petite taille (1,15 et 1,5 durant les cycles I et II respectivement) et chez celles de grande taille (1,42 et 1,5 durant les cycles I et II respectivement).

Dans le lac Oubeira, Tahri (2016) note que les individus, rattachés à l'espèce parasite *B. claviceps*, sont généralement regroupés chez les spécimens de grande taille (60-80 cm). Au niveau de l'estuaire du Mafrag, Tahri (2009) rapporte des taux d'infestation de 29% chez les anguilles de grande taille (classe de taille [64-74[cm), alors que chez les autres classes de taille, les taux d'infestation ne dépassent pas 5%.

Dans le Canal du Fumemorte, Dupont (1984) signale que le parasitisme affecte toutes les tailles de l'hôte ; alors que dans la source du lez ainsi qu'au niveau du pont du Castelnau le parasitisme semble avoir une préférence pour certaines classes de taille. Le même auteur explique que l'hétérogénéité de la répartition des coracidiums pourrait être influencée : par le comportement sédentaire de l'anguille, par l'émission groupée des œufs d'un anneau, par l'activité benthique de l'anguille qui limite la hauteur de la chute des œufs au fond du plan d'eau ou encore par le faible pouvoir de déplacement du coracidium (mouvement en toupie). Selon Combes (2005), qu'il s'agisse de parasitoses des végétaux, des animaux ou des hommes, les parasites sont généralement distribués de manière agrégée : certains hôtes hébergent davantage de parasites que ne le prévoit le hasard et d'autres, bien entendu, moins. Selon le même auteur, la réponse globale à cette distribution agrégée est que la population d'hôte présente une hétérogénéité dans sa relation avec les parasites. Dupont et Gabrion (1987) observent des variations mensuelles de la prévalence de *Bothriocephalus claviceps* chez l'anguille dans le canal de Fumemorte en Camargue (pics au printemps et en automne), mais aucun effet de la taille des hôtes, sur les prévalences et l'intensité, n'a été mis en évidence.

Anguillicolose

L'indice de dégénérescence de la vessie (SDI) a été défini par Lefebvre *et al.* (2002b). Cet indice est basé sur les altérations macroscopiques de la vessie. L'indice varie de 0 à 6, il cumule 3 critères qui peuvent prendre les valeurs entre 0 et 2 : (1) le niveau de transparence de la vessie, (2) la présence de pigmentation et de débris au lieu de gaz et enfin (3) l'épaisseur de la paroi de la vessie.

Afin de comprendre le mécanisme qui mène à la dégradation de la vessie natatoire, Il est nécessaire d'évoquer le cycle du parasite. Les œufs donnent naissance à des larves L1 (dans leur coque ovigère) qui vont se différencier en larves L2. Ces dernières migrent *via* le canal pneumatique vers le tube digestif de l'anguille. Par la suite, elles sont excrétées dans le milieu extérieur où, libres, elles seront ensuite ingérées par un hôte intermédiaire chez qui elles se transforment en larves L3 (infestantes pour les anguilles). Les anguilles s'infestent en ingérant ces hôtes intermédiaires. Ceux-ci peuvent être soit des crustacés planctoniques (copépodes, ostracodes), soit des petits poissons (cyprinidés), des larves d'insectes et d'amphibiens. Les larves L3 ingérées traversent alors la paroi du tube digestif et migrent vers la vessie natatoire. Dans les parois de celle-ci s'opère de nouvelles métamorphoses : d'abord en L4, puis en pré-adultes et, enfin, en adultes libres dans la lumière de la vessie gazeuse. La durée totale du cycle varie, selon les conditions, de 2 à 3 mois jusqu'à environ 1 an (Blanc, 1998 ; Thomas & Ollevier, 1992).

Les vessies examinées durant cette étude montrent divers états allant de la transparence à l'opacité en passant par des états hémorragiques et fibreux. Dans le Tonga plus de 40% des vessies présentent des lésions sévères contre seulement 7% dans la lagune (soit 6 fois). En eau saumâtre, les proportions des vessies saines (Translucides) font 3 fois celles notées dans le lac Tonga. En ce qui concerne les vessies présentant des dommages modérés les taux relevés dans la lagune sont sensiblement plus élevées que ceux enregistrés dans le lac Tonga. Dans le lac Tonga, les proportions d'anguilles présentant des vessies saines sont de l'ordre de 15% durant le cycle I et baissent jusqu'à 10% au cours du cycle II. A cette baisse de proportions de vessies intactes notées durant le cycle II est associée une hausse des proportions de vessies sévèrement endommagées dont les valeurs passent de 43 à 48%. Quant aux vessies présentant un dommage modéré, leurs proportions n'ont pas beaucoup variées durant les deux cycles. Dans la lagune, durant les deux cycles d'étude, les vessies sévèrement endommagées ne représentent que 8 à 9% ; En comparaison avec les valeurs enregistrées au cours du cycle I,

nous notons, durant le cycle II, une baisse des proportions des vessies intactes (de 42 à 29%) et une hausse de celles des vessies présentant un dommage modéré (de 50 à 62%).

En eau douce, parmi les vessies considérées comme saines, nous notons la présence de nématodes dans moins de 15% et 17% et leur absence dans 85% et 87% des vessies respectivement durant le cycle I et II. Parmi les vessies présentant des dommages modérés ou sévères, il est noté la présence du nématode dans 44% et 45% des vessies et son absence dans 56% et 55% des vessies lésées durant le cycle I et II respectivement. Malgré l'augmentation du nombre de vessies lésées notée durant le cycle II (le nombre étant passé de 152 à 162), les proportions de vessies lésées abritant et n'abritant pas de vers parasites ne montrent pas de grosses différences d'une année à l'autre. En eau saumâtre, nous notons la présence de plus de 57% et de 70% de vessies lésées et 43% et 30% de vessies saines (respectivement durant le cycle I et II). Parmi les vessies considérées comme saines, nous notons l'absence du ver nématode durant les deux cycles d'étude ; en ce qui concerne les vessies présentant des dommages (modérés ou sévères), nous notons la présence du nématode dans moins de 10% des vessies et son absence dans plus de 90%. En milieu lagunaire, nous notons, d'une année à l'autre, que l'anguillicolose ne montre pas de grosses fluctuations ceci aussi bien pour les vessies saines que pour les vessies lésées.

Nos résultats sont confortés par ceux de Djebbari (2012) ; Dans le lac Tonga, cette auteure enregistre, parmi les 360 vessies examinées, 94% de vessies lésées contre seulement 6% de vessies saines; dans cette dernière catégorie, 87% n'abritent pas de vers. Dans la catégorie des vessies lésées 41 % hébergent des vers et 59 % n'en hébergent pas. Dans la lagune, plus de 93 % des vessies présentent des lésions sans pour autant abriter des parasites ; mais, en revanche, moins de 7% des vessies lésées abritent des vers. Dans une étude en Camargue, Lefebvre *et al.* (2002b) trouvent que seulement 8% de l'échantillon ont des vessies intactes, soit 92% avec des vessies abîmées, parmi lesquelles 35% seulement possèdent des vers dans le lumen.

Selon Tahri (2016), dans le lac Oubeira, les résultats de l'évaluation du SDI font apparaître que 95% des vessies sont endommagées (le SDI varie entre 1 et 5). Canestri-Trotti (1987) enregistre, chez les anguilles argentées ayant subi une infestation passée, des proportions comprises entre 40 et 78%. En cumulant les individus présentant des parasites et ceux montrant des signes d'infestation(s) passée(s), les taux peuvent devenir très élevés : 71% et 95% (Lefebvre *et al.*, 2004). Selon les résultats expérimentaux de Würtz et Taraschewski

(2000), les changements macroscopiques de la paroi de la vessie ne pourraient être observés qu'après des infestations répétitives, c'est pourquoi il existe des vessies non abîmées avec des parasites adultes à l'intérieur.

Nimeth *et al.* (2000) montrent que l'infestation de civelles par *A. crassus* ne semble pas avoir altéré les performances de nage, ni la consommation d'oxygène. En revanche, dans le rapport d'un projet Européen (EELREP, 2005) il est démontré que les anguilles faiblement infestées par *A. crassus* ont leur capacité de nage réduite, tandis que celles sévèrement atteintes subissaient, en plus, une baisse de leur endurance; Ces dernières ne pouvant pas nager plus de 2 mois en tunnel. Le rapport conclut que les anguilles fortement infestées, indépendamment de leur index de reproduction, n'atteindront jamais l'aire de ponte. Autre effet inquiétant est que le parasite diminue les niveaux de résistance de l'anguille qui devient plus vulnérable aux différentes pressions environnementales. Il existe une relation très significative entre le pourcentage en oxygène dans la vessie et l'intensité de l'infestation (Blanc, 1998). En effet, la quantité d'oxygène est réduite de 65 à 11% en fonction des taux d'infestation par les parasites adultes.

La vessie gazeuse est un organe nécessaire au maintien d'une flottabilité neutre lors des variations de la pression hydrostatique induites par la plongée des poissons. Cette fonction est utile même en eau peu profonde. En effet, une plongée sous la surface de l'eau à moins de 5 mètres implique une augmentation de pression hydrostatique de 50% et une diminution correspondante de 50% du volume de la vessie gazeuse. Ce dysfonctionnement de la vessie pourrait entraîner une augmentation des dépenses énergétiques liées aux efforts musculaires supplémentaires pour se maintenir à la profondeur nécessaire aux migrations. Cela impliquerait de sérieuses conséquences lors de leurs migrations vers la mer des Sargasses.

En conditions expérimentales, Lefebvre *et al.* (2004) montrent que les anguilles ayant la vessie fortement altérée par *A. crassus* sont plus sensibles à la diminution de la concentration en oxygène, conditions fréquentes en été (juillet) lors de la montée des températures de l'eau. Une forte mortalité des anguilles dont la vessie est fortement dégénérée est suspectée en juillet (Lefebvre *et al.*, 2002b). Molnár (1994) observe, en conditions expérimentales, que les anguilles fortement parasitées meurent en premier et celles comportant moins de lésions tolèrent des niveaux d'oxygène sublétaux plus bas, pendant plus longtemps.

La mise en évidence d'un stress chez l'anguille a été caractérisée en condition expérimentale par une augmentation du niveau de cortisol (Sures *et al.*, 1999). Ce stress

pourrait être d'autant plus fort en milieu naturel lorsqu'il est combiné à des conditions environnementales défavorables (température de l'eau, pH, concentration d'oxygène, pollution et interaction entre individus). Cette réponse au stress s'aggrave, selon Gollock *et al.* (2005), en condition d'hypoxie et qu'elle est accompagnée d'activités métaboliques plus élevées.

Chez les anguilles dont la vessie n'est pas endommagée, la masse de la rate est corrélée avec la masse des parasites adultes dans le lumen (Lefebvre *et al.*, 2004). Chez les anguilles sévèrement infestées, la taille de la rate double, suggérant une réponse adaptative de l'hôte qui implique les fonctions hématologiques et immunologiques de la rate. Il est suggéré une synthèse accrue de cellules sanguines dans la rate en réponse à l'activité de succion sanguine des parasites.

Les conséquences écologiques sont considérables en raison d'un amoindrissement des capacités de nage en profondeur (diminution des réserves énergétiques et surtout vessie gazeuse non fonctionnelle) ainsi que le redoutent de nombreux auteurs (Koie, 2000 ; Boetius, 1989). Une réduction de la vitesse de nage des anguilles infestées a été démontrée par Sprengel et Luchtenberg, (1991). Ainsi, le retour des géniteurs sur les aires de ponte, dans la mer des Sargasses, pourrait se trouver gravement compromis et, avec lui, l'existence même de l'espèce *Anguilla anguilla*.

Au terme de ce travail de recherche, les différentes investigations ont montré :

- que plus de 75% des effectifs d'anguilles capturés dans les deux plans d'eau ont une taille comprise entre 37 et 57 cm.

- que l'application de l'équation reliant la longueur totale au poids total des anguilles révèle l'existence d'une allométrie minorante pour la fraction de population de Tonga durant les deux cycles ; En milieu lagunaire, l'allométrie est minorante pour l'échantillon du cycle I et majorante pour celui du cycle II.

- que les anguilles des deux plans d'eau montrent leur meilleur état d'embonpoint en automne et en hiver.

- que le nématode hématophage *Anguillicola crassus* infeste plus de 42% de la fraction de population d'anguilles du lac Tonga et moins de 7% de celle de la lagune ;

- que des signes d'infection passée, par *A. crassus*, sont relevés chez les anguilles des deux plans d'eau du fait de la présence de lésions des parois sans présence de vers dans la lumière de la vessie ; De ce fait les taux d'infestation réels des anguilles sont plus élevés et ce parasite représente un risque non négligeable pour le stock d'anguille des 2 plans d'eau.

- que les parasites rencontrés semblent subir l'influence de la température, des matières en suspension, du pH et de la salinité.

- que, comme tous les organismes aquatiques, l'anguille est composée majoritairement d'eau, de matières grasses, de protéines et d'hydrates de carbone.

- que les taux de lipides totaux enregistrés sont situés entre $19,4 \pm 0,20$ pour l'anguille du lac Tonga et $22,15 \pm 0,11\%$ pour la lagune El Mellah avec un maximum obtenu en hiver chez l'anguille d'El Mellah.

- que ces composés baissent au printemps et au niveau de chaque site avec un effet hautement significatif.

▪ que contrairement aux lipides, les taux maximum de protéines, de cendres, d'humidité et d'hydrates de carbone sont notés au printemps dans les deux sites.

▪ que l'anguille du lac Tonga semble plus riche en ces macronutriments que celle de la lagune El Mellah ce qui donne un avantage nutritionnel à l'anguille du lac Tonga du fait de sa richesse en protéines (de l'ordre de 23 %) qui la rend très compétitive avec d'autres poissons (dorade, merlan et rouget).

▪ que les hydrates de carbone montrent, au printemps, des taux obtenus de l'ordre de $1,93 \pm 0,05$ % pour l'anguille du lac Tonga et $1,55 \pm 0,07$ % pour l'anguille de la lagune El Mellah. Ainsi, du point de vue caractéristique organoleptique, l'anguille des deux plans d'eau a meilleur goût, cependant l'anguille du lac Tonga semble être meilleure.

▪ que le muscle des anguilles capturées dans les deux lacs contient 22 acides gras (15 acides gras saturés et 7 acides gras insaturés) ;

▪ que les acides gras saturés (AGS), l'acide palmitique et l'acide stéarique sont les plus représentés, mais avec une dominance de l'acide palmitique au niveau des deux sites ; mais le maximum (de l'ordre de 21,52 %) est obtenu chez l'anguille du lac El Mellah en hiver.

▪ que les acides gras insaturés (AGI) comprennent quatre acides gras mono insaturés (AGMI) et trois acides gras polyinsaturés (AGPI) ;

▪ que l'acide oléique est majoritaire et la teneur maximale est atteinte significativement chez l'anguille d'El Mellah pendant la saison hivernale et au printemps chez l'anguille du lac Tonga.

▪ qu'au niveau du lac Tonga la quantité maximale d'oméga 6 et d'oméga 3, est enregistrée en hiver (5,38% pour les omégas 6 et 2.87% pour les omégas 3) ;

▪ qu'au niveau de la lagune, les taux d'oméga 3 ne subissent pas d'effet saison ;

▪ qu'au niveau des muscles des anguilles des 2 sites, l'acide Eicosapentaénoïque (EPA) et l'acide docosahexaénoïque (DHA) sont absents ;

▪ que le calcul du rapport AGI/AGS donne des valeurs supérieures à 1 au niveau des deux sites ; ce qui montre que la chair de l'anguille est riche en acide insaturés avec une prédominance chez l'anguille du lac Tonga au printemps.

▪ que le calcul du Ratio n-3/n-6 donne des valeurs inférieures à 1 pour l'ensemble des échantillons d'anguilles utilisés, ce qui montre qu'il y a plus d'apport d'oméga 6 que d'oméga 3 (au printemps, les valeurs obtenues sont de l'ordre de 0,325 à El Mellah et 0,581 % à Tonga).

Perspectives :

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 (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 ;

⊕ De cerner le cycle d'*A. crassus* surtout en amont en identifiant les hôtes intermédiaires potentiels de chaque plan d'eau;

⊕ En ce qui concerne l'anguillicolose, il serait intéressant de réaliser des coupes histologiques sur la vessie natatoire et les viscères avoisinants (intestin, foie, etc...) afin de caractériser l'adhésion entre eux et mieux évaluer de degré de l'infestation par le nématode *Anguillicola crassus*.

⊕ Une analyse qualitative et quantitative des différents minéraux (Mg, Fer, Ca, Mn, Zn, Se et autres). Ces minéraux sont indispensables au métabolisme.

⊕ De rechercher le cholestérol, les phospholipides et les vitamines ;

⊕ De rechercher éventuellement des métaux lourds (Hg, Cd, Pb et autres), les phtalates et les cyanotoxines qui contaminent les milieux aquatiques et se retrouvent dans la chaîne alimentaire ;



- **Ackman, R.G., 1967.** Characteristics of the fatty acid composition and biochemistry of some fresh-water fish oils and lipids in comparison with marine oils and lipids. *Comp Biochem Physiol* 22:907–922.
- **Ackman, R.G. 2008a.** Fatty acids in fish and shellfish. In Chow, C.K., ed., *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications*, pp. 155-185. CRC Press, London, UK.
- **Acou A. 2006.** Bases biologiques d'un modèle pour estimer la biomasse féconde de l'anguille européenne en fonction des recrues fluviales et du contexte de croissance : approche comparative à l'échelle de petits bassins versants. Thèse de Doctorat 3e cycle, 316 p
- **Acou A., Gabriel G., Laffaille P. and Feunteun E. 2009.** Differential production and condition indices of premigrant eels (*Anguilla anguilla*) in two small Atlantic coastal catchments of France. In *Eels at the Edge: Science, Status, and Conservation Concerns* (Casselmann J.M. and Cairns D. K. eds.) pp 157-174. American Fisheries Society Symposium, 58.
- **Adam G. 1997.** L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L. 1758) : dynamique de la sous-population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques. Thèse de l'Université de Toulouse. 299 pp.
- Aksnes A, Gjerde B, et Roald SO. 1986 Biological, chemical and organoleptic changes during maturation of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 53: 7-20.
- **Alain C., Coralie H., 2013.** l'Anguille européenne, Science et gestion, Centre de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes, pp 32.
- **Altunel F. N. 1979.** Contribution à l'étude des parasites de l'anguille (*Anguilla anguilla* 1758). Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Sci. Techn. Languedoc Montpellier : 138 p.
- **Aminot, A., Chausspiéd, M. 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin Cnexo. Brest. 395 p.
- **Andersen, N.G., Alsted, N.S., 1993.** Growth and body composition of turbot (*Scophthalmus maximus*) in relation to different lipid/protein ratios in the diet. In: SJ. Kaushik et P. Luquet (Eds.) *Fish Nutrition in Practice*, Biarritz, France, INRA Editions. Les Colloques n061, 479-491.
- **Ando, S. and M. Hatano. 1986.** Biochemical characteristics of chum salmon muscle during spawning migration. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 52, 1229-1235.
- **ANONYME** "Le poisson matière première de l'industrie alimentaire", rapport IFREMER.
- **AOAC 1990.** Official methods of analysis (15th ed). AOAC. Washington, DC.
- **Aoyama J., Nishida M. et Tsukamoto K. 2001.** Molecular phylogeny and evolution of the freshwater eel, Genus *Anguilla*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 20: 450-459.
- **Aoyama J. 2003.** Origin and evolution of the freshwater eels, Genus *Anguilla*. In: Aida K., Tsukamoto K. et Yamauchi K. (Eds). *Eel Biology*. Springer-Verlag, Tokyo. Chap. 2: 1929.

- **Arzel, I, Martinez Lopez, F.X., Métailler, R., Stéphan, G., Viau, M., Gandemer, G., Guillaume, I, 1994.** Effect of dietary lipid on growth performance and body composition of brown trout (*Salma trutta*) reared in seawater. *Aquaculture*, 123, 361-375.
- **Ashworth S. T. 1994.** Possible regulation with *Anguillicola crassus*, Host-parasite system. *Parasitic diseases of Fish Samara, Publishing Limited Tresith, Dyfed*: 141-150.
- **Austreng et Krogdahl, 1987.** Food quality of cultured salmonids can be influenced. *Feedstuffs*, 31, 12-13.

B:

- **Baer J. G. et Fain A. 1957-1958.** *Bothriocephalus kivuensis n. sp.* Cestode parasite d'un barbeau du lac Kivu. *Ann. Soc. Zool. Belg.*, 88 : 287-302.
- **Bahnsawy M. H. 1989.** Variability of the growth of eel (*Anguilla anguilla*) in relation to the feeding behaviour, gonad development, and morphology in lake Jeziorak, Mazurianlake District. Thesis, Academy of Agriculture and Technology, Olsztyn, Poland.
- **Baisez A. 2009.** Optimisation des suivis d'abondances et des structures de taille de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.) dans un marais endigué de la côte atlantique: relation espèce/habitat. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse III.
- **Barbin G. P. and McCleave J. D. 1997.** Fecundity of the American eel *Anguilla rostrata* at 45° N in Maine, U. S. A. *Journal of Fish Biology*, 51: 840-847.
- **Bastrop R., Strehlow B., Jürss K. et Sturmbauer C. 2000.** A new molecular phylogenetic hypothesis for the evolution of freshwater eels. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 14: 250-258.
- **Belpaire C., De Charleroy D. et Thomas K. 1987.** Effects of restocking eels on the distribution of the Nematode *Anguillicola crassa* in Flanders, Belgium. EIFAC Working Party on Eel, Bristol, United Kingdom, 13-16 Avril.
- **Belpaire C., De Charleroy D., Thomas K., Damme Van P. et Ollevier E. 1989a.** Effects of eel restocking on the distribution of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* in Flanders, Belgium. *J. Appl. Ichthyol.*, 5, 151-153.
- **Belpaire C., De Charleroy D., Grisez L. et Ollevier F. 1989b.** Spreading mechanisms of the swimbladder parasite *Anguillicola crassus* in the European eel *Anguilla anguilla*, and its distribution in Belgium and Europe. EIFAC Working Group on Eel Porto, May 29th - June 3rd 1989, 12 p..
- **Benajiba, M. H. 1991.** Les parasites de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* L., 1758 (Poisson téléostéen) dans la région du Languedoc : Ultrastructure, Biologie et Dynamique des populations. Thèse. Université de Clermont- Ferrand II. 225 p.
- **Benajiba, M. H., P. Silan, A. Marques, et G. Bouix. 1994.** Protozoaires et métazoaires parasites de l'anguille *Anguilla anguilla* L., 1758: Structures temporelles de leurs populations dans une lagune méditerranéenne. *Annales des Sciences naturelles, Zoologie*, Paris 15:141-149.
- **Bendjedid M (PNEK) 2009.** Les Potentialités aquacoles des lacs et leurs perspectives de développement.
- **Bergé JP, Barnthan G, 2005.** Fatty acids from lipids in marine organism: molecular biodiversity, roles as biomarkers, biologically active compounds and economical

- aspects. In *Biotechnology I* ;Le Gal et Ulber R(eds) ,Adv.in.Biochem ,Engin/Biotechnol , Springer , Berlin , 96, , 49-125.
- **Bertin L. 1951.** Les Anguilles. Payot, Paris 1951.
 - **Blanc G., Bonneau S., Biagianti S. et Petter A. J. 1992.** Description of the larval stages of *Anguillicola crassus* (Nematode, Dracunculoidea) using light and scanning electron microscopy. *Aquat. Living Ressour.* 5, 307-318.
 - **Blanc, G.1998.**Anguillicola crassus,un parasite agressif introduit dans les stocks européens d'anguilles.Eaux libres:1-8.
 - **Boetius I. and Boetius J. 1967.** Eels, *Anguilla rostrata*, Le Sueur, in Bermuda. *Videnskabelige Meddelelser Fra Dansk Naturhistorisk Forening i Khobenhavn.*130: 63-84.
 - **Boetius J. 1980.** Atlantic *Anguilla*. A presentation of old and new data of total numbers of vertebrae with special reference to the occurrence of *Anguilla rostrata* in Europe. *Dana*, 1: 93-112.
 - **Boetius J. and Harding E. F. 1985.** A re-examination of Johannes Schmidt's Atlantic eel investigations. *Dana*, 4: 129-162.
 - **Bonhommeau, 2008.**Fluctuations in European eel (*Anguilla anguilla*) recruitment resulting from environmental changes in the Sargasso Sea.
 - **Bonhommeau S, Chassot E, Ri vot E .2008.** F l uctuation i n European ee l (*Anguilla anguilla*) recruit me nt resu lt i ng from e n v i ron m e ntal c ha nges i n the Sargas so Sea. *Fish Ocea nogr* 17:32–44.
 - **Borgsteede F.H.M., Haenen O.I.m.,De Bree J.et Lisitsina O.I.1999.**Parasitic infections of European eel (*Anguilla anguilla*)in the Ntherlands.*Helminthologia.*36:251-260.
 - **Borresen, 1992.**Quality and Quality Changes in Fresh Fish,proceeding of an Internationa conference ,copenhagean ,Denmark,August .Elsevier.Amsterdam,1-17.
 - **Boudjadi Z. 2010.**Etat de santé de l'anguille euroéenne *Anguilla Anguilla* peuplant deux hydrosystemes de l'extrême Nord Est Algerien.These de doctorat.Univ. Annaba 223 pages.
 - **Bradford M., 1976.***Anal. Biochem.* 72, pp 248-254.Brasseur D., Delzenne N., Henderickx H., Huyghebaert A et Kornitzer M..2004 .Recommnadation et allégations concernant les acides gras omégas 3. 108 pages.ruun A. F. 1963. The breeding of the North Atlantic freshwater-eel. *Advance in Marine Biology*, 1:137-169.
 - **Brauge.1995b** .Effect of dietary levels of lipid and carbohydrate on growth performance, body composition, nitrogen excretion and plasma glucose levels in rainbow trout reared at 8 or 18°C.277-290.
 - **Brasseur, D., N. Delzenne, H. Henderickx, A. Huyghebaert, M. Kornitzer, 2004.** Recommandations et Allégations concernant les acides gras Oméga-3.
 - **Broadhurst CL, 1998** .Rift Valley lake fish and shellfish provided brain-specific nutrition for early 1Homo. *Br J Nutr.* Jan; 79(1):3-21.
 - **Bruun A. F. 1963.** The breeding of the North Atlantic freshwater-eels. *Advances in Marine Biology*, 1: 137-169.
 - **Bruslé J. 1990.** L'anguille européenne (*Anguillaanguilla*), une espèce jugée commune jusqu'à la dernière décennie, mérite-t-elle d'acquérir aujourd'hui le statut d'espèce menacée? *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 114:61-73.
 - **Buzzi M., Bemelmans F.F., Roubos E.W. and Jenks B.G. 1997.** Neuroendocrine ã-aminobutyric acid (GABA): functional differences in GABAA versus GABAB receptor inhibition of the melanotrope cell of *Xenopus laevis*. *Endocrinology.* 138: 203-212.

C.

- **Caillot C., Morand S., MullerGraf C.M., Faliex E. et Marchand B. 1999.** Parasites of *Dicentrarchus labrax*, *Anguilla anguilla* and *Mugil cephalus* from a pond in Corcica, France. *J. Helminthol. SOC Wash.*, 66 :95-98.
- **Canestri-Trotti G. 1987.** Occurrence of the Nematode *Anguillicola crassa* in eels from the Po delta, Italy. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* 7 (5), 109-111.
- **Caron F., Adams, Bain P. et Murray A. 1986.** Essai d'un système visant à réduire la prédation des anguilles dans les engins de capture des saumoneaux. MICP. Direction de la faune aquatique.
- **Cheptel J.C., Cheptel H., 1976,** "Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments", Vol .no1, Technique et Documentation, Entreprise Moderne d'Édition, Paris.
- **Ciccotti E. 1997.** Italy. In Management of European eel fisheries. Edited by. C. Moriarty and W. Dekker. *Irish Fishery Bulletin.* pp. 91-100.
- **Colombo G., Grandi G. et Rossi R. 1984.** Gonad differentiation and body growth in *Anguilla anguilla*, L. *Journal of Fish Biology*, 24: 215-228.
- **Combes C. 2005.** Interaction durables. Ecologie et evolution du parasitisme. Masson, Paris.
- **Connell J.J., 1961,** "The relative stabilities of the skeletal-muscle myosins of some animals", *Biochem Journal*, 80, pp. 503-509, cité par DAVIES.
- **Cooper A. R. 1919.** North American pseudophyllidean cestodes from fishes. *Illinois Biological Monographs*, 4(4), 1-243.
- **Corraze G, Kaushik S. 1996.** Les lipides des poissons marins et d'eau douce. OCL : 111-5. Cowey, C.B., J.R. Sargent. *Lipid nutrition in fish. Comp Biochem Physiol Part B.* 57:269-273.
- **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.
- **Cowey CB, Sargent JR, 1993.** Lipid nutrition in fish, *Comp Biochem Physiol Part B*, 57, 269-273.
- **Crawford. 1999.** Lipids. Evidence for the unique function of docosahexaenoic acid during the evolution of the modern hominid brain. 34 Suppl: S39-47.

D.

- **Daverat F., Limburg K. E., Thibault I., Shiao J. C., Dodson J. J., Caron F., Tzeng W. N., Iizuka Y. et Wickström H. 2006.** Phenotypic plasticity of habitat use by three temperate eel species, *Anguilla anguilla*, *A. japonica* and *A. rostrata*. *Marine Ecology Progress Series*, 308 : 231-241.

- **De Charle roy D., Grisez L., Thomas K., Belpaire C. and Ollevier F. 1988.** The life cycle of *Anguillicolacrassus*. Diseases of Aquatic Organisms, 8:77-84.
- **De Charleroy D., Thomas K., Belpaire C. et Ollevier F., 1989.** The viability of free living larvae of *Anguillicola crassus*. J. Appl. Ichthyol. 5: 154–156.
- **Deelder C. L. 1985.** Synopsis of biological data on the eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). FAO Fisheries Synopsis No. 80. Revision 1. 73 p.
- **Dekker W. 2003b.** Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla Anguilla*, Fisheries Management and Ecology, 10: 365-376.
- **Dekker, W. 2000b.** Eels in crisis. ICES Newsletter, 40: 10-11.
- **DeLigny W. et Pantelouris E. M. 1973.** Origin of the European eel. Nature, 246:518-519.
- **Desaunay Y. et Guérault D. 1997.** Seasonal and long-term changes in biometrics of eel larvae: a possible relationship between recruitment variation and North Atlantic ecosystem productivity. Journal of Fish Biology, 51: 317-339.
- **Di Cave D., Berrilli F., De Liberato C., Orecchia P. et Kennedy C.R. 2001.** Helminth communities in eels *Anguilla anguilla* from Adriatic coastal lagoons in Italy. Journal of Helminthology, 75 : 7-14.
- **Djebari N. et Bensouilah M. 2005.** Les parasites de poissons Téléostéens peuplant un écosystème lagunaire situé dans le Nord Est algérien; 8^{èmes} journées Tunisiennes des Sciences de la Mer; Hammamet du 16 au 19 décembre 2006.
- **Djebari N, Boudjadi Z, Bensouilah M, 2009.** L'infestation de l'anguille *Anguilla anguilla* L., 1758 par le parasite *Anguillicola crassus* Kuwahara, Niimi & Itagaki, 1974 dans le complexe de zones humides d'El Kala (Nord-Est algérien), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, n°31 (1) ,45-50 (b).
- **Djebari N. 2012.** Biologie et parasitismes de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* peuplant le complexe de zones humides du PNEK. These de doctorat. Univ. Annaba 223 pages.
- **Djebari N, Hamza I, Ladjama I, Kouachi N, Choukriand B, Bensouillah M. 2015.** Environmental Parameters and Temporal Dynamics of *Anguillicoloides crassus* in Tonga Lake and Mafrag estuary (North-Est Of Algeria), Research Journal Of Fisheries and hydrobiology, 10 (14), 147-156 (a).
- **Duchateau, G., M.Florkin, 1959.** Sur la trehalosemie des insectes et sa signification. Arch. Insect Physiol. Biochem., 67: 306-314.
- **Dufour S. and Fontaine Y.A. 1985.** The reproductive migration of the European Eel (*Anguillaanguilla*) - the probable importance of hydrostatic pressure in stimulation of the gonadotropic function. Bulletin de la Société Zoologique de France, 110:291-299.
- **Dupin H.J.L., Malewiak M.J., Leynaud-Rouaud C., Berthier A.M. 1992:** Alimentation et Nutrition Humaines, Editions ESF..
- **Dupont F. 1984.** Biologie des populations de *Bothriocephalus claviceps*, cestode, *Pseudophyllidea*, parasite de l'anguille européenne *anguilla anguilla*. Thèse Doctorat 3^e cycle, 199p.
- **Dupont F. et Gabrion C. 1986.** Approche expérimentale du rôle de l'hôte paraténique dans la circulation du parasite *Bothriocephalus claviceps* Goeze, 1782 (Cestoda, Pseudophyllidea). *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*, 61, 423–429.
- **Dupont F. et Gabrion C. 1987.** Dynamique de populations de *Bothriocephalus claviceps* Goeze, 1782 (Cestoda, Pseudophyllidea), parasite de l'Anguille *Anguilla anguilla* L. en Camargue. Vie Milieu, 37 (2) : 123-131.
- **Dupont F. et Petter A. J. 1988.** Note ichtyologique : *Anguillicola*, une épizootie plurispécifique en Europe, apparition d'*Anguillicola crassa* (Nematoda,

- Anguillicolidae) chez l'anguille européenne *Anguilla anguilla* en Camargue, Sud de la France. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 308, 38-41.
- **Durif C. 2003.** La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*: Caractérisation des fractions dévalantes, phénomènes de migration et franchissement des obstacles. Doctorat de l'Université en Ecologie Aquatique, Université de Toulouse II, 357 pp.
 - **Dyer W.J., 1962,** uFish proteins with special reference to freezing" in "Fish as Food", Borgstrgm G., Ed. Acad. Press, New-York, vol.nol,pp. 27S-32B, cité par SAINCLIVIER.

E :

- **EELREP 2005.** Estimation of the reproduction capacity of European eel. Final report, EU contract Q5RS-2001-01836, 272p.
- **El Hilali M., Yahyaoui A. Sadak A., Maachi M. et Taghy Z. 1996.** Premières données épidémiologiques sur l'anguillicolose au Maroc. *Bull. Fr. Pêche Piscic*. 340 : 57-60.
- **El Hilali M. 2007.** L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758) dans le Bas-Sebou : Biologie et infestation par *Anguillicola crassus*. These de doctorat, Université Mohamed V, Rabat, Maroc, 201p.
- **Elie P. 1979.** Contribution à l'étude des montées de civelles d'*Anguilla anguilla* L. (poisson téléostéen anguilliforme) dans l'estuaire de la Loire: pêche, écologie, écophysiole et élevage. Thèse de 3ème cycle de l'Université de Rennes. 372 p.
- **Elie P., Lecomte-Finiger R., Cantrelle R. et Charlon N. 1982.** Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla*. *Vie et Milieu*, 32(3): 149-157.
- **Elie P. et Rigaud C. 1984.** Etude de la population d'anguilles de l'estuaire et du bassin versant de la Vilaine; pêche, biologie, écologie. Examen particulier de l'impact du barrage d'Arzal sur la migration anadrome (civelle). Tome I, II et III. Rapport CEMAGREF de Bordeaux - Faculté des sciences de Rennes – URFDAAPP.
- **Elie P. et Gérard P. 2009.** Effets des micropolluants et des organismes pathogènes chez l'Anguille européenne *Anguilla anguilla* L. 1758. Collection Etude CEMAGREF N°128.
- **EL Oudiani, S et Missaoui H. 2013(a).** Oil Soluble Vitamins and Fatty Acids Profile of Smoked European Eel Fillets. *ADVANCES IN BIORESEARCH* Volume 4 [1] March 2013: 86 -91.
- **EL Oudiani, S et Missaoui H . 2013(b).** Seasonal Variation of Fatty Acids Composition in European Eel Muscles from the North East of Tunisia: Bizerte Lagoon. *Advances in Bioresearch Adv. Biores.*, VO 14 (3) September 2013: 14-21©.
- **Expertise lac.** MPRH Fonctionnement des lac mellah, oubaira, Tonga ONDP. 2004 P17.19.184.185.186.

F :

- **Facey D. E. and LaBar G. W. 1981.** Biology of the American eels in Lake Champlain, Vermont. *Transactions of the American Fisheries Society*, 110: 396-402.

- **Fahy, E., Subramaniam, S., Brown, A.H., Glass, C.K., Merrill Jr., A.H., Murphy, R.C., Farkas, T., 2005.** A possible explanation for the differences in the fatty acids composition of fresh water and marine fishes. *Amnis Biol Tihany Hung.* 38:143–152.
- **FAO.2014.** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture-possibilité et défis-Sofia.
- **Farkas T, A.1971.** Possible explanation for the differences in the fatty acids composition of fresh water and marine fishes. *Amnis Biol Tihany Hung,* 38, 143–152.
- **Fauconneau, B., Laroche, M., 1995.** Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout. *Aquaculture,* 133: 257-274.
- **Fazio G., Lecomte-Finiger R., Bartrina J., Moné H. et Pascal P. 2005.** Macroparasite community and asymmetry of the yellow eel *Anguilla anguilla* in Salses-Leucate lagoon, Southern France. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 378-379: 99-113.
- **Fazio G. 2007.** Swimbladder nematodes (*Anguillicoloides crassus*) disturb silvering in European eels (*Anguilla anguilla*). *Journal of Parasitology,* 98: 695-705.
- **Feunteun E., et Marion L, 1994.** Impact of heron (*Ardea cinerea*) on fish communities : the case study of the main European colony. *Hydrobiologia,* 279/280:327-344.
- **Feunteun E., Acou A., Laffaille P. and Legault A. 2000.** European eel (*Anguilla anguilla*): prediction of spawner escapement from continental population parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 57: 1627-1635.
- **Feunteun E. 2002.** Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. *Ecological Engineering,* 18: 575-591.
- **Feunteun E., Laffaille P., Robinet T., Briand C., Baisez A., Olivier J.M. et Acou A. 2003.** A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels. Towards a general theory. In: Aida K, K. Tsukamoto, K. Yamauchi (eds) *Eel Biology.* SpringerVerlag, Tokyo, pp. 191-213.
- **Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H., 1957.** A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissue. *J. Biol. Chem.,* 226, pp 497-509.
- **Folkvord A. et Mosegaard H. 2002.** Croissance et analyse de la croissance. In: Panfili, J., dePonctual, H., Troadec, H., Wright, P.J. (Eds.), *Manuel de sclérochronologie des poissons.* Co-édition Ifremer-IRD, pp. 146-166.
- **Fontagné-Dicharry & Médale, 2010.** Les lipides des poissons d'aquaculture et leurs facteurs de variation. *Nutrition, aquaculture et génomique,* VOL. 17 N° 4 Juillet-Aout .209-213.
- **Fontaine M. 1975.** Physiological mechanisms in the migration of marine amphihaline fish. *Advances in Marine Biology,* 13: 241-355.
- **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 ? *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Séries III-Sciences de la Vie,* 294 : 809811.
- **Fontaine Y.A. 1994.** L'argenture de l'anguille: Métamorphose, Anticipation, Adaptation. *Bulletin Français de la Pêche et Pisciculture,* 335 : 171-185.
- **Frost, W. E. 1950.** The age and growth of eels (*Anguilla anguilla*) from the Windermere catchment area. *Journal of Animal Ecology,* 14 (1): 26-36.



- **Gargouri Ben Abdallah L. et Maamouri F. 2006.** Spatio-temporal dynamics of the nematode *Anguillicola crassus* in Northeast Tunisian lagoons. C.R. Biologies, 329:785-789.
- **Gascuel D. 1985.** Contribution à l'étude écologique des estuaires du littoral atlantique français: la faune accompagnatrice de la civelle. Thèse Doctorat-Ingénieur Université de Rennes I, 330 p.
- **Gascuel D. 1987.** La civelle d'Anguille dans l'estuaire de la Sèvre Niortaise. Biologie, Ecologie, Exploitation. Les publications du département d'halieutique (4/1) : 559 p.
- **Ghazalia, N., Dhouha Boussoufaa, C.Juan, Navarro and Mhamed El Cafsia, 2013.** Lipid and fatty acid variations in muscle tissues of the 'yellow' stage of the European eel (*Anguilla anguilla*) during short-term adaptation to freshwater and seawater under food deprivation. Marine and Freshwater Behaviour and Physiology .Vol. 45, No. 6, 385–395.
- **Gibart B. et Nielsen T. 1985.** Recherches sur la nutrition des juveniles de l'anguille (*Anguilla anguilla*, 1758). Conditionnement alimentaire et croissance en circuit fermé, thèse de 3eme cycle, institut national polytechnique de Toulouse, 323p.
- **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.
- **Gjedrem. 1983.** Control of growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Volume 100, Issues 1–3, 1 January 1992, Pages 299-320.
- **Godfrey H. 1951.** A report on the eel investigation for 1950-51. Fisheries Research Board of Canada, Manuscript Reports of the Biological Stations No. 439. 38p.
- **Goldsworthy A.C., Mordue W & Guthkelch J. 1972.** Studies on insect adipokinetic hormone. Gen. Comp. Endocrinol. 18:306-314.

- **Gollock M. J., Kennedy C. R. and Brown J. A. 2005.** Physiological responses to acute temperature increase in European eels *Anguilla anguilla* infected with *Anguillicolacrassus*. Diseases of Aquatic Organisms, 64:223-228.

- **Granath W.O.J.R. et Esch G.W. 1983.** Temperature and other factors in regulating infrapopulation densities and composition of *Bothriocephalus acheilognathi* in *Gambusia affinis*. Journal of Parasitology, 69:1116-1124.
- **Grassi B. 1896.** Metamorphosi dei mureinoidi. In Ricerche sistematiche ed ecologiche (Iena) G. Fisher ed. P 77-105. In Bertin 1951.
- **Greene et Selivonchick, 1987.** Fatty Acids in Foods and Their Health Implications, Second Edition. Pages 113-130.

- **Guerault D., Lecomte R., Desaunay Y., Biaganti S., Beillois P. et Grellier P. 1991.** The glass-eel arrivals in the Vilaine estuary (Northern Biscay Bay) through the year 1990: demographic features and the early life history. EIFAC, Working Party on Eel, Dublin (Irlande), 289, ronéo.
- **Gunstone, F.D. 1999.** Fatty acid structure. In F.D. Gunstone, J.L. Harwood and F.B. Padley, eds. *The Lipid Handbook*, Ed Second Edition, Chapman and Hall, London, UK. pp. 1-19.

H:

- **Haard N.F., 1992.** Control of chemical composition and food quality attributes of cultured fish. *Food Research International*, 25, 289-307.
- **Haraldstad O., Vollestad L.A. and Jonsson B. 1985.** Descent of European silver eels, *Anguilla anguilla* L., in a Norwegian watercourse. *Journal of Fish Biology*, 26: 37-41.
- **Hedgepeth M. Y. 1983.** Age, growth and reproduction of American eels, *Anguillarostrata* (Le Sueur), from the Chesapeake Bay area. M. A. Thesis. The College of William and Mary. 60 p.
- **Helfman G. S. 1984a.** Diel distribution and activity of American eels (*Anguilla rostrata*) in a cave-spring. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43: 1595-1605.
- **Helfman G. S. 1995.** Spinning for their supper. *Natural History*, 104(5): 26-29.
- **Henderson, RJ et Tocher, D.R. 1987.** The lipid composition and biochemistry of freshwater fish. *Prog. Lipid Res.*, 26, 281-347.
- **HMSO. 1994.** Nutritional aspects of cardiovascular disease .Report of the Cardiovascular Review Group of the committee on Medical Aspects of food Policy, London.
- **Höglund J., Andersson J., Wickström H., Reizenstein M. 1993.** The distribution of *Anguillicola* in Sweden and its association with thermal discharge areas. *Irish Fisheries Investigations series A (Freshwater)* 36: 143–150.
- **Holmgren K., Wickstrom H. and Clevestamp P. 1997.** Sex-related growth of European eel, *Anguilla anguilla*, with focus on median silver eel age. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 2775-2781.
- **Hui Hong & Hongbing Fan., Hang Wang, Han Lu, Yongkang Luo, Huixing Shen, 2015.** Seasonal variations of fatty acid profile in different tissues of farmed bighead carp (*Aristichthys nobilis*). *J Food Sci Technol* (February) 52(2):903–911.
- **Hulet W. H. et Robins C. R. 1989.** The evolutionary significance of the leptocephalus larva. In: Böhlke EB (ed) *Fishes of the Western North Atlantic*, Vol 2. Sears Foundation for Marine Research, New Haven, p 669-677.
- **Hurley D. A. 1972.** The American eel (*Anguilla rostrata*) in Eastern Lake Ontario. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 29: 535-543.
- **Huth, P.J. 2007.** Ruminant *trans* fatty acids: composition and nutritional characteristics. In List, G.R., Kristchevsky, D. and W.M.N.Ratnayake, eds. *Trans fats in foods*, pp.97-126. AOCS Press, Urbana, IL.
- **Hvidsten N.A. 1985.** Yield of silver eel and factors affecting downstream migration in the stream Imsa, Norway. *Inst. Fresh. Res.*, 62: 75-85.

I:

- **IUPAC-IUB Commission on Biochemical Nomenclature. 1978.** The nomenclature of lipids (Recommendations, 1976). *Biochem. J.*, 171: 21-35.

J :

- **Jacquot R., 1961**, "Organic constituents of fish and other aquatic animal food" in "Fish as food", BORGSTROM (G), Ed. Acad. Press, New-York, vol.n01, pp. 146-192, cité par SAINCLIVIER.
- **Jarrol E.L.1979**.Population biology of *Bothriocephalus rarus* Thomas (1937) in the red-spotted newt. *Notophthalmus viridescens* Rat.Parasitology.79:183-193.
- **Jenkins R. E. and Jenkins D. J. 1980**. Reproductive behavior of the Greater redhorse,*Moxostoma valenciennesi*, in the Thousand Islands Region. Canadian Field-Naturalist, 94(4): 426-430.
- **Johnson S. K., Fries L. T., Williams J. et Huffman D. G. 1995**. Presence of the parasitic swin bladder nematode, *Anguillicola crassus*, in Texas aquaculture. World aquaculture, 26: 35-36.

K :

- **Kanazawa, A., Teshima, S.I., Ono, K., 1979**. Relationship between essential fatty acid requirements of aquatic animals and the capacity for bioconversion of linolenic acid to highly unsaturated fatty acids. Comp. Biochem. Physiol., 63B, 295-298.
- **Kara H, 2012**. Freshwater fish diversity in Algeria with emphasison alien species, Eur J Wildl Res, 58, 243– 253.
- **Kaushik, S.I., 1997**. Nutrition-Alimentation et composition corporelle chez le poisson. Cah. Nutr. Diet. 32, 100-106.
- **Kennedy C. R. 1983**. A checklist of British and Irish freshwater fish parasites with notes on their distribution. J. Fish Biol. 6: 613–644.
- **Kennedy C. R. et Fitch D. J. 1990**. Colonization, larval survival and epidemiology of the nematode *Anguillicola crassus*, parasitic in the eel, *Anguilla anguilla*, in Britain. J. Fish Biol. 36:117-131.
- **Kinsella J.E., Lokesh B. and Stone R.A., 1990**. Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids and amelioration of cardiovascular disease: Possible mechanism. *American Journal of Clinical Nutrition*. 52:1-28.
- **Kirk R.S., Kennedy C.R. & Lewis J.W. 2000a**. Effect of salinity on hatching, survival an infectivity of *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoiea) larvae. *Dis. Aquat.Organ*. 40,211-218.
- **Kirk R. S. 2003**. The impact of *Anguillicola crassus* on European eels. Fish. Manag. Ecol. 10 (6): 385-394.
- **Klein Breteler J. G. P.; Dekker W. and Lammens E. H. R. R. 1990**. Growth and productionof yellow eels and glass eels in ponds. Int. Revue ges. Hydrobiol., 75 (2): 189-205.
- **Knopf K., Wurtz J., Sures B., et Taraschewski H. 1998**. Impact of low water temperature on the development of *Anguillicola crassus* in the final host *Anguilla anguilla*. Dis Aquat Organ, 33(2):143-149.

- **Koie M. 1988a.** Parasites in european eels, *Anguilla anguilla* (L.) from Danish freshwater, brackish and marine localities. *Ophelia* 29, 93-118.
- **Koie M. 1988b.** Parasites in eels, *Anguilla anguilla* (L.) from eutrophic lake Esrum. *Acta parasitol. Pol.* 33, 89-100.
- **Koie M. 2000.** Life cycle and seasonal dynamics of *Cucullanus cirratus* O.F. Müller, 1777 (Nematoda, Ascaridida, Seuratoidea, Cucullanidae) in Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Can. J. Zool.* 78(2): 182–190.
- **Koops H. et Hartmann F. 1987.** Infection of eels from different regions with *Anguillicola*. EIFAC Working Party on Eel, Bristol, 13th-16th april 1987, 7 p.
- **Kushnirov D. et Degani G. 1995.** Sexual dimorphism in yellow European eels, *Anguilla anguilla* (L.). *Aquaculture Research*, 25: 409-414.

L :

- **Ladjama I. 2010.** The parasitic Eel (*Anguilla Anguilla*) captured Tonga in the lae and laagoon El Mellah. Thesis. Magister University badji-Mokhtar Annaba. 128 pages.
- **Laffaille P., Feunteun E., Acou A. et Lefeuvre J. C. 2000.** Role of European eel (*Anguilla anguilla* L.) in the transfer of organic matter between marine and freshwater system. *Verhandlungen International Vereinigung Limnologie*, 27 : 616-619.
- **Laffaille P., Acou A. et Guillouet J. 2005a.** The yellow european eel (*Anguilla anguilla*) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters. *Ecology of Freshwater Fish*, 14: 191-196.
- **Lammens E. H. R. R. and Visser J. T. 1989.** Variability of mouth width in European eel, *Anguilla anguilla*, in relation to varying feeding conditions in three Dutch lakes. *Environmental Biology of Fishes*, 26: 63-75.
- **Laroche, M., 1995.** Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout. *Aquaculture*, 133: 257-274.
- **Larsson. 1980.** Factors required for induction of T-cell growth. 14; 283(5748):664-6.
- **Lauritzen, P., H.S.Hanse, M.H. Jorgensen, et K.F.Michaelsen, 2001:** The essentiality of long chain (n-3) fatty acids in relation to development and function of the brain and retina. *Progress in lipid .Research*, 40; 1-94.
- **Lecomte-Finiger, R., 1983.** Situation actuelle des methodes d'évaluation de l'âge de l'anguille, *Anguilla anguilla*. in : BAGLINIERE, J.L., CASTANET, J., CONAND, F. et MEUNIER, F.J. Eds. *Tissus durs et âge individuel des vertébrés*, Colloque National, Bondy. Colloques et Séminaires ORSTOM-INRA, Paris. p. 103-108.
- **Lecomte-Finiger R. 1984.** Contribution à la connaissance de l'écobiologie de l'anguille, *Anguilla anguilla* L. 1758, des milieux lagunaires méditerranéens du Golfe du Lion : Narbonnais et Roussillon. Thèse de doctorat. Université de Perpignan. 203 p. + annexes.
- **Lecomte-Finiger R. 1992.** Métamorphose de l'anguille jaune en anguille argentée *Anguillaanguilla* L. et sa migration catadrome. *Annales de Biologie*, 29:183-194.
- **Lecomte-Finiger R., Maunier C. et Khafif M. 2004.** Les larves leptocéphales, ces méconnues. *Cybium* 28(2), 83-95.
- **Lee T. W. 1979.** Dynamique des populations d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) des lagunes du bassin d'Arcachon. Thèse 3ème cycle, Université Montpellier, France, 218 p.

- **Lefebvre F., Contournet P., Priour F., Soulas O. et Crivelli A. J. 2002b.** Spatial and temporal variation in *Anguillicola crassus* counts: results of a 4-year survey of eels in Mediterranean lagoons. Dis. Aquat. Org. 29: 181–188.
- **Lefebvre F., Acou A., Lecomte Finiger R. et Crivelli A. J. 2004.** Anguillicolosis among silver eels: a 4-year survey in 4 habitats from Camargue (Rhône delta, south of France). Bull. Fr. Pêch. Piscic. 368: 97-108.
- **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.
- **Lepage, G., C.C.R, 1986.** Direct transesterification of all classes of lipids in a one step reaction. Journ. Lipid. Res: 27, 7647-7651.
- **LeSueur C. A. 1817.** A short description of five (supposed) new species of the genus *Muraena*, discovered by Mr. Le Sueur, in the year 1816. Journal of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 1(1): 81-83.
- **Lintas C., Hirano J. et Archer S. 1998.** Genetic variation in the European eel (*Anguilla anguilla*). Molecular Biology and Biotechnology, 7: 263-269.
- **Lobón-Cerviá J., Utrilla C. G. and Rincón P. A. 1992.** Variations in the population dynamics of the European eel *Anguilla anguilla* (L.) along the course of a Cantabrian river. Ecology of Freshwater Fish, 4: 17-27.
- **Lookabaugh P. S. and P. L. Angermeier. 1992.** Diet patterns of American eel, *Anguilla rostrata*, in the James River Drainage, Virginia. Journal of Freshwater Ecology, 7(4): 425-431.
- **Loucif N., Meddour A. et Samraoui B. 2009.** Biodiversité des Parasites chez *Anguilla anguilla* Linnaeus, 1758 dans le Parc National d'El Kala – Algérie. European Journal of Scientific Research, 2 : 300-309.
- **Loukili A. et Belghyti D. 2007.** The dynamics of the nematode *Anguillicola crassus*, Kuvahara 1974 in eel *Anguilla anguilla* (L. 1758) in the Sebou estuary (Morocco). Parasitol. Res. 100: 683-686.

M:

- **Maamouri F., Gargouri L., Ould Daddah M. et Bouix G. 1999.** Occurrence of *Anguillicola crassus* (nématode, Anguillicolidae) in the Ichkeul lake (Northern Tunisia). Bull. Eur. Assoc. Fish Pathol. 19:17-19.
- **Maes E. G., Pujolar J. M., Helfmans B. et Volckaert F. A. M. 2006a.** Evidence of isolation by time in the European eel (*Anguilla anguilla* L.). Molecular Ecology, 15, 2095-2107.
- **Maes E.G., Pujolar J.M., Raeymaekers C., Joost D. J. et Volckaert F. 2006b.** Microsatellite conservation and Bayesian individual assignment in four *Anguilla* species. Marine Ecology Progress Series, 319: 251-261.
- **Mahony, M., 1986.** *Sensory Evaluation of Food: Statistical Methods and Procedures*. pp. 487.
- **Maillo P. A., Amigo J. M., Salvado H. et Gracia M. P. 2001.** Principales parasitos de La anguila europea (*Anguilla anguilla* L., 1758) en el delta del Ebro (Trragona). Ser. Monogr. ICCM, 4 : 496-499.
- **Maillo P. A., Vich M. A., Salvado H., Marqués A. et Gracia P. 2005.** Parasites of *Anguilla anguilla* (L.) from three coastal lagoons of the River Ebro delta (Western Mediterranean). Acta Parasitologica, 50(2):156-160.

- **Margoli L., Esche W., Hol Mes J.C., Kuris A.M et Schar G.A., 1982.** The use ecological terms in parasitology (Report of an adhoc committee of the American Society of parasitologiste. The journal of parasitology 1.P137-133.
- **McCleave J.D., P.J. Brickley, K.M. O'Brien, D.A. Kistner, M.W. Wong, M. Gallagher & S.M. Watson. 1998.** Do leptocephali of the European eel swim to reach continental waters? Status of the question. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 78: 285-306.
- **McCord j. W. 1977.** Food habits and elver migration of Americaineel, *Anguilla rostrata* (LeSueur), in Cooper River, South Carolina. M.Sc. Thesis, Clemson University, Clemson, Sc. 47p.
- **Meddour et al, 1999.** Biodiversité des Parasites chez *Anguilla Anguilla* Linnaeus, 1758 Dans Le Parc National D'El Kala – Algérie.

- **Meister R., G.Zwingelstein, J.Jouanneteau, 1973.** Salinité et composition en acides gras des phosphoglycerides tissulaires chez l'Anguille (*Anguilla anguilla*) [Salinity and fatty acid composition of phosphoglycerides tissues in eel (*Anguilla anguilla*)]. Ann Inst Michel P.
- **Migado (2005),** Lettre d'information n°1. L'anguille dans le bassin Gironde Garonne Dordogne.

- **Mikaelian S. 2002.** Dispositifs de surveillance de la population d'anguille. Cas particulier du Marais Poitevin.
- **Miller M. J., Kimura S., Friedland K. D., Knights B., Kim H., Jellyman D. J. and Tsukamoto K. 2003.** Review of ocean-atmospheric factors in the Atlantic and Pacific oceans influencing spawning and recruitment of anguillid eels. 231–249 p.
- **Mili S., Bouriga N., Missaoui H. and Jarboui O., 2011.** Morphometric, Reproductive *Squilla mantis* (Crustacea: Stomatopoda) in the Gulf of Gabes (Tunisia). *Journal of Life Sciences*. 5 (12): 1058-1071.

- **Molimard P., Le Quere J.L., Spinnler H. E., Oléag. 1997.** Corps gras, Lipides 4, 301p.
- **Molnar K. 1994.** Effect of decreased oxygen content on eels (*A. anguilla*) infected by *A. crassus* (Nematoda, Dracunculoidea). Acta Vet. Hungarica, 41: 349-360.
- **Moravec F. et Taraschewski H. 1988.** Revision of the genus *Anguillicola* Yamaguti, 1935 (Nematoda, Anguillicolidae) of the swimbladder of eels, including descriptin of two new species. *A. novaezelandiea* sp. N. and *A. papernai* sp. N. Folia Parasitologica, 35: 125-146.
- **Moriarty C. 1986.** Riverine migration of young eels *Anguilla anguilla* (L.). Fisheries Research, 4: 43-58.
- **Moriarty C. 1987.** Factors influencing recruitment of the Atlantic species of anguillid eels. Am. Fish. Soc. Symp. 1: 483-491.
- **Moriarty C. et Dekker W. (Eds.) 1997.** Management of the European eel. Fisheries Bulletin, 15: 110 pp.
- **Moser, H.W., A.B. Moser, 1991.** Measurement of very long fatty acids in plasma. Techniques in Diagnostic Human Biochemical Genetics: A Laboratory Manual. Willey-Liss, Inc: 177-191.
- **Mounaix B. 1992.** Intercalibration et validation des méthodes d'estimation de l'âge de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.). Application au bassin versant de la Vilaine, Bretagne. Thèse ENSA, Rennes. 146 p.
- **MPRH, 2004.** Rpport expertise sur les lacs du complexe des zones humides d'el kala.

N :

- **Nassour et Léger, 1989.** Effects of sexual maturation and feeding level on fatty acid metabolism gene expression in muscle, liver, and visceral adipose tissue of diploid and triploid rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Volume 179, January 2015, Pages 17–26.
- **Neumann W. 1985.** Schwimmblasen parasit *Anguillicola* bei Aalen. Fischer und Teichwirt, 11, 322.
- **Nie P. et Kennedy C.R. 1991.** Population biology of *Proteocephalus macrocephalus* (Creplin) in the European eel, *Anguilla anguilla*, in two small rivers. Journal of fish Biology, 38, 921-927.
- **Nilo P. et Fortin R. 2001.** Synthèse des connaissances et établissement d'un programme de recherche sur l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). Université du Québec à Montréal, Québec.
- **Nimeth K, Zwerger P, Wurtz J, Salvenmoser W, Pelster B .2000.** Infection of the glass-eel swimbladder with the nematode *Anguillicola crassus*. Parasitology 121:75–83.
- **Nyman L. 1972.** Some effects of temperature on eel (*Anguilla*) behavior. Report of the Institute of Freshwater Research Drottningholm. 52:90-102.

O :

- **O'Connor J.F. 1971.** Ecology of brook trout, American smelt and American eel in two lakes in the Mtamek River system, Quebec. M.Sc. Thesis. University of Waterloo, Ontario, 84p.
- **Ogden J. C. 1970.** Relative abundance, food habits, and age of the American eel, *Anguilla rostrata* (LeSueur), in certain New Jersey streams. Transactions of the American Fisheries Society, 99: 54-59.
- **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.
- **Okamura A., Zhang H., Yamada Y., Utoh T., Mikawa N., Horie N., Tanaka S. & Motonobu T., 2001.** Identification of two eel species, *Anguilla japonica* and *A. anguilla* by discriminant function analysis. Nippon Suisan Gakkaishi, 67 (6): 1056-1060.
- **Okland H.M.W., L.S. Stoknes, J.F. Renne, M. Kjerstad et M. Synnes, 2005.** Proximate composition fatty acid and lipid class composition of the muscle from deep-sea teleosts and elasmobranchs. Comp. Biochem. Physiol., 14 OB: 437-443.
- **Ouel M.L., Beddih A., El Cafsi B., Marzouk K., Zarrouk M., Romdhane S., 2004.** Etude comparative des lipides de la boutargue du mullet à grosse tête (*Mugil cephalus*) de l'océan atlantique : Nouakchott (Mauritanie) et de la mer méditerranée : Tunis (Tunisie). Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, Vol. 31, pp 69-74.

P :

- **Paggi L., Orecchia P., Minervini R. et Mattiucci S. 1982.** Occurrence of *Anguillicola australiensis* Johnston and Mawson, 1940 (Dracunculoïdea: Anguillicolidae) in *Anguilla anguilla* in Lake Bracciana. *Parasitologia Roma: Societa Italiana de Parassitologia*. Dec. 1982. V. 24 (2-3): 139-144.
- **Palstra. 2007.** Swimming physiology of European silver eels (*Anguilla anguilla* L.): energetic costs and effects on sexual maturation and reproduction. 36(3): 297–322.
- **Panfili J., Ximenes M.C., Crivelli A.J. et Do Chi T. 1992.** Validation de l'âge de l'anguille européenne dans les lagunes méditerranéennes françaises (Camargue) : résultats préliminaires. In : Baglinière, J.L., Castanet, J., Conand, F. et F.J. Meunier. Eds. Tissus durs et âge individuel des vertébrés, Colloque National, Bondy. Colloques et Séminaires ORSTOM-INRA, Paris. p. 119-127.
- **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. 1982b.** Changes in the skin-scale complex with sexual maturation in the European eel, *Anguilla anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology*, 21: 549-561.
- **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.
- **Pedersen M.I. and Dieperink C. 2003.** Fishing mortality on silver eels, *Anguilla anguilla* (L.), in Denmark. *Dana*, 12:77-82..
- **Perlmutter A. 1951.** An aquarium experiment on the American eel as a predator on larval lampreys. *Copeia*, 2: 173-174.
- **Petter A., Fontaine Y. A. et Le Belle N., 1989.** Étude du développement larvaire de *Anguillicola crassus* (Dracunculoidea, Nematoda) chez un cyclopidae de la région parisienne. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.* 64: 347–355.
- **Petter A. J. et Le Bel J. 1992.** Two new species in the genus *Cucullanus* (Nematoda-Cucullanidae) from the Australian region. *Memorias do Instituto Oswaldo Cruz*, 87: 201–206.
- **Pfeiler E. 1999.** Developmental physiology of elopomorph leptocephali. *Comparative Biochemistry and Physiology A- Molecular and Integrative Physiology*, 123 : 113-128
- **Piclet G., 1987,** "Le poisson aliment : composition, intérêt nutritionnel", *Cahiers de Nutrition et Diététique*, XXII, n04, pp. 317-336.
- **Piggott G.M. and Tucker B.W. 1990.** Effects of technology on nutrition. New York: Marcel Dekker. Liver in Japanese catfish (*Silurus asotus*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*. 129:185-195.

Q :

- **Quadroni .2012** .Contamination, parasitism and condition of *Anguilla anguilla* in three Italian stocks. Springer Science+Business Media New York.

R :

- **Raetz, C.R.H., Russell, D.W., Seyama, Y., Shaw, W., Shimizu, T., Spener, F., van Meer, G., VanNieuwenhze, M.S., White, S.H., Witztum, J.L. & Dennis, E.A. 2005.** A comprehensive classification system for lipids. *J. Lipid Res.*, 46: 839-861
- **Rahou I., Melhaoui M., Lecomte-Finiger R., Morand S., et Chergui H. 2001.** Abundance and distribution of *Anguillicola crassus* (Nematoda) in eels *Anguilla anguilla* from Moulouya Estuary (Morocco). *Helminthologia*, 38(2):93-97.
- **Rapport d'une consultation d'experts :** Graisses et acides gras dans la nutrition humaine. Etude FAO et Alimentation et Nutrition ISSN 1014-2908 ; 91. 10 – 14 novembre 2008 Genève. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome 2014.
- **Rapport de contrat INRA/EDF, 2005.** 35 pages + annexes.
- **Reinitz G, 1981.** Relative effect of age, diet and feeding rate on the body composition of young rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Aquaculture*, 35, 19-27.
- **Reinitz G, 1983.** Orme and F.N.Hitzel. Variations of body composition and growth among strain of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Trans. Fish. SOC.* 108, 204-207.
- **Ricker W. E. 1973.** Linear regression in fishery research. *Journal of Fisheries Research. Bd. Canada*, (3): 409-434.
- **Ringuelet, R 1943.** Revision de los argulidos argentinos (crustacé, branchiura) con catalogo de catalogo de las especies –Trv Mus plata (n.s) *Zooln3(19)* :43-49, pls 1-13.
- **Robinet T. and Feunteun E. 2002.** Sublethal effects of exposure to chemical compounds: A cause for the decline in Atlantic eel. *Ecotoxicology*, 11: 265-277.

S :

- **Sadler K. 1979.** Effects of temperature on the growth and survival of the European eel, *Anguilla anguilla*, L. *Journal of Fish Biology*, 15: 499-507.
- **Sargent I, Henderson RJ, et Tocher DR. 1989.** The lipids. *In: Fish Nutrition. IE. Halver (Eds), Academic Press, nc, 153-218.*
- **Sargent J, Bell G, McEvoy L, Tocher D, and Estevez A, 1999.** Recent Developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* 177, 191-199.
- **Sargent, I., R.J. Henderson, D.R. Tocher, 1993.** -The lipid. *In: Fish Nutrition (Halver J., ed), pp. 153-218. New- York: Academic Press. ademic Press, nc, 1989, 153-21.*

- **Sauvaget B., Fatin D. et Briand C. 2003.** Contamination par *Anguillicola crassus* de cinq populations d'anguilles (*Anguilla anguilla*) du littoral de Bretagne Sud (France). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 368 : 21-26.
- **Schippers C., Booms G.H.R. & Boon J.H. 1991.** Susceptibility of *Anguillicola crassus* in the swimbladder of European Eel (*Anguilla anguilla*) to high water temperatures. *Bull. Europ. Ass. Fish Pathol.*, 11, 2, 92-95.
- **Schmidt J. 1906.** Contribution to the life history of the eel (*Anguilla vulgaris*, Flem). Rapport des Procès Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer, 5 : 137-264.
- **Schmidt J. 1922.** The breeding places of the eel. *Phil. Trans. R. Soc. London*, 211 : 179-208.
- **Scholz T. 1997.** Life-cycle of *Bothriocephalus claviceps*, a specific parasite of eels. *Journal of Helminthology*, 71, 241–248.
- **Schulz M., A.D. Liese, E.J. Mayer-Davis, R.B. D'Agostino Jr, F. Fang, K.C. Sparks, and 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.
- **Sérot. 1998.** Culture of Cold-Water Marine Fish.
- **Sikorski Z.E., A. Lolakowska and B.S. Pan, 1990.** The nutritive composition of the major groups of marine food organisms In Sikorski Z. E. (Ed.) (1990). *Resources Nutritional Composition and Preservation* (Boca Raton, Florida: CRC Press-Inc): 30-52.
- **Simopoulos. 2001.** The Mediterranean diets: What is so special about the diet of Greece? The scientific evidence. *Nutr. Nov*; 131(11 Suppl):3065S-73S.
- **Sinha V.R.P. et Jones J.W. 1966.** On the sex and distribution of the freshwater eel (*Anguilla Anguilla*). *Journal of Zoology*, London: 150.371-385.
- **Sinha V. R. P. and Jones J. W. 1967a.** On the age and growth of the freshwater eel (*Anguilla anguilla*). *Journal of Zoology*, 153: 99-117.
- **Sinha V. R. P. and Jones J. W. 1975.** On the food of the freshwater eels and their feeding relationships with the salmonids. *Journal of Zoology*, 153 : 119-137.
- **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.
- **Smyth J.D. 1952.** Studies on tapeworm physiology. VI. Effect of temperature on the maturation in vitro of *Schisyocephalus solidus*. *J. Exp. Biol.* 29:304-309
- **Sorensen P.W. and Pankhurst N.W. 1988.** Histological changes in the gonad skin, intestine and olfactory epithelium of artificially-matured male american eels, *Anguilla rostrata*. *Journal of Fish Biology*, 32: 297-307.
- **Sprengel .G., Liichtenberg.H ., 1991.** Infection by endoparasites reduces maximum swimming speed of European smelt *Osmerus eperlanus* and European eel *Anguilla anguilla*. Vol. 11: 3135.
- **Strubberg A. 1913.** The metamorphosis of elvers as influenced by outward conditions. Some experiments. *Medd. Komm. Havund. Fisk.*, Copenhagen: 1-11.
- **Sures B., Knopf K. et Taraschewski H. 2001.** Development of *Anguillicola crassus* (Dracunculoidea, Anguillicolidae) in experimentally infected Balearic congers

Ariosoma balearicum (Anguilloidea, Congridae). *Diseases of Aquatic Organisms*, 39, 75–78.

- **Suzuki T.L., 1981**, "Fish and krill proteins: processing technology", Ed. Applied Sci., Publ.Ltd, London.
- **Svedäng H., Neuman E. and Wickstrom H. 1996**. Maturation patterns in female European eel: age and size at the silver eel stage. *Journal of Fish Biology*, 48: 342-351.

T

- **Tahri M. 2009**. les parasites de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* peuplant l'estuaire du Mafragh: memoir magistère .80-81-82p.
- **Tahri M. 2016**. Ecobiologie de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* peuplant le lac Oubeira (Parc National d'el Kala). These de doctorat. Univ. Annaba 267 pages.
- **Takeuchi T et Watanabe. 1978** Activity, orientation, and migration of Baltic Eel (*Anguilla anguilla* L.). *Rapp. P.-V. Réun. CIEM*, 174: 115-23.
- **Takeuchi T, Watanabe. T, Ogino, C., 1982**. Supplementary effect of lipids in a high protein diet of rainbow trout. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 44, 677-681.
- **Takeuchi, T., Kang, S.J., Watanabe, T, 1989**. Effects of environmental salinity on lipid classes and fatty acid composition in gills of Atlantic salmon. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 55, 1395-1405.
- **Tanaka H. 2003**. Techniques for larval rearing. In *Eel Biology*. Edited by. K. Aida, K. Tsukamoto and K. Yamauchi. Springer-Verlag, Tokyo. pp. 427-456.
- **Tesch F.W. 1974**. Influence of geomagnetism and salinity on the directional choice of eels. *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, 26 : 382-395.
- **Tesch F.W. 1977**. The eel. *Biology and management of anguillid eels*. London, Chapman & Hall. 434 p.
- **Tesch F.W. 1982**. Anguillidae. p. 388-437. In : Hoestlandt, H. (ed.). *The freshwaterfishes of Europe. Vol. 2. Clupeidae, Anguillidae*. AULA-Verlag, Wiesbaden, Germany. 447 p.
- **Tesch F.W. 1991**. Anguillidae. p. 388-437. In : Hoestlandt, H. (ed.). *The freshwaterfishes of Europe. Vol. 2. Clupeidae, Anguillidae*. AULA-Verlag, Wiesbaden, Germany. 447 p.

- **Tesch F. W. 1993.** The Eel Fifth Edition. Thorpe JE, Oxford, UK. .
- **Thomson, A.J., J.R.Sargent, J.M.Owen, 1977.** Influence of acclimatization temperature and salinity on (Na⁺ + K⁺) dependant adenosine triphosphatase and fatty acid composition in the gills of the eel, (*Anguilla Anguilla*). *Comp Biochem Physiol Part B.* 56:223–228.
- **Thomas and Ollevier 1992.** The food and growth of brown trout (*Salmo trutta L.*) and its feedin grelationship with the salmon parr (*Salmar salar L.*) and the eel (*Anguilla*) in the river Teify.West Wales.*Journalof Animal Ecology*,31:175-205.
- **Thomassen et Rosjo, 1989.**Different fastsin feed for salmon : influence on sensory parameters,growth rate and fatty acids in muscle and heart,*Aquaculture* ,79 (1),pp.129-135.
- **Tocher, D.R., 1993b.** Elongation predominates over desaturation in the metabolism of 18:3 n- 3 and 20:5 n-3 in turbot (*Scaphthalmus maximus*) brain astroglial cells in primary culture. *Lipids*, 28, 267-272.
- **Todd P.R. 1981.** Timing and periodicity of migrating New Zealand freshwater eels (*Anguilla spp.*). *New ZelandJournal of Marine and Freshwater Research*, 15: 225-235.
- **Tribus M., Edward C., 1971.** *Energy and Information*, p 179-188 v 225, Scientific American, September
- **Tsukamoto K., Nakai I. et Tesch F. W. 1998.** Do all freshwater eels migrate? *Nature*, 396: 635-636.
- **Tsukamoto K., Nakai I. et Tesch F. W. 2003.** Do all freshwater eels migrate? *Nature*, 396: 635-636.
- **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.
- **Tzeng W. N. and Iizuka Y. 2003.** Identification and growth rates comparison of divergentmigratory contingents of Japanese eel (*Anguilla japonica*). *Aquaculture*, 216: 77-86.



- **Van Banning P., Heermans W. et Van Willigen J. A. 1985.** *Anguillicola crassa*, een nieuwe aalparasiet in de Nederlandse wateren. *Visserij.*, 38, 237-240.
- **Van Beneden., 1858:** Monogenea in the light of new evidence and their position among platyhelminths. *Angew Parasitological.* (3):149-167.
- **Van den Thillart G., van Ginneken V., Korner F., Heijmans R., van der Linden R. et Gluvers A. 2004.** Endurance swimming of European eel. *Journal of Fish Biology*, 65:312-318.
- **Verreault G.and Dumont P. 2003.** An estimation of American eelescapement from the Upper St. Lawrence River and LakeOntario in 1996 and 1997, *in D.A. Dixon (éd.), Biology,Management, and Protection of Catadromous Eels, American Fisheries.*
- **Vøllestad L.A., JonssonB., HvidstenN.A., NaesjeT.F., Haraldstad O. and Ruud-HansenJ.1986.** Environmentalfactors regulating the seaward migration of European silver eels (*Anguilla anguilla*). *Canadian Journal ofFisheries and Aquatic Sciences*, 43: 1909-1916.

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



- **Walsh P.J., Foster G.D. and Moon T.W. 1983.** The effects of temperature on metabolism of the American eel. *Anguilla rostrata*: compensation in the summer and torpor in the winter. *Physiological Zoology*, 56: 532-540.
- **Wariaghli F., Kammann, Hanel R. Nagel F. Wysujack K. & A Yahyaoui. 2013a.** - Contamination by biliary PAH metabolites in eel (*Anguilla anguilla* L.) in Sebou and Loukkos estuaries (Morocco). *African Journal of Aquatic Science*. SOUMIS.
- **Watanabe T. 1982.** Lipid nutrition in fish. *Com. Biochem. Physiol.*, 73B, 3-15.
- **Watanabe S., Aoyama J., Nishida M. et Tsukamoto K. 2005.** A molecular genetic evaluation of the taxonomy of eels of the genus *Anguilla* (Pisces : Anguilliformes). *Bulletin of Marine Science*, 76: 675-690.
- **Wedemeyer G.A.R., R.L. Saunders & W.C. Clarke. 1980.** Environmental factors affecting smoltification and early marine survival of anadromous salmonids. *Mar. Fish. Rev.*, 42: 1-14.
- **Wenner C. A. and Musick J. A. 1974.** Fecundity and gonad observations of the American eel, *Anguilla rostrata*, migrating from Chesapeake Bay, Virginia. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 31: 1387-1391.
- **Wenner C. A. and Musick J. A. 1975.** Food habits and seasonal abundance of the American eel, *Anguilla rostrata*, from the lower Chesapeake Bay. *Chesapeake Science*, 16(1): 6266.
- **Westerberg H. 1990.** A proposal regarding the source of nutrition leptocephalus larvae. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 75(6): 863-864.
- **Westin L. & L. Nyman. 1979.** Activity, orientation, and migration of Baltic Eel (*Anguilla anguilla* L.). *Rapp. P.-V. Réun. CIEM*, 174: 115-23.
- **Westin L. 1990.** Orientation mechanisms in migrating European silver eel (*Anguilla anguilla*): temperature and olfaction. *Marine Biology*, 106: 175-179.
- **White, P.J. 2008.** Fatty acids in oilseeds (vegetable oils). In Chow, K.C. ed. *Fatty Acids in Foods and their Health Implications*, pp. 227-262. CRC Press, New York, NY.
- **Wiberg U.H. 1983.** Sex determination in the European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Cytogenetics and Cell Genetics*, 36: 589-598.
- **Wickström H., Westin L. and Clevestam P. 1996.** The biological and economic yield from a long-term stocking experiment. *Ecology of Freshwater Fish*, 5: 140-147.
- **Wickström H. et Westerberg H. 2006.** The importance of eels from coastal/brackish water areas. *Swedish Board of Fisheries, MS*, 6p.

- **Würtz J., Knopf K. et Taraschewski H. 1998.** Distribution and prevalence of *Anguillicola Crassus* (Nematoda) in eels (*Anguilla anguilla*) of the rivers Rhine and Naab, Germany. *Diseases of Aquatic Organisms*, 32, 137–143.
- **Würtz J. et Taraschewski H. 2000.** Histopathological changes in the swimbladder wall of the European eel *Anguilla anguilla* due to infections with *Anguillicola crassus*. *Dis. Aquat. Org.*, 39:121-134.

Y:

- **Yahyaoui A. 1991.** Contribution à l'étude de la biologie de l'anguille (*A. anguilla* L.) dans son aire méridionale de la répartition géographique: littoral atlantique et méditerranéen marocain. Doctorat d'État en Science Naturelle, Université Med V, Rabat, 314 p.
- **Yahyaoui A., Freyhof J. et Steinmann I. 2004.** Diversité ichthyologique et biologie d'*Anguilla anguilla* L., 1758 (Actinopterygii, Anguillidae) dans le Rhin moyen, *Zoology baetica*, 15: 39-60.
- **Yamaguti S. 1935.** Studies on the Helminthes fauna of Japan. 9. Nematodes of Fishes. *Japan J. zool.*, 6, 337-386.
- **Yamaguchi N., Gazzard, D., Scholey, G. and Macdonald, D. W. 2003.** Concentrations and hazard assessment of PCBs, organochlorine pesticides and mercury in fish species from the upper Thames: River pollution and its potential effects on top predators. *Chemosphere*, 50 (3): 265-273.

Z:

- **Zacchéi A.M. and Tavolaro P. 1988.** Lateral line system during the life cycle of *Anguilla anguilla* L. *Boll. Zool.*, 3: 145-153.

Site internet:

- Anguille © Béatrice Gysin
- <https://cites.org/>
- http://www.elacuarista.com/secciones/images/ergasilus_sieboldi1.jpg
- www.fao.org/publications/sofa/2012/fr/
- www.lepecheurbarbezilien.com
- www.nutraqua.com

Annexe

✓ Matériels utilisés.

- Bêchers, pipettes, micropipette, tubes à essais, tubes secs.
- Balance de précision
- Broyeur
- Vortex
- Centrifugeuse
- Bain marie
- Etuve
- Spectrophotomètre

✓ Produits utilisés

- Solution de TBS
- Solution de TCA (Trichloracetic acid) 20%
- Ether Diméthyle74,12g/mol
- Chloroforme
- Méthanol
- Huile de table
- Huile d'olive
- Acide sulfurique 96% d=1,84
- Acide orthophosphorique85%
- Acide phosphorique 85%, d=1,71
- Bleu de Coomassie (G250)
- Sérum albumine de bœuf1mg/ml
- Solution de glucose.....1mg/ml
- Vanilline0,6%
- Anthrone

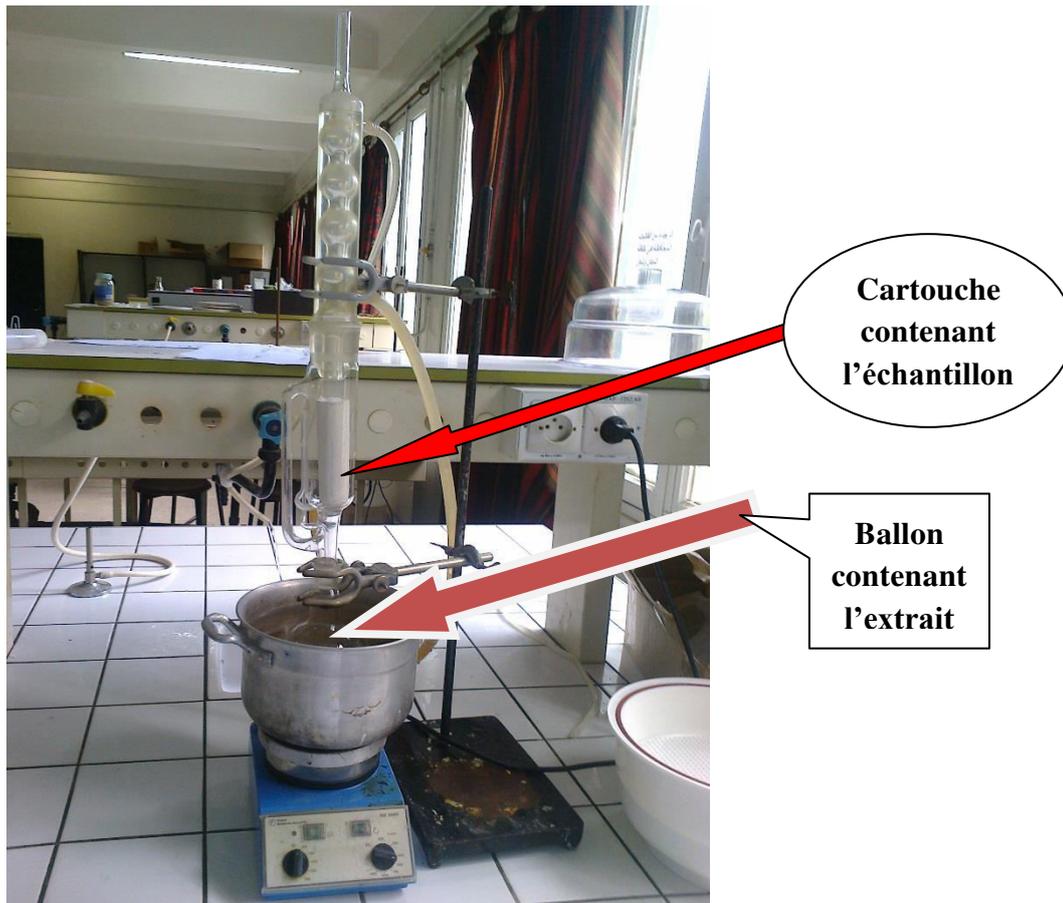


Figure 1 : Extraction au soxhlet. Prise par ladjama I(17-02-2015)

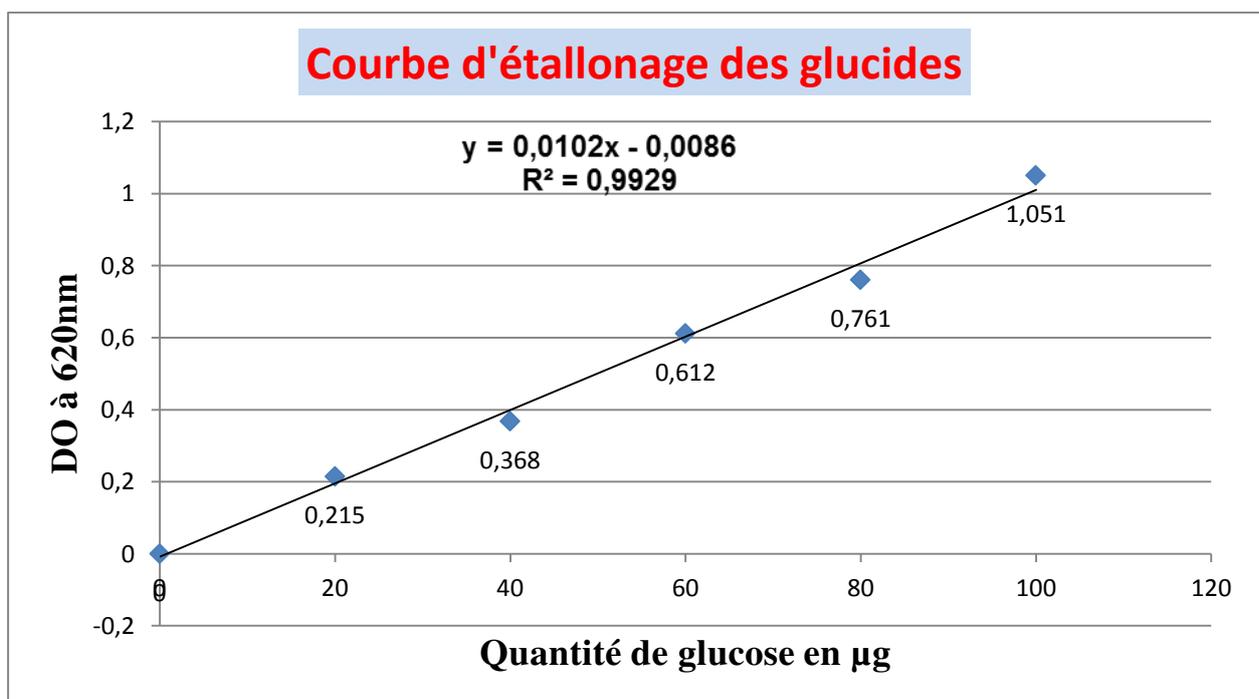


Figure 2 : courbe d'étalonnage des glucides

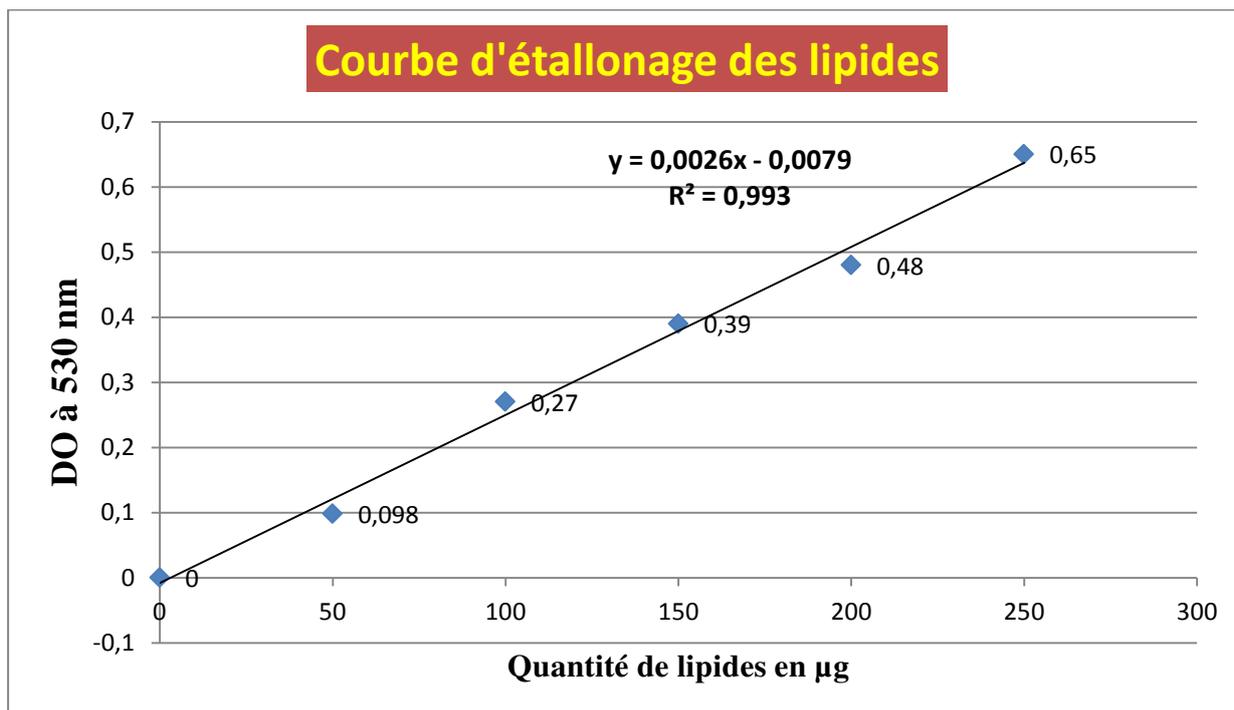


Figure 3 : courbe d'étalonnage des lipides

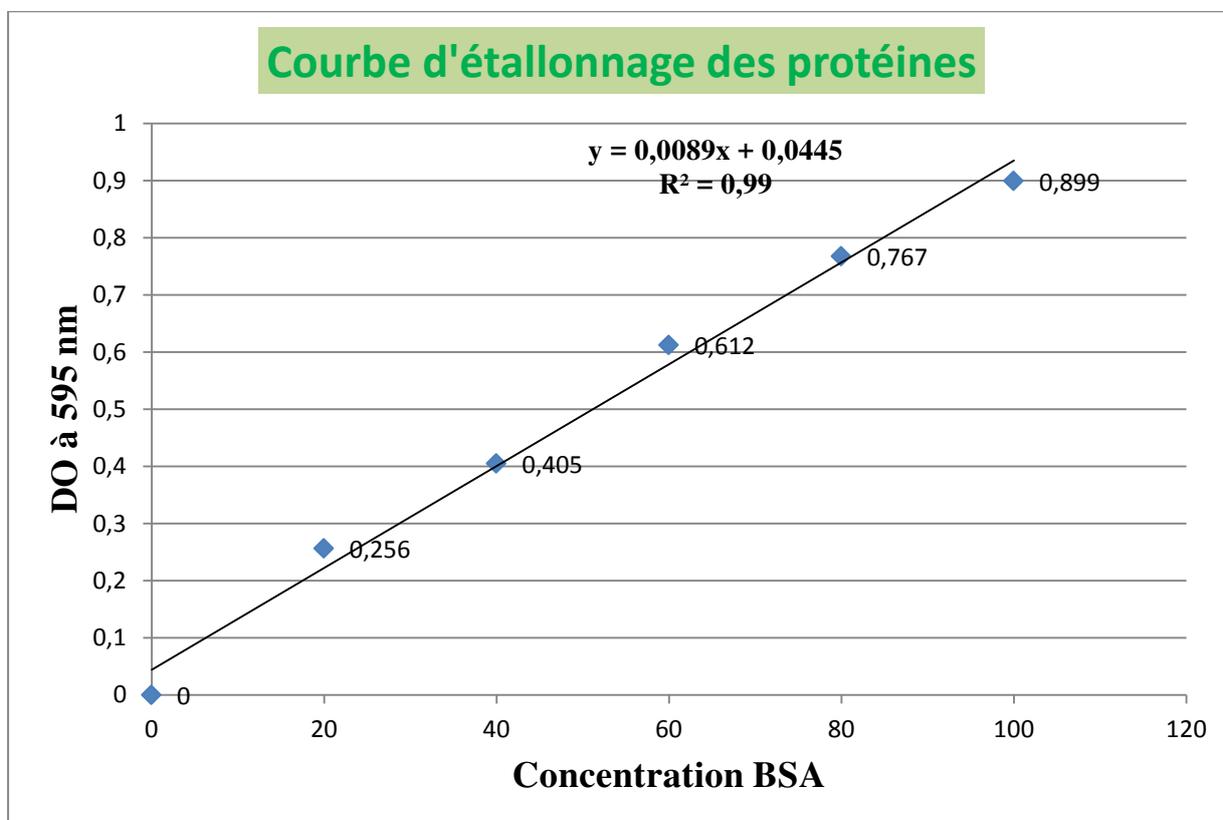


Figure 4 : Courbe d'étalonnages des protéines

Tableau 1: Les acides gras standards utilisés (Supelco 37 Component FAME Mix)

Alderich certified reference material, TraceCERT[®], in dichloromethane (varied conc.), ampule of 1 mL

Numéro	Acide gras (Standards)
1	Methyl butyrate 400 µg/mL
2	Methyl hexanoate 400 µg/mL
3	Methyl octanoate 400 µg/mL
4	Methyl decanoate 400 µg/mL
5	Methyl undecanoate 200 µg/mL
6	Methyl laurate 400 µg/mL
7	Methyl tridecanoate 200 µg/mL
8	Methyl myristate 400 µg/mL
9	Methyl myristoleate 200 µg/mL
10	Methyl pentadecanoate 200 µg/mL
11	Methyl <i>cis</i> -10-pentadecenoate 200 µg/mL
12	Methyl palmitate 600 µg/mL
13	Methyl palmitoleate 200 µg/mL
14	Methyl heptadecanoate 200 µg/mL
15	<i>cis</i> -10-Heptadecanoic acid methyl ester 200 µg/mL
16	Methyl stearate 400 µg/mL
17	<i>trans</i> -9-Elaidic acid methyl ester 200 µg/mL
18	<i>cis</i> -9-Oleic acid methyl ester 400 µg/mL
19	Methyl linolelaidate 200 µg/mL
20	Methyl linoleate 200 µg/mL
21	Methyl arachidate 400 µg/mL
22	Methyl γ -linolenate 200 µg/mL
23	Methyl <i>cis</i> -11-eicosenoate
24	Methyl linolenate 200 µg/mL
25	Methyl heneicosanoate 200 µg/mL
26	<i>cis</i> -11,14-Eicosadienoic acid methyl ester 200 µg/mL
27	Methyl behenate 400 µg/mL
28	<i>cis</i> -8,11,14-Eicosatrienoic acid methyl ester 200 µg/mL
29	Methyl erucate 200 µg/mL
30	<i>cis</i> -11,14,17-Eicosatrienoic acid methyl ester 200 µg/mL
31	<i>cis</i> -5,8,11,14-Eicosatetraenoic acid methyl ester 200 µg/mL
32	Methyl tricosanoate 200 µg/mL
33	<i>cis</i> -13,16-Docosadienoic acid methyl ester 200 µg/mL
34	Methyl lignocerate 400 µg/mL
35	<i>cis</i> -5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid methyl ester 200 µg/mL
36	Methyl nervonate 200 µg/mL
37	<i>cis</i> -4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid methyl ester 200 µg/mL

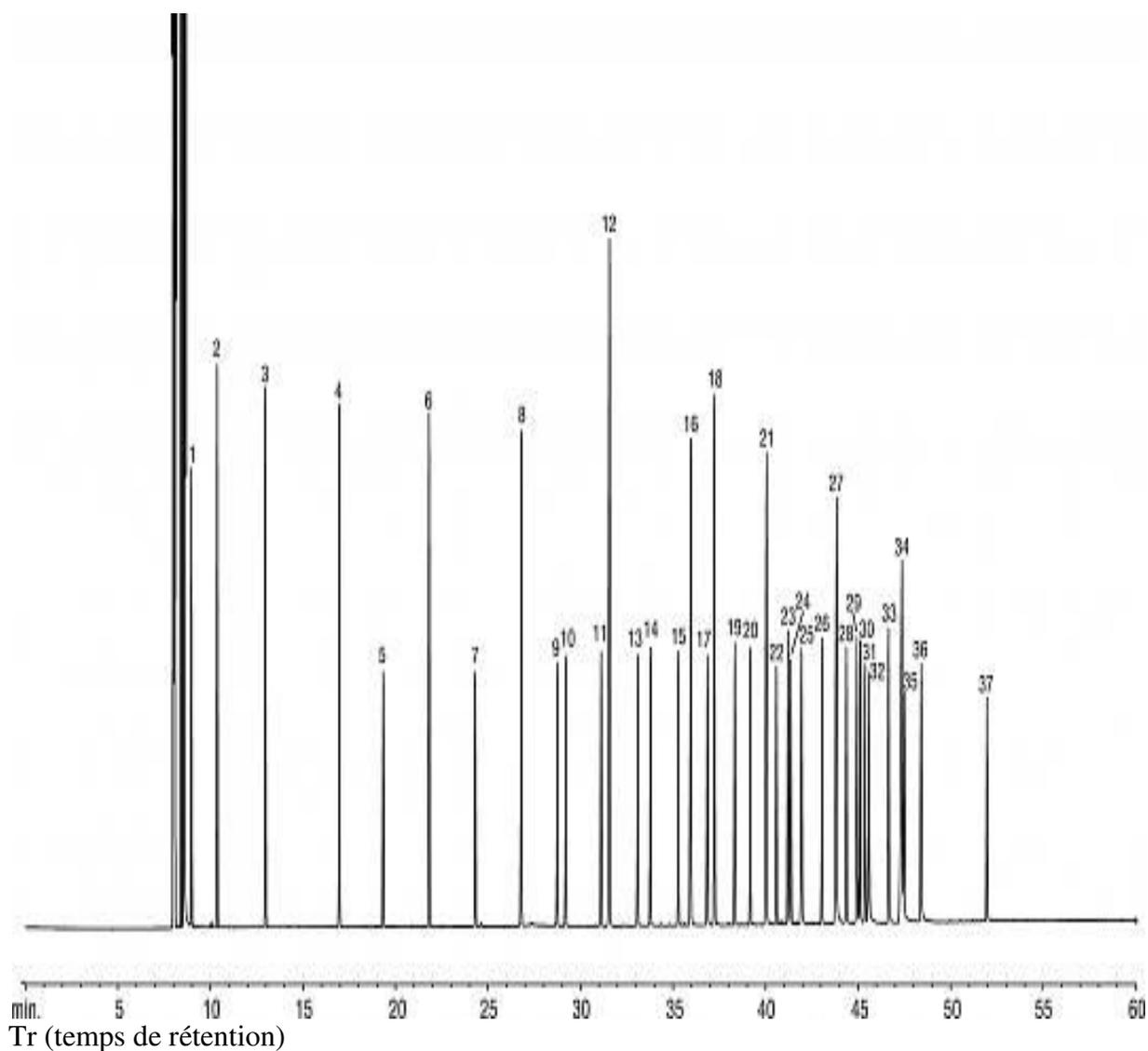


Figure 5: Profil chromatographique des étalons d'acides gras au nombre de 37

- C4:0 Methyl butyrate (623-42-7), 4%
- C6:0 Methyl caproate (106-70-7), 4%
- C8:0 Methyl caproate (111-11-5), 4%
- C10:0 Methyl decanoate (110-42-9), 4%
- C11:0 Methyl undecanoate (1731-86-8), 2%
- C12:0 Methyl dodecanoate (111-82-0), 4%
- C13:0 Methyl tridecanoate (1731-88-0), 2%
- C14:0 Methyl myristate (124-10-7), 4%
- C14:1 (*cis*-9) Methyl myristoleate (56219-06-8), 2%
- C15:0 Methyl pentadecanoate (7132-64-1), 2%
- C15:1 (*cis*-10) Methyl pentadecenoate (90176-52-6), 2%
- C16:0 Methyl palmitate (112-39-0), 6%
- C16:1 (*cis*-9) Methyl palmitoleate (1120-25-8), 2%

C17:0 Methyl heptadecanoate (1731-92-6), 2%
C17:1 (*cis*-10) Methyl heptadecenoate (75190-82-8), 2%
C18:0 Methyl stearate (112-61-8), 4%
C18:1 (*trans*-9) Methyl octadecenoate (1937-62-8), 2%
C18:1 (*cis*-9) Methyl oleate (112-62-9), 4%
C18:2 (all-*trans*-9,12) Methyl linoleaidate (2566-97-4), 2%
C18:2 (all-*cis*-9,12) Methyl linoleate (112-63-0), 2%
C18:3 (all-*cis*-6,9,12) Methyl linolenate (16326-32-2), 2%
C18:3 (all-*cis*-9,12,15) Methyl linolenate (2390-09-2), 2%
C20:0 Methyl arachidate (1120-28-1), 4%
C20:1 (*cis*-11) Methyl eicosenoate (2390-09-2), 2%
C20:2 (all-*cis*-11,14,) Methyl eicosadienoate (2463-02-7), 2%
C20:3 (all-*cis*-8,11,14) Methyl eicosatrienoate (21061-10-9), 2%
C20:3 (all-*cis*-11,14,17) Methyl eicosatrienoate (55682-88-7), 2%
C20:4 (all-*cis*-5,8,11,14) Methyl arachidonate (2566-89-4), 2%
C20:5 (all-*cis*-5,8,11,14,17) Methyl eicosapentaenoate (2734-47-6), 2%
C21:0 Methyl heneicosanoate (6064-90-0), 2%
C22:0 Methyl behenate (929-77-1), 4%
C22:1 (*cis*-13) Methyl erucate (1120-34-9), 2%
C22:2 (all-*cis*-13,16) Methyl docosadienoate (61012-47-3), 2%
C22:6 (all-*cis*-4,7,10,13,16,19) Methyl docosahexaenoate (2566-90-7), 2%
C23:0 Methyl tricosanoate (2433-97-8), 2%
C24:0 Methyl lignocerate (2442-49-1), 4%
C24:1 (*cis*-15) Methyl nervonate (2733-88-2), 2%

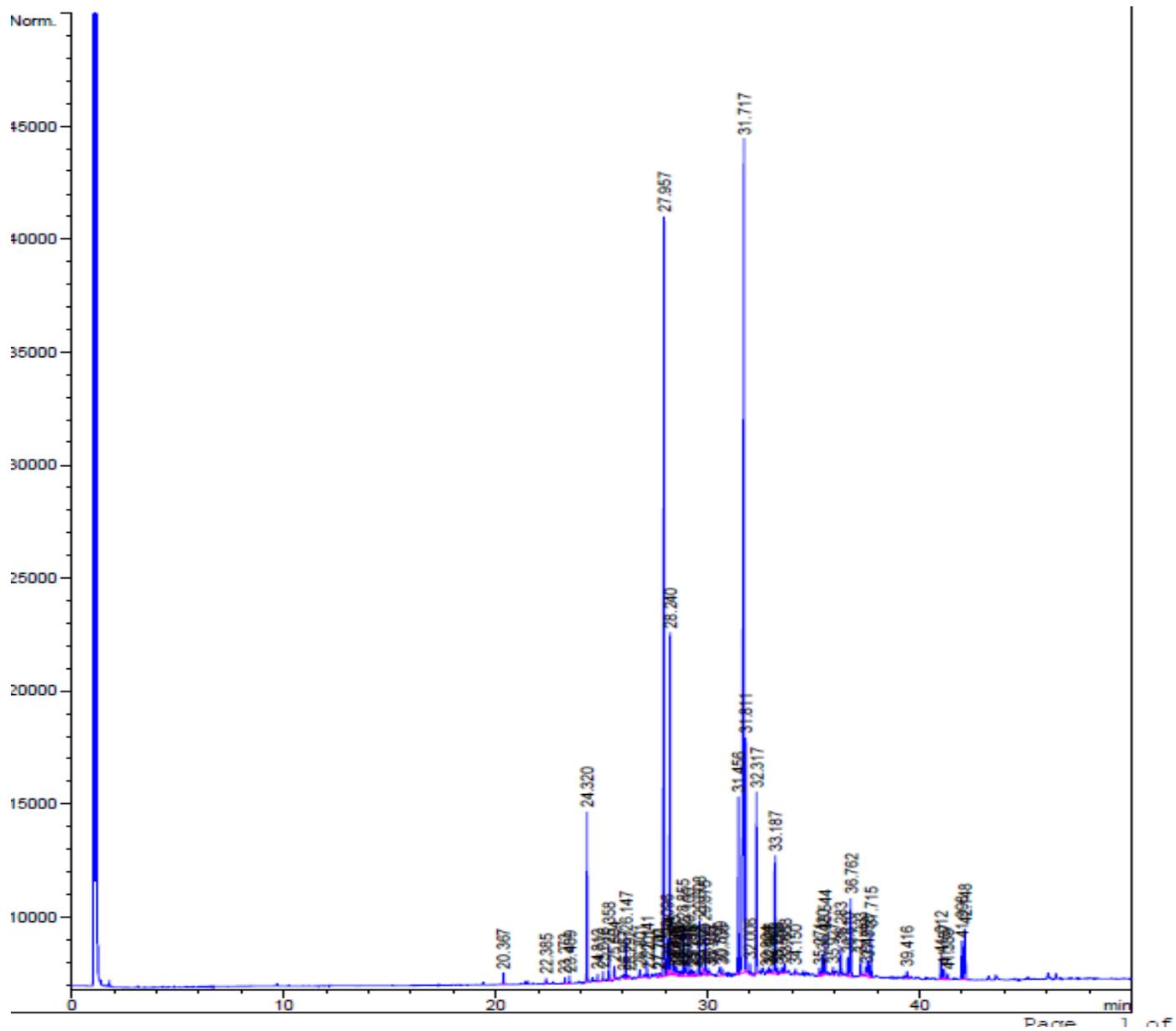


Figure 6 : Profil chromatographique des acides gras du muscle de l'anguille du lac Tonga (Printemps)

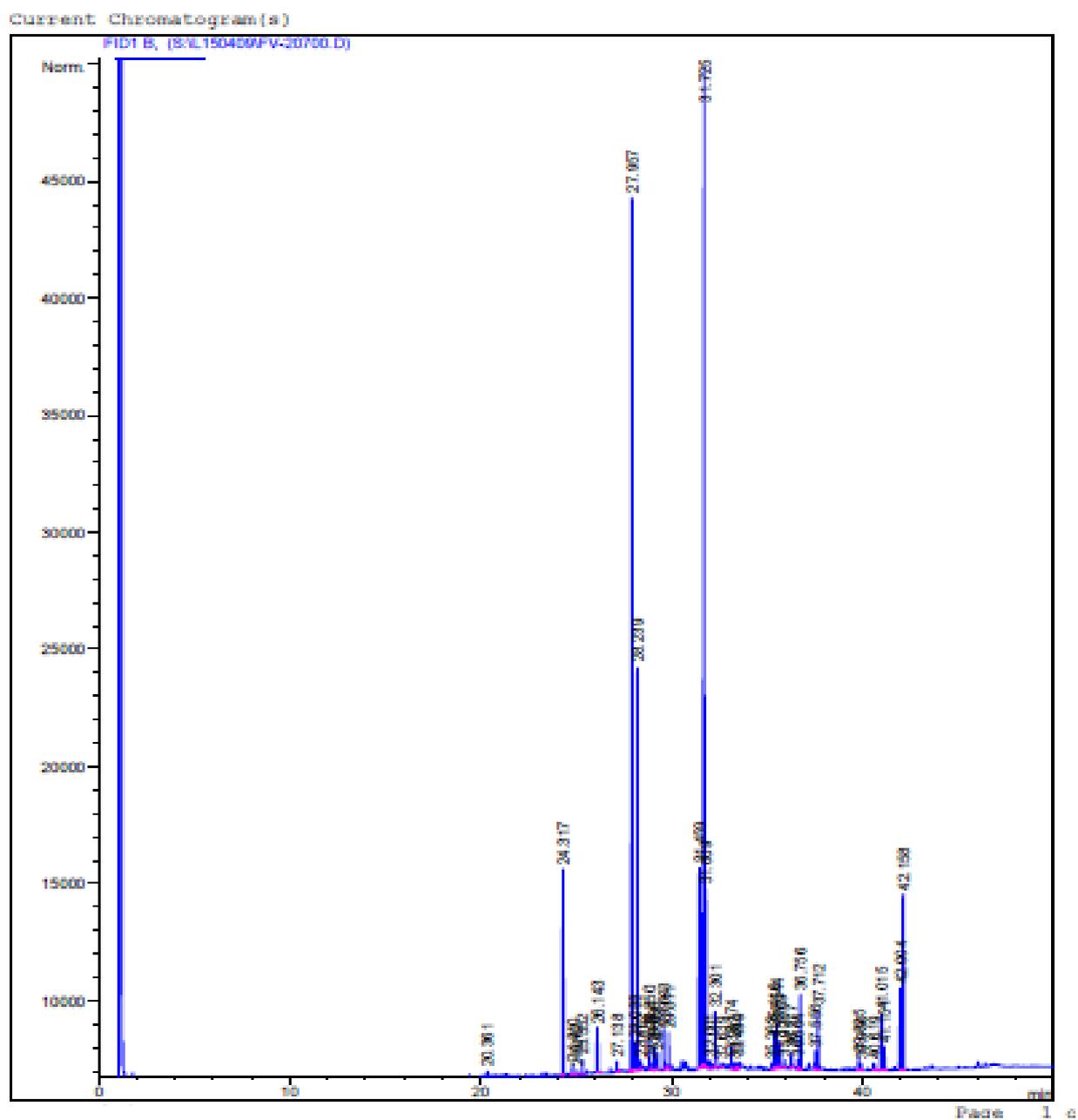


Figure 7 : Profil chromatographique des acides gras du muscle de l'anguille du lac Tonga
(Hiver)

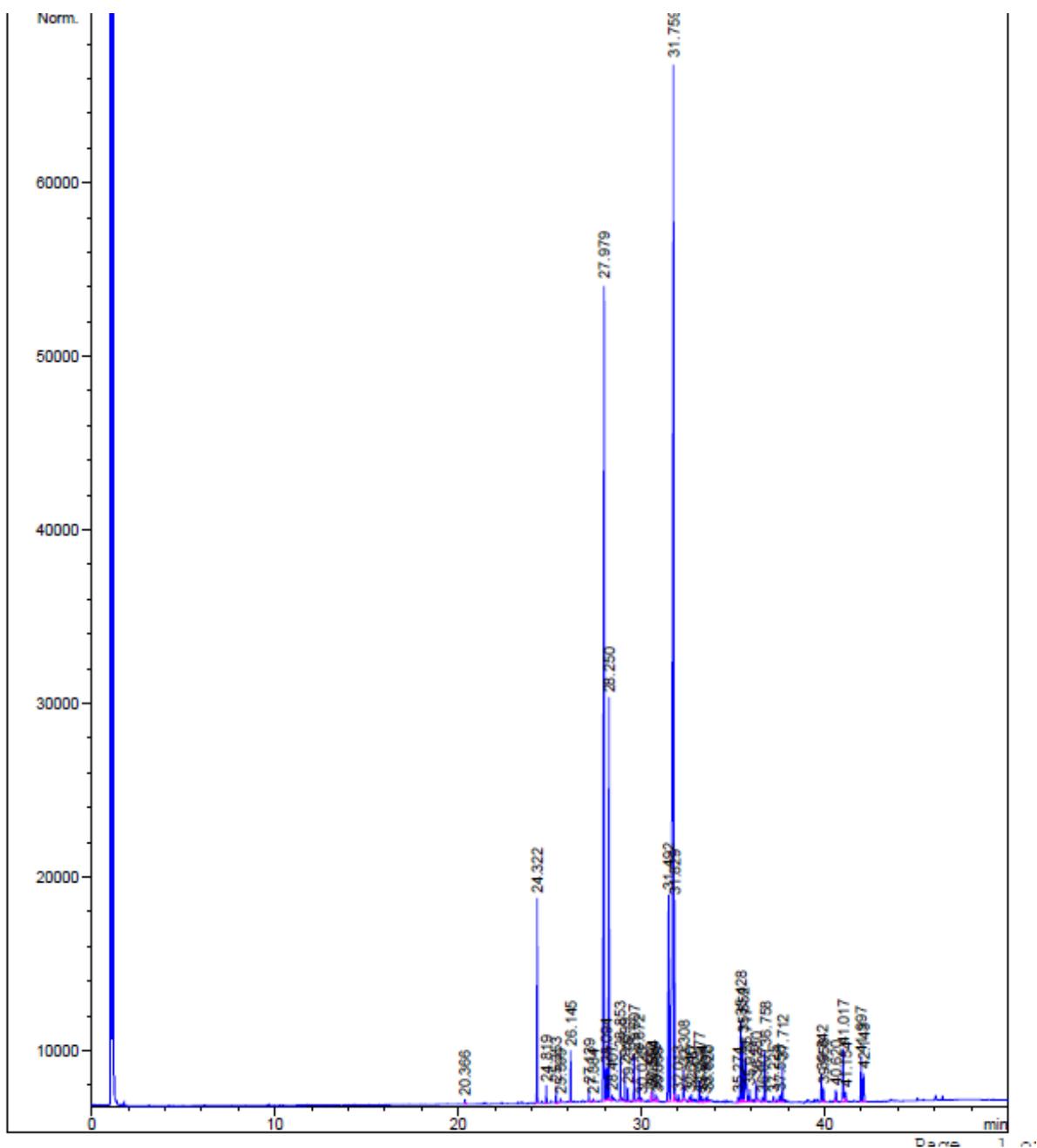


Figure 8: Profil chromatographique des acides gras du muscle de l'anguille d'El mellah (Printemps)



Biochemical Evaluation of Euro-Mediterranean Eel from Tonga Lake and El Mellah Lagoon (North-East of Algeria)

Ladjama Imane¹, Djébbari Nawel¹, Ladjama Ali^{2*}, Bensouilah Mourad¹

¹Laboratory of Ecobiology for Marine Environment and Coastline, Faculty of Science Badji Mokhtar University, Annaba, Algeria.

²Laboratory of Applied Biochemistry and Microbiology, Faculty of Science, Badji Mokhtar University, Annaba, BP12, Algeria.

*Corresponding author's E-mail: ali.ladjama@univ-annaba.dz

Accepted on: 02-06-2016; Finalized on: 31-07-2016.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate on seasonal variation some biochemical parameter in the muscle of Eel from Tonga lake (freshwater) and El Mellah lagoon (brackish water) in Algeria. Analysis of the various macronutrients showed that in both sites, total lipid levels are between 19.4% and 22.15% with a maximum in winter at Eels El Mellah. Findings indicated also that the two sites protein, ash, moisture and carbohydrate levels of Eel from Tonga present the maximum in spring and higher than in El Mellah. Qualitative analysis of fatty acids by gas chromatography revealed that the Eels captured in both lakes contain 23 fatty acids. The maximum rate of SFA observed for Eel El Mellah is 35.87% in winter and the maximum rate of UFA is 54.848% for Eel Tonga in spring. Among the saturated fatty acids, palmitic acid is majority and the maximum was observed in winter at Eels from El Mellah. Regarding the unsaturated fatty acids, the most dominant MUFA is oleic acid with a maximum rate of 36.968% for Eels of El Mellah in winter. At the level of PUFA, we only note the presence of linoleic acid and linolenic acid with a maximum observed 4,599 % (AL) and 2.872 % (ALA) for Eel from Tonga in winter and higher than in El Mellah. The n-3/n-6 ratio of Eel from Tonga is more important than El Mellah.

Keywords: *Anguilla Anguilla*, Seasonal variation, fatty acids, Tonga, El Mellah.

INTRODUCTION

The overall composition in most fish and shellfish is mainly water, proteins and lipids. These constituents, account for approximately 98% and other minor components include carbohydrates, vitamins, and minerals. However, the biochemical composition of fish usually varies depending on season, geographic areas, stages of maturity and size.¹ The specific composition of fish gives it a nutritional and sensory quality that looks for and value consumers. Fatty acids and lipids are generally present in the marine food chain represented by different organisms (bacteria, crustaceans, seaweed, fish, sponges). Fish have high proportions of polyunsaturated fatty acids to long chain because of their terminal position in the trophic chain. Furthermore, fish have enzymes (desaturase and elongases) for the biosynthesis and processing of certain fatty acids, compared to the living conditions marin, which affects the fatty acids content. These levels vary between 25 and 40% of polyunsaturated acids, eicosapentaenoic acid (EPA) and 5 to 8% docohexaénoïque acid (DHA).² In their natural environment, marine fish at the base of the trophic chain, are in the phytoplankton they feed, and which has a high concentration of polyunsaturated fatty acid.³ Thus same fish will be used as source poly unsaturated fatty acids (PUFA) of other higher trophic level fish, which reflects the composition of body fat,^{4,5} the natural diet of freshwater fish is rich in linoleic and linolenic acid.⁶ They must therefore be able to convert these C18 fatty acids EPA and DHA to maintain the fluidity of their membranes.

Consequently, and contrary to many marine species, most of the freshwater fish have good ability to lengthen and desaturate their C18 fatty acids long chain.⁷ In this context and from fatty fish, the species *Anguilla Anguilla* (Eel) is an amphihalin fish, which performs its life cycle in freshwater and saltwater. This fatty fish with a lipid levels in the muscle of up to 20% and its richness in polyunsaturated fatty acids of the omega-3 family (n-3) as the eicosapentaénoïque acid (EPA) and omega 6 (n-6) as the docohexaénoïque acid (DHA) makes a food's unique nutritional characteristics among animal products. The family of fatty acids omega 3 and omega 6 contribute to the development of the brain and sensory organs in infants; prevent some aspects of obstructive cardiovascular disease involved in various inflammatory diseases as well as diabetes and osteoporosis.^{8,9} In Algeria, the consumption of Eel is very low compared to other species: red mullet, whiting, bream, sardines, mullet and others. This is due firstly to the eating habits and also the lack of knowledge of this fish. Thus, the Eel is rather exported abroad especially to Italy of around 80 tons,¹⁰ where it is highly regarded by the population. Moreover, many scientific research work¹¹⁻¹⁴ conducted on this species, are more oriented towards biology and parasitological Eel.

In this sense, this research has undertaken to study the seasonal variation of some biochemical parameters (total lipids, proteins, carbohydrates, moisture and ash) and the composition of the European eel muscle fatty acids captured in level the freshwater (Tonga) lake and brackish water (El Mellah) lagoon North-East (Algeria) for better



nutritional evaluation of the Eel which is an important economic source for this region.

MATERIALS AND METHODS

Sites of Study

Two sites (Figure 1) were chosen for the capture of the species *Anguilla Anguilla* (silver Eel) namely Tonga lake (freshwater) and El Mellah lagoon (brackish water) which are located in the national park of El -Kala. The wetland complex of El Kala National Park, located at the north-eastern end of Algeria, includes lakes Tonga (36 ° 51.511'N; 8 ° 30.100'E) Oubeira (36 ° 50.695'N; 8 ° 23.272'E) and El Mellah lagoon (36 ° 53.565'N; 8 ° 19,560 'E).¹⁵

Biological Material

The biological sample used in this study, is the fresh muscle of *Anguilla Anguilla* (silver Eels).

The different samples of Eel weight ranging from 250 to 500g were captured in a random manner at the two sites (Figure 1). Eels are 15 in number (N = 15) by site and season (winter and spring). The different samples collected are sacrificed and stored in the freezer at - 80°C and then used to assay some biochemical parameters including the fatty acid composition.

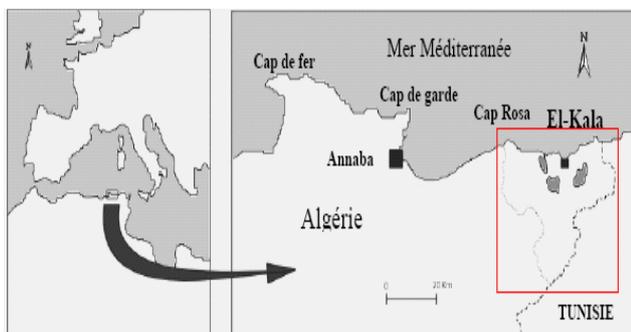


Figure 1: Red square show localization of sampling sites of European Eels. (North-East of Algeria).

Determination of Biochemical Parameters

Muscle from different samples (N = 15) of each site is collected, ground and homogenized. The total lipids are assayed by the method of Folch.¹⁶ The total soluble protein and total sugars were analyzed by the method of Bradford¹⁷ and Duchateau¹⁸ respectively. Moisture and

ash content are calculated according to AOAC¹⁹ and the results are expressed as a percentage.

Fatty Acid Composition

For fatty acid analysis, the fat content is extracted by the Soxhlet method (this method of total lipid extraction, using 5g of fresh muscle in an extraction solvent (hexane-acetone 4v/1v) of 300 ml for a time of 8h. Evaporation of oils is done by a rotary evaporator at 65°C. The resulting oil rate is also expressed as a percentage. After transesterification of fatty acids,^{20,21} ester methyl are injected into the gas chromatograph Agilent model HP 5890 equipped with a flame ionization detector and a column DB225 (20 m X 0.18 mm, 0.20 µm). The carrier gas used is hydrogen (1.0 ml/min); with an injection system in split mode (1: 60). The elution of the various fatty acids is done by programming temperatures of 50°C (2.7 min) to 180°C at 5°C/min to 230°C at 3°C/min. The temperature of the injection chamber and the detector is 250 to 250°C respectively. The qualitative analysis of different fatty acids on a chromatogram is given according to the retention time (Tr) from the standard (MIX37 Supelco). The quantitative analysis is expressed in relative percentage of fatty acids (% of fatty acids) by calculating the area of each peak.

Statistical Analysis

The "t" test of Student threshold at 5% was used for comparison of means for biochemical parameters and fatty acids in the flesh of the Eel between two season (winter-spring) and for the two sites (Tonga lake and lagoon EL Mellah). Analyses of variance of two factors were used to test the effect of the season on the increase or decrease of the contents of biochemical parameters and fatty acids. All statistical analysis were performed using the MINITAB 17 statistical software. The results are expressed as mean with a standard deviation standard error of the mean (mean ± D).

RESULTS AND DISCUSSION

Biochemical Parameters

The results of various biochemical parameters obtained are shown in Table 1.

Table 1: Seasonal variation of biochemical parameters of European Eel muscles from lake Tonga and El Mellah lagoon

Biochemical paramètres (%)	Tonga Winter	Tonga Spring	P	Mellah Winter	Mellah Spring	P
Total lipids	21,37±0,13	19,4±0,20	0,000	22,15±0,11	21,80±0,10	0,000
Total protein	17,20±0,06	23±0,178	0,000	15,70±0,05	21,84±0,73	0,000
Total Carbohydrates	1,27±0,06	1,93±0,05	0,000	1,04±0,05	1,55±0,07	0,000
Moisture	74,52±0,12	71,08±0,12	0,000	66,71±0,12	73,05±1,27	0,000
Ash	1,34±0,06	1,48±0,07	0,000	1,19±0,10	1,32±0,08	0,000

p ≤ 0,001= highly significant Student test; Mean ± D; n = 15 / Site



Table 2: Seasonal variation of fatty acids of European Eel muscles from Tonga Lake and El Mellah lagoon

Fatty Acids	(% of Fatty Acids)			
	Tonga Winter	Mellah Winter	Tonga Spring	Mellah Spring
C12:0	0,208±0,005	0,075±0,007	0,214±0,009	0,077±0,007
C13:0	0,108±0,004	/	0,117±0,006	/
C14:0	3,294±0,006	3,431±0,019	3,231±0,011	4,446±0,007
C14:0	0,647±0,030	0,265±0,007	0,206±0,005	0,068±0,006
C15:0	0,786±0,277	0,835±0,011	0,592±0,007	0,984±0,006
C16:0	0,302±0,006	0,204±0,005	0,214±0,011	0,208±0,007
C16:0	19,301±0,003	21,529±0,010	18,511±0,011	18,987±0,008
C16:0	0,732±0,011	0,771±0,009	0,675±0,008	0,773±0,011
C16 :1n-7	7,091±0,041	7,258±0,072	7,655±0,008	9,840±0,029
C16 :0	0,303±0,005	0,081±0,012	0,285±0,009	0,195±0,007
C16 :0	1,005±0,030	0,743±0,005	0,631±0,018	0,777±0,027
C16 :0	1,092±0,054	0,656±0,006	0,993±0,008	0,823±0,010
C17 :0	0,854±0,013	0,556±0,013	0,478±0,010	0,367±0,007
C17 :0	1,020±0,257	0,812±0,008	0,914±0,009	0,736±0,012
C 18 :0	4,727±0,005	5,770±0,024	4,966±0,007	4,352±0,143
C18 :1n-9	27,697±0,006	36,968±0,04	33,351±0,009	26,947±0,077
C18 :1n-9 (trans)	5,069±0,039	3,334±0,008	5,653±0,020	3,762±0,087
C18 : 2n-6	4,599±0,007	0,678±0,011	3,738±0,008	0,770±0,006
C18 : 3n-3	2,872±0,061	0,432±0,013	2,613±0,009	0,435±0,008
C20 :0	0,213±0,007	0,142±0,007	0,234±0,010	0,135±0,006
C20 :1n-9	0,581±0,012	1,958±0,016	1,079±0,010	1,193±0,024
C20 :2n-6	0,787±0,007	0,430±0,010	0,756±0,008	0,564±0,011
C22 :0	0,233±0,006	/	0,055±0,011	0,071±0,005
ΣSFA	34,825±0,325	35,87±0,036	32,27±0,028	33,000±0,136
ΣUFA	48,699±0,08	51,106±0,103	54,848±0,035	43,520±0,082
ΣMUFA	40,334±0,061	49,518±0,101	47,738±0,027	41,742±0,08
Σ (n-6)	5,386±0,009	1,109±0,017	4,495±0,007	1,335±0,016
Σ (n-3)	2,872±0,061	0,432±0,013	2,613±0,009	0,435±0,008
UFA/SFA	1,398±0,013	1,425±0,008	1,697±0,002	1,318±0,006
n-3/n-6	0,533±0,011	0,389±0,009	0,581±0,002	0,325±0,015

Mean ± D; n = 15 / site.

The examination of Table 1 shows that the total lipid levels are higher in the Eel El Mellah lagoon; El Mellah as compared to Tonga lake and that for two seasons (winter and spring) with a significant difference ($p \leq 0.001$). The peak values recorded are for the winter season. These lipids decrease from winter to spring indicates a highly significant seasonal variation ($p \leq 0.001$). This can be explained by the increase in temperature and salinity in the spring which degrades fat.²² These results in agreement with those of EL Oudiani.²³ The analysis of the seasonal variation of proteins, sugars and ash at the two sites showed also that the Eel from Lake Tonga is more

rich in nutrients than the El Mellah lagoon and rates significantly increase ($p \leq 0.001$) in spring. According to Lecomte–Finiger,²⁴ Eel feed mainly at night in warm period (spring and summer). Also the maximum food activities observed in the European Eel occur at temperatures between 25 and 26°C, which explain the high levels of these biochemical parameters in the spring. it was also noted that during the spring, the total sugar content of the Eel from Tonga lake and El Mellah lagoon are high while in fatty fish, carbohydrates are in the form of glycogen are generally low 1%.²⁵ This biochemical parameter gives an excellent organoleptic characteristic



and specific nutritional quality particularly in Eels captured at Tonga lake which records carbohydrate rate (1.93%) significantly ($p \leq 0.001$) higher than those of Eel Mellah lagoon with a rate is 1.55%.

Composition of Fatty Acids

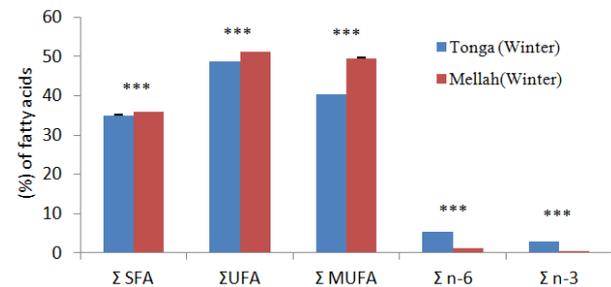
The different results of the study of the seasonal variation of the fatty acid composition of the lake European eel captured Tonga lake and El Mellah lagoon are presented in Table 2.

Qualitative analysis of the fatty acids profile showed that for two seasons (winter and spring), muscle Eel from Tonga lake and El Mellah lagoon contains 22 fatty acids ranging from C12 to C22, including 7 unsaturated fatty acids (Table 2). At the level of saturated fatty acids, we note that palmitic acid is the most dominant at the two sites and two seasons (winter and spring) up to a maximum of 21.52% for Eel El mellah observed in winter. For each site, palmitic acid decreases significantly ($p \leq 0.001$) from winter to spring. Also the rate of palmitic acid was significantly ($p \leq 0.001$) high in the lagoon El Mellah. The palmitic acid is indeed known as a key fatty acid metabolism in fish and it is generally not influenced by diet.²⁶ These findings are similar to other work on the European eel and carp.^{22,27} Among the identified unsaturated compounds. It was also observed the presence of monounsaturated fatty acids, C16 palmitoleate (n-7), oleic acid C18 (n-9), Methyl octadecenoate C18 (n-9) and C20 (n-9) cis-11-Eicosenoate. Oleic acid is the majority and the maximum (36.968%) was achieved in Eel El Mellah during the winter season with significant effect ($p \leq 0.001$). Monounsaturated fatty acids especially oleic acid amounts changes greatly depending on the species and feeding copepods.³ The analysis of these results also indicated the presence of polyunsaturated fatty acids such as linolenic acid C 18 (3n-3) omega 3, linoleic acid C18 (2n-6) and eicosadienoic acid C20 methyl (2n-6) omega 6. Essential fatty acids (linoleic and linolenic acid) play an important role in the synthesis of other polyunsaturated fatty acids. Moreover, the research work of Oudiani^{22,23} carried out on the muscle Eel Tunisia mentioned the presence of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), which are very important for the development and functioning of the brain and retina²⁸ which is not in line our report.

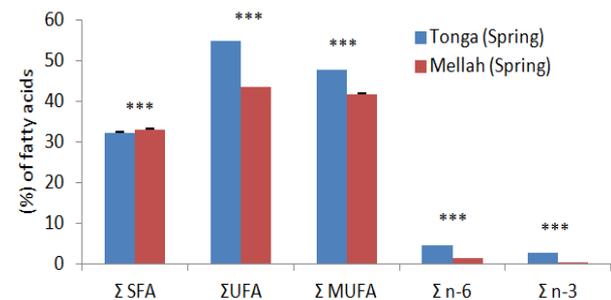
The Saturated Fatty Acids (SFA)

Table 2; Figures 2 (a, b); Figures 3 (a, b) summarize seasonal variation and spring percentage of saturated fatty acids (SFA) at Tonga lake and the lagoon El Mellah. The recorded rates is 34.82% in winter (Tonga) and a rate of 35.87% in winter (El Mellah). Statistical analysis showed that there is a statistically significant difference both in each site for two seasons between the two sites ($P \leq 0.001$). This result indicated that the season (winter) seems to influence the synthesis of these saturated fatty acids. Indeed, the relative abundance of the SFA could be

explained by their endogenous and food available at the lakes. However, according to Sargent,²⁹ saturated fatty acids are little influenced by the nature of fatty acids found in fish feed.

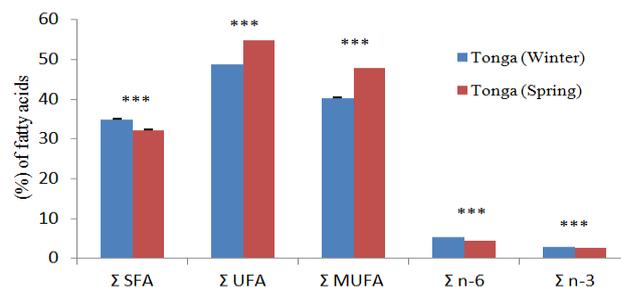


(a)

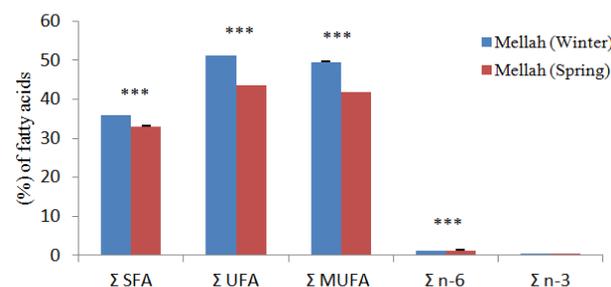


(b)

Figures 2: Fatty acids composition (%) Saturated (SFA), Unsaturated (UFA), Monounsaturated (MUFA), Σ n-6, Σ n-3 of Eel muscles from lake Tonga and the lagoon El Mellah: (a) Winter / (b) Spring. (Vertical Bars = \pm Standard Deviation. n=15, ***: $p \leq 0.001$).



(a)



(b)

Figures 3: Fatty acids composition (%) : Saturated (SFA), Unsaturated (UFA), Monounsaturated (MUFA), Σ n-6, Σ n-3 of Eel muscles from lake Tonga and the lagoon El Mellah: (a) Tonga Winter / Spring, (b) El Mellah Winter /

Spring. (Vertical Bars = \pm Standard Deviation. $n=15$, ***: $p \leq 0,001$).

The Unsaturated Fatty Acids (UFA)

Examining the results from Table 2, Figures 2 (a, b) and Figures 3 (a, b) obtained showed that the polyunsaturated fatty acid levels was height (54, 848%) in Eels from Tonga lake and that during the spring with a significant effect ($p \leq 0.001$). As for the winter season, the analysis shows that the highest rate (51.058%) was obtained in Eels El Mellah with a significant difference ($p \leq 0.001$). According to Lecomte–Finiger,²⁴ freshwater Eels prey consist mainly insect larvae, crustaceans, fish, but also rodents, by cons at sea Eel feeds on small fish and crustaceans. In the spring, Eels prepare their migration and adults do not feed and live on reserves accumulated during the yellow Eel stage. Furthermore, research Takeuchi³⁰ showed that increasing salinity induces enrichment in polyunsaturated fatty acids in the phospholipids of salmon gills. All these variations due to environmental factors are important in wild fish.

The Monounsaturated Fatty Acids (MUFA)

The results are shown in Table 2, Figures 2 (a, b); Figures 3 (a, b). MUFA exhibits sufficiently a high levels, the maximum (49.51%) was observed in the Eel El Mellah lagoon during the winter. whereas, in Eels from Tonga lake, the maximum (47.738%) is obtained during the spring with a high significant ($p \leq 0.001$). These results are similar to those obtained by other scientists.^{23,31} in the European Eel. Indeed, the monounsaturated fatty acids vary greatly in amounts depending on the species and feeding pattern. The most abundant are to 18; 20 and 22 carbons and especially oleic acid (18: 1 n-9) and cetoleic acid (22: 1 n-11) from power crustaceans and cold water fish.³

Omega Σ n-6 and Σ n-3

The study of the seasonal variation of the family of omega 6 and omega 3 (Table 2, Figures 2 (a, b); Figures 3 (a, b) shows that the level of lake Tonga, the maximum amount recorded in winter is $5,386 \pm 0,009$ % (omega 6) and $1,335 \pm 0,016$ % (omega 6) for the lagoon El Mellah) in spring with high significant differences ($p \leq 0.001$).

Omega 3 Tonga site record the maximum with 2,872% observed in winter, these rates decrease significantly ($p \leq 0,001$) from winter to spring, but in lake El Mellah, both seasons do not affect the rate of omega 3 with a non significant ($p > 0.05$).

This results seem somewhat similar to other research that claim that freshwater fish are relatively high in omega 6, while marine fish are relatively rich in omega3.²⁶ These differences in the nature of lipids to various salinities suitable fabrics have often been attributed to oils ingested in the diet^{32,33} and the ability to convert linoleic and linolenic acids in long chain.³⁴ Other research works showed that in the yellow Eel, there is a particular effect

of salinity that primarily affects the nature of the fatty acids of the fabric.³⁵

The UFA/SFA Ratio

The ratio obtained (Table 2) at the two sites vary between 1.318 and 1.697% and the maximum ratio (1.697%) was observed in the spring at Lake Tonga with significant effect ($p \leq 0,001$). These ratios exceed the minimum threshold of 0.45 recommended by the HMSO.³⁶ These results showed that muscle Eel from Tonga Lake and El Mellah lagoon are rich in unsaturated fatty acids with predominance in Eel Tonga. Thus these findings are relatively similar to other studies on European eel.^{23,31}

The n-3 /n-6 ratio is very important to evaluate oil fish nutritional value it is benefic for human health to consume sea food product because of their high (n-3) PUFA and low (n-6) PUFA contents. These reports (Table 2) vary between 0,325 (El Mellah spring) and 0.581% (Tonga spring) with highly significant effect ($p \leq 0.001$). Belgian recommendations³⁷ give a $\omega 6 / \omega 3$ ratio between 2 and 6. Thus, the review of the results show that the values obtained are 3.06 for the lagoon El Mellah and 2.56 for Tonga lake are in this range which shows the good quality of oil Eel captured in the spring. So, a dietary fish high ratio n-3 / n-6 would be beneficial for human health.³⁸

CONCLUSION

The study of the seasonal variation of some biochemical parameters and the fatty acids composition in the European Eel (silver Eel) Tonga lake (freshwater) and El Mellah lagoon (brackish water) in the wilaya El Tarf (Algeria) has elucidated these nutritional parameters. Thus, various investigations showed that qualitatively, the muscle of silver Eels captured at two sites contain the essential unsaturated fatty acids: linolenic acid (Omega 3) and linoleic acid (Omega 6). These fatty acids are not synthesized by humans, but they are the precursors of eicosapentaenoic acid (EPA) and docohexaénoïque (DHA), which play an important role in vascular diseases. Registered rates are high and vary according to season and seem to be the maximum in winter.

Moreover, the comparative study of two sites showed that the Eel from lake Tonga has a better organoleptic and nutritional quality than Eels from lake El Mellah.

These differences appear to be due to environmental factors, primarily the availability and diversity of food.

Acknowledgement: This work is dedicated to the memory of my father Professor DAIF LADJAMA who passed away on January 30th, 1999.

Thank you for everything and we think about you every day.

Many thanks to Professor ALI TAHAR for helping us in the choice of different statistical analysis adapted to our experimentation.

REFERENCES

1. Soriguier Federico, Salvador Serna, Esteban Valverde, José Hernando, Angel Martín-Reyes, Lipid, protein, and calorie content of different Atlantic and Mediterranean fish, shellfish, and molluscs commonly eaten in the south of Spain, *European Journal of Epidemiology*, 13, 1997, 451–463.
2. Bergé JP, Barnthan G, Fatty acids from lipids in marine organism: molecular biodiversity, roles as biomarkers, biologically active compounds and economical aspects. In *Biotechnology I*; Le Gal et Ulber R(eds), *Adv.in.Biochem, Engin/Biotechnol*, Springer, Berlin, 96, 2005, 49-125.
3. Sargent I, Henderson RJ, Tocher DR, The lipids. In: *Fish Nutrition*. IE. Halver (Eds), Academic Press, nc, 1989, 153-218.
4. Reinitz G, Relative effect of age, diet and feeding rate on the body composition of young rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Aquaculture*, 35, 1983, 19-27.
5. Henderson LJ, Tocher DR, The lipid composition and biochemistry of freshwater fishes, *Prog. Lipid Res.* 26, 1987, 281-347.
6. Tocher DR, Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Rev. Fish. Sci.* 11, 2003, 107–184.
7. Sargent J, Bell G, McEvoy L, Tocher D, and Estevez A, Recent Developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture* 177, 1999, 191-199.
8. Bourre JM, Where to find omega-3 fatty acids and how feeding animals with enriched in omega-3 fatty acids to increase nutritional value of derived productions for human: What is actually useful, age and nutrition, Vol 16, N 1, 2005, 4-16.
9. Banerjee I, Saha, Dutta J, Comparison of the effect of dietary fish oils with different polyunsaturated fatty acid compositions on plasma and liver lipids in rats, *Lipids*, 27, 1992, 425-428.
10. Rapport MPRH, Projet MPRH-PNUD-FAO, Appui à la formulation de la stratégie nationale de développement de la pêche et de l'aquaculture 2015. 2020 (avec une attention particulière sur la pêche artisanal, 2014, 33 pages.
11. Djebbari N, Hamza I, Ladjama I, Kouachi N, Choukriand B, Bensouillah M, Environmental Parameters and Temporal Dynamics of *Anguillicoides crassus* in Tonga Lake and Mafrag estuary (North-Est Of Algeria), *Research Journal Of Fisheries and hydrobiology*, 10(14), 2015, 147-156 (a).
12. Djebbari N, Boudjadi Z, Bensouillah M, L'infestation de l'anguille *Anguilla anguilla* L., 1758 par le parasite *Anguillicola crassus* Kuwahara, Niimi & Itagaki, 1974 dans le complexe de zones humides d'El Kala (Nord-Est algérien), *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, n, 31(1), 2009, 45-50 (b).
13. Ladjama I. The parasitic Eel (*Anguilla Anguilla*) captured in the Tonga lake and lagoon El Mellah. Thesis. Magister University badji-Mokhtar Annaba, 2010, 128pages.
14. Kara H, Freshwater fish diversity in Algeria with emphasis on alien species, *Eur J Wildl Res*, 58, 2012, 243–253.
15. Landscape Management Co, *Plan directeur de gestion du Parc National d'El Kala et du complexe des zones humides + 16 cartes au 1/25 000*. Agence nationale pour la conservation de la nature. Algérie, 1998, 234 p.
16. Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GM, A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal.Biol. Chem.* 226, 1957, 497–509.
17. Bradford MM, A rapid and sensitive method of the quantitation microgram quantities of Protein utilising the principal dye binding. *Analytic. Biochem*, 72, 1976, 248-254.
18. Duchateau G, Florkin M, Sur la trehalosemie des insectes et sa signification. *Arch. Insect Physiol, Biochem*, 67, 1959, 306-314.
19. AOAC, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Vol (1) Ed (15) Kenneth Helrich, 1990, 771 pages.
20. Moser HW, Moser AB, Measurement of very long fatty acids in plasma. *Techniques in Diagnostic Human Biochemical Genetics: A Laboratory Manual*. Willey-Liss, Inc, 1991, 177-191.
21. Lepage G, C.C.R, Direct transesterification of all classes of lipids in a one step reaction. *Journ, Lipid, Res*, 27, 1986, 7647-7651.
22. EL Oudiani S, Missaoui H, Oil Soluble Vitamins and Fatty Acids Profile of Smoked European Eel Fillets. *Advances in Bioresearch Volume 4[1]*, March 2013, 86-91 (a).
23. EL Oudiani S, Missaoui H, Seasonal Variation of Fatty Acids Composition in European Eel Muscles from the North East of Tunisia: Bizerte Lagoon, *Advances in Bioresearch Adv.Biores*, Vol 14(3), September 2013, 14-21 (b).
24. Lecomte-Finiger R. Contribution à la connaissance de l'écobiologie de l'anguille, *Anguilla anguilla* L. 1758, des milieux lagunaires méditerranéens du Golfe du Lion : Narbonnais et Roussillon. Thèse de doctorat, Université de Perpignan, (1983), 203 p. + annexes.
25. Piclet G, Le poisson aliment, *Composition-intérêt nutritionnel*, Cah, Nutr, Diet, XXII, 1987, 317-336.
26. Ackman RG, Characteristics of the fatty acid composition and biochemistry of some fresh-water fish oils and lipids in comparison with marine oils and lipids, *Comp Biochem Physiol*, 22, 1967, 907–922.
27. Hui Hong & Hongbing Fan, Hang Wang, Han Lu, Yongkang Luo, Huixing Shen, Seasonal variations of fatty acid profile in different tissues of farmed bighead carp (*Aristichthys nobilis*). *J Food Sci Technol* (February), 52(2), 2015, 903–911.
28. Lauritzen P, Hanse HS, Jorgensen MH, Michaelsen KF, The essentially of long chain (n-3) fatty acids in relation to development and function of the brain and retina. *Progress in lipid. Research*, 40, 2001, 1-94.
29. Sargent I, Henderson RJ, Tocher DR, The lipid. I n: *Fish Nutrition* (Halver J., ed), 1993, 153-218. New-York: Academic Press.
30. Takeuchi T, Shiina Y, Watanabe T, Sekiya S, Imaizumi K, Suitable levels of n-3 highly unsaturated fatty acids in diet

- for fingerlings of yellowtail. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish, 58, 1989, 1341134.
31. Ghazalia N, Dhouha Boussoufaa, Juan C, Navarro, Mhamed El Cafsia, Lipid and fatty acid variations in muscle tissues of the 'yellow' stage of the European eel (*Anguilla Anguilla*) during short-term adaptation to freshwater and seawater under food deprivation, Marine and Freshwater Behaviour and Physiology. Vol. 45, No. 6, 2013, 385–395.
 32. Farkas T, A possible explanation for the differences in the fatty acids composition of fresh water and marine fishes. Amnis Biol Tihany Hung, 38, 1971, 143–152.
 33. Thomson AJ, Sargent JR, Owen JM, Influence of acclimatization temperature and salinity on (Na+ + K+) dependant adenosine triphosphatase and fatty acid composition in the gills of the eel, (*Anguilla Anguilla*), Comp Biochem Physiol Part B. 56, 1977, 223–228.
 34. Cowey CB, Sargent JR, Lipid nutrition in fish, Comp Biochemist Physiol Part B, 57, 1977, 269–273.
 35. Meister R, Wingelstein GZ, Jouanneteau J, Salinité et composition en acides gras des phosphoglycerides tissulaires chez l'Anguille (*Anguilla anguilla*) [Salinity and fatty acid composition of phosphoglycerides tissues in eel (*Anguilla anguilla*)]. Ann Inst Michel P.1973.
 36. HMSO, Nutritional aspects of cardiovascular disease. Report of the Cardiovascular Review Group of the committee on Medical Aspects of food Policy, 1994, London.
 37. Brasseur D, Delzenne N, Henderickx H, Huyghebaert A, Kornitzer M, Recommandations et Allégations concernant les acides gras Oméga-3,2004.
 38. Okland HM, Stoknes LS, Renne J, Kjerstad M, Synnes M, Proximate composition fatty acid and lipid class composition of the muscle from deep-sea teleosts and elasmobranchs, Comp. Biochem, Physiol, 14 OB, 2005, 437-443.

Source of Support: Nil, Conflict of Interest: None.

