



**THESE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE DOCTORAT EN SCIENCES**

Spécialité : Hydrobiologie Marine et Continentale



**Evaluation de la santé d'un écosystème à travers l'utilisation
de l'anguille *Anguilla anguilla* : cas du lac Oubeira et la
lagune El Mellah**

Présentée Par : Mme GOUTAL Yassa

Devant le jury composé de :

Pr NASRI HICHEM	Président	Univ. Chadli Bendjedid- El Tarf
Pr DJEBBARI NAOUËLE	Direct. Thèse	Univ. Chadli Bendjedid- El Tarf
Pr BOUALLEG CHAHINEZ	Examinatrice	Univ. M.C Messaidia- Souk Ahras
Dr DAHEL AMINA TANIA	Examinatrice	Univ. Chadli Bendjedid- El Tarf
Dr MENASRIA AMEL	Examinatrice	Univ. M.C Messaidia- Souk Ahras



Remerciements

Je souhaite tout d'abord exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Je remercie chaleureusement le Professeur **Nasri Hichem** de m'avoir fait l'honneur de présider ce jury. Mes remerciements vont également à **Madame le Professeur Boualleg Chahinez, Madame le Docteur Dahel Amina, et Madame le Docteur Menasria Amel**, rapporteurs de cette thèse, pour l'intérêt qu'elles ont porté à ce travail et pour la qualité de leurs remarques et suggestions.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à **Madame le Professeur Djebbari Naouele**, ma directrice de thèse, pour son encadrement attentif, ses conseils avisés et son accompagnement constant tout au long de ce travail. Je remercie aussi très sincèrement **Monsieur le Professeur Bensouilah Mourad**, pour sa précieuse guidance, son soutien indéfectible et pour la richesse des échanges scientifiques que nous avons partagés, lesquels ont grandement enrichi cette recherche.

Enfin, j'adresse mes remerciements les plus sincères à toutes les personnes, proches ou moins proches, qui m'ont apporté leur aide, leur disponibilité ou leur encouragement à un moment ou à un autre. Qu'elles trouvent ici l'expression de ma reconnaissance profonde.



Dédicaces

*A la mémoire de ma petite sœur « **NOUCHA** », qui nous a quitté très tôt, elle me manque beaucoup.*

Reposes en paix sœurlette ;

Je dédie ce travail à mes parents que j'aime le plus au monde de m'avoir soutenu tous le long de mon

chemin, ma grande sœur, mon petit frère, mes adorables petites nièces « Halla /Maria /Amira » , à

mon beau-frère et ma belle-sœur, à tous ceux que j'aime, et tous ceux qui m'aiment, à toute ma

famille, à mes amies

...je vous dis MERCI



Sommaire

Introduction :.....	
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
I. Présentation de l'anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i>)	5
1.1. Taxonomie et description.....	5
1.2. Histoire et phylogénie	8
1.3. Différenciation entre l'anguille européenne et l'anguille américaine	11
1.4. Cycle de vie.....	14
1.5. Comportement de l'anguille.....	21
1.6. Interactions	23
1.7. Les pathologies chez l'anguille	24
1.8. Contamination virale.....	25
1.9. Contamination bactérienne.....	32
II Présentation des zones d'études	41
1. La lagune Mellah.....	42
2. Le lac Oubeira.....	46
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	51
1-Capture et traitement des anguilles :	51
2. Structure de la sous population d'anguille étudiée :.....	52
2.1 Croissance corporelle:	52
2.2 Stades d'argenteure :.....	54
2.3. Mesure des paramètres anatomiques internes	57
2.4 Otolithométrie :.....	59
3. Parasitisme	63
3.1 Ectoparasites :.....	63
3.2 Endoparasites :	64
3.3 Identification et conservation des parasites :.....	64
3.4 Calcul des indices parasitaires :.....	64
4 Régime alimentaire :	65
CHAPITRE III : Résultats (croissance)	67



1. Lagune El Mellah	67
1.2 Paramètres de croissance des anguilles selon le modèle de von Bertalanffy	68
1.3 Ajustement du modèle de croissance des anguilles de la lagune Mellah	69
1.4 Optimisation du coefficient de croissance (K) des anguilles de la lagune Mellah	70
1.5 Relation entre l'âge et le poids des anguilles de la lagune Mellah	72
1.6 Croissance et condition corporelle des anguilles du lac El Mellah	73
2 Lac Oubeira	78
2.1 Relation âge-longueur des anguilles	78
2.2 Paramètres de croissance des anguilles selon le modèle de von Bertalanffy	79
2.3 Ajustement du modèle de croissance aux données âge-longueur des anguilles du lac Oubeira	80
2.4 Optimisation du coefficient de croissance (K) des anguilles du lac Oubeira	81
2.5 Relation entre l'âge et le poids des anguilles du lac Oubeira	82
2.6 Croissance et condition corporelle des anguilles du lac Oubeira	84
3 Stades d'argenteure :	88
A. Distribution du poids moyen des anguilles capturées en fonction du degré d'argenteure dans les deux sites :	89
B. Distribution de la taille moyenne des anguilles capturées en fonction du degré d'argenteure dans les deux sites :	90
C. Répartition moyenne de l'âge des anguilles capturées en fonction du degré d'argenteure dans les deux sites :	91
D. Distribution moyenne FI des anguilles capturées en fonction du degré d'argenteure dans les deux sites :	92
E. Distribution moyenne de l'OI des anguilles capturées en fonction du degré d'argenteure dans les deux sites :	93
F. Distribution moyenne des GSI, HIS et GI (%) des anguilles capturées en fonction du degré d'argenteure dans les deux sites :	94
CHAPITRE III : Résultats (Parasitisme)	96
1. Parasites rencontrés :	96
2. Diversités parasitaires :	113
2.1. Variation des indices épidémiologiques chez les anguilles étudiées des deux sites :	115
2.2. Variation des indices épidémiologiques chez les anguilles du lac Oubeira :	118
2.3. Variation des indices épidémiologiques chez les anguilles de lagune El Mellah : ..	122



3. Etude statistique :.....	125
CHAPITRE III : Résultats (Régime alimentaire).....	129
1. Analyse de l'état nutritionnel des anguilles échantillonnées :.....	129
1.1 Coefficient de vacuité :	130
1.2 Fréquences d'apparition des proies (F%) :.....	134
CHAPITRE IV : Discussions.....	139
1. Croissance	139
2. Parasitisme	146
3. Régime alimentaire.....	150
CHAPITRE V : Conclusion et Perspectives.....	153
Références bibliographiques.....	154



Liste des figures

FIGURE 1 :ILLUSTRATION DE L'ANGUILLE EUROPEENNE ANGUILLA ANGUILLA (LINNAEUS, 1758), (MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE DE FRANCE, 1992).	
FIGURE 2: MORPHOLOGIE DE L'ANGUILLE EUROPEENNE ANGUILLA ANGUILLA (LINNAEUS, 1758).	
FIGURE 3 : CYCLE DE VIE SEMI-CATADROME DES ESPECES TEMPEREES DU GENRE ANGUILLA. ÉTAPES : 1- REPRODUCTION OCEANIQUE SEMELPARE PANMICTIQUE ; 2- MIGRATION LARVAIRE ; 3- METAMORPHOSE EN CIVELLE ; 4- COLONISATION DES HABITATS DE CROISSANCE ; 5- CROISSANCE CONTINENTALE PLUS OU MOINS SEDENTAIRE ; 6- METAMORPHOSE (ARGENTURE) ET MIGRATION DE DEVALAISON ; 7- MIGRATION DE REPRODUCTION (NAGE ACTIVE ET MATURATION DES GONADES) ; * CATADROMIE FACULTATIVE : CERTAINS INDIVIDUS REALISENT ENTIEREMENT LEUR PHASE DE CROISSANCE EN MILIEUX SALES ET SAUMATRES.	
FIGURE 4 :DISTRIBUTION MONDIALE DES 15 ESPECES ET 6 SOUS-ESPECES D'ANGUILLES ANGUILLA SP.(AOYAMA, 2003).	
FIGURE 5 : LARVE LEPTOCEPHALE DE L'ANGUILLE EUROPEENNE ANGUILLA ANGUILLA (LINNAEUS, 1758).	
FIGURE 6 : ESTIMATION DE LA DUREE DE LA MIGRATION TRANSATLANTIQUE DES LARVES LEPTOCEPHALES VERS LE PLATEAU CONTINENTAL (MODIFIE D'APRES BONHOMMEAU ET AL., 2010).	
FIGURE 7 : JEUNES CIVELLES D'ANGUILLES EUROPEENNES (ANGUILLA ANGUILLA) CAPTUREES PENDANT LEUR MIGRATION ANNUELLE REMONTANT LES RIVIERES DEPUIS LE CANAL DE BRISTOL, NAGEANT DANS UN GRAND BASSIN DE RETENTION AVANT D'ETRE UTILISEES DANS DES PROJETS DE REINTRODUCTION A TRAVERS L'EUROPE.	
FIGURE 8:ANGUILLETTE D'ANGUILLE EUROPEENNE (ANGUILLA ANGUILLA CE MRM, 2011).	
:FIGURE 9 STADE JAUNE D'ANGUILLE EUROPEENNE (ANGUILLA ANGUILLA).(CE MRM, 2012)	
FIGURE 10 : STADE ANGUILLE ARGENTEE DE L'ANGUILLE EUROPEENNE (ANGUILLA ANGUILLA)	
FIGURE 11: LA SEULE ANGUILLE ARGENTEE PHOTOGRAPHIEE PAR 2000 M DE PROFONDEUR (ROBINS ET AL., 1979 ; TIRE DE TAHRI, 2016).	
FIGURE 12: ILLUSTRATION DU CYCLE DE VIE DE L'ANGUILLE EUROPEENNE (ANGUILLA ANGUILLA), (MRM, 2022).	
FIGURE 13: PHOTOGRAPHIES D'ANGUILLE EUROPEENNE INFECTEE PAR LE VIRUS X OU EVEX (CARUSO ET AL., 2014).	
FIGURE 14: ANGUILLE MALADE, ATTEINTE DU VIRUS ANGHV-1, PRESENTANT UNE HEMORRAGIE AU NIVEAU DE LA PEAU (HAENEN ET AL., 2002).	
FIGURE 15 :PAPILLOMATOSE DU TUBE DIGESTIF DE L'ANGUILLE EUROPEENNE. A GAUCHE : STOMATO-PAPILLOME DE L'ANGUILLE EUROPEENNE, ANGUILLA ANGUILLA (L.).A DROITE : COUPE D'UN PETIT PAPILLOME AVEC CONJUNCTIF DU STROMA RAMIFIE, GROSSISSEMENT X18, (PETERS ET PETERS ,1984).	
FIGURE 16 : PHOTO DE JEUNES ANGUILLES EUROPEENNES (CIVELLES) AFFECTEES PAR LISTONELLA (VIBRIO) ANGUILLARUM ET VIBRIO PARAHAEMOLYTICUS ASSOCIEES A UN FLAVOBACTERIUM SP.) (ELIE ET GIRARD, 2009).	
FIGURE 17: CARTE DES ZONES HUMIDES DU PARC NATIONAL D'EL KALA	
FIGURE 18: CARTE REPRESENTANT LA LAGUNE EL MELLAH.FIGURE 19: CARTE BATHYMETRIQUE DE LA LAGUNE DU MELLAH (D'A	
FIGURE 20 : MOUVEMENT DES MASSES D'EAUX SUPERFICIELLES. A: TRAJECTOIRES HYPOTHETIQUES (D'APRES GUELORGET ET AL., 1989). B ET C: MOUVEMENTS RECTILIGNES DES EAUX RESPECTIVEMENT PENDANT LE FLOT ET LE JUSANT (D'APRES MESSERER, 1999).	
FIGURE 21: CARTE REPRESENTANT LE LAC OUBEIRA	



FIGURE 22: RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN DU LAC OUBEIRA (BOUAZOUNI, 2004)	
FIGURE 23 : CARTE ISOBATHE DU LAC OUBEIRA (ALAYAT ET AL., 2009).....	
FIGURE 24 : PHOTO DE NASSE ET SON INSTALLATION (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 25 : MESURES BIOMETRIQUES DES ANGUILLES CAPTUREES (TAILLE / POIDS) (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 26 : MESURE DE LA LONGUEUR DE LA NAGEOIRE PECTORALE, (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 27 MESURE DES DIAMETRES OCULAIRES HORIZONTALE ET VERTICALE (GAUCHE ET DROITE) (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 28: ORGANES PRELEVES APRES DISSECTION (DE GAUCHE A DROITE : A- VESSIE GAZEUSE, B- TUBE DIGESTIF, C- FOIE , D- GONADES ET E - BRANCHIES). (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 29: TUBE DIGESTIF D'ANGUILLES CAPTUREE (PRESENT TRAVAIL).....	
FIGURE 30: TRAITEMENT DES OTOLITHES.....	
FIGURE 31: LOUPE LEICA WILDM3Z.....	
FIGURE 32: INTERPRETATION DES MARQUES DE CROISSANCE A PARTIR D'UN OTOLITHE D'ANGUILLE AGEE DE 55 MOIS (4 ANS+) (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 33: CALCUL THEORIQUE DE L'AGE D'ANGUILLE A PARTIR D'OTOLITHE (PANFILI ET AL., 2002).	
FIGURE 34: AJUSTEMENT DU MODELE DE CROISSANCE DES ANGUILLES DE LA LAGUNE MELLAH.....	
FIGURE 35: OPTIMISATION DU COEFFICIENT DE CROISSANCE (K) DES ANGUILLES DE LA LAGUNE MELLAH.....	
FIGURE 36: RELATION AGE-POIDS DES ANGUILLES DE LA LAGUNE MELLAH.....	
FIGURE 37: ESTIMATION DES PARAMETRES L_{∞} ET K POUR LES ANGUILLES DU LAC EL MELLAH	
FIGURE 38: RELATION TAILLE-POIDS DES ANGUILLES DU LAC EL MELLAH	
FIGURE 39: AJUSTEMENT DU MODELE DE CROISSANCE DES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA.....	
FIGURE 40: OPTIMISATION DU COEFFICIENT DE CROISSANCE (K) DES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA	
FIGURE 41: RELATION AGE-POIDS DES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA	
FIGURE 42: ESTIMATION DES PARAMETRES L_{∞} ET K POUR LES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA.....	
FIGURE 43: RELATION TAILLE-POIDS DES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA	
FIGURE 44: DISTRIBUTION DU POIDS MOYEN DES ANGUILLES CAPTUREES EN FONCTION DU DEGRE D'ARGENTURE	
FIGURE 45: DISTRIBUTION DE LA TAILLE MOYENNE DES ANGUILLES CAPTUREES EN FONCTION DU DEGRE D'ARGENTURE	
FIGURE 46: REPARTITION MOYENNE DE L'AGE DES ANGUILLES CAPTUREES EN FONCTION DU DEGRE D'ARGENTURE	
FIGURE 47: DISTRIBUTION MOYENNE FI DES ANGUILLES CAPTUREES EN FONCTION DU DEGRE D'ARGENTURE	
FIGURE 48: DISTRIBUTION MOYENNE DE L'OI DES ANGUILLES CAPTUREES EN FONCTION DU DEGRE D'ARGENTURE	
FIGURE 49: DISTRIBUTION MOYENNE DES GSI, HIS ET GI (%) DES ANGUILLES CAPTUREES EN FONCTION DU DEGRE D'ARGENTURE.....	
FIGURE 50: MORPHOLOGIE GENERALE DE <i>PSEUDODACTYLOGRUS SP.</i> D'APRES (BUCHMANN ET AL., 1987) / (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 51: MORPHOLOGIE GENERALE DU <i>BUCEPHALUS ANGUILLAE</i> D'APRES (SPAKULOVA ET AL., 2002) / (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 52: MORPHOLOGIE GENERALE DU <i>DEROPRISTIS INFLATA</i> D'APRES (JONES ET AL., 2005). (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 53: MORPHOLOGIE GENERALE D' <i>A. CRASSUS</i> ADULTE : A : REGION ANTERIEURE ; B : FEMELLE, REGION POSTERIEURE ; C : MALE, REGION POSTERIEURE (DUPONT ET PETTER, 1988). (PRESENT TRAVAIL)	



FIGURE 54 : MORPHOLOGIE GENERALE DU <i>CONTRACAECUM SP.</i> (LARVE ENKYSTÉE) (PRESENT TRAVAIL).....	
FIGURE 55: PRELEVEMENT D' <i>EUSTRONGYLIDES SP</i> DANS DIFFERANT TISSUE DE L'ANGUILLE (PRESENT TRAVAIL).....	
FIGURE 56: MORPHOLOGIE GENERALE D' <i>EUSTRONGYLIDES SP</i> (JÄGERSKIÖLD, 1909) A : GERMAN AUGUSTO MURRIETA MOREY ET AL. (2022). B ET C : (PRESENT TRAVAIL).....	
FIGURE 57: PHOTO DU <i>BOTHRIOCEPHALUS CLAVICEPS</i> DE L'ANGUILLE (PRESENT TRAVAIL).....	
FIGURE 58: REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE <i>BOTHRIOCEPHALUS CLAVICEPS</i> (A-C: SCOLEX, D: PROGLOTTIS MATURE, E-F: PROGLOTTIS GRAVIDES, G: ORGANE GENITAL) (SCHOLZ, 1997).	
FIGURE 59: MORPHOLOGIE GENERALE D' <i>ARGULUS SP</i> (PRESENT TRAVAIL).....	
FIGURE 60: SCHEMA D' <i>ARGULUS SP</i> (YAMAGUTI , 1939)	
FIGURE 61: MORPHOLOGIE GENERALE D' <i>ECHYNORHYNCHUS SP.</i> D'APRES (OLGA LISITSYNA 2019). (PRESENT TRAVAIL)	
FIGURE 62: QUELQUES IMAGES DE PLUSIEURS FORMES DE PARASITES MYXOZOAIRES	
FIGURE 63: TAUX D'INFESTATION DES PARASITES RECENSES CHEZ LES ANGUILLES ETUDIER DANS LES DEUX PLANS D'EAU.....	
FIGURE 64: INTENSITE D'INFESTATION DES PARASITES RECENSES CHEZ LES ANGUILLES PEUPLANT LES DEUX PLANS D'EAU.....	
FIGURE 65: ABONDANCE DES PARASITES RECENSES CHEZ LES ANGUILLES PROVENANT DES 2 PLANS D'EAU.....	
FIGURE 66: VARIATION DES INDICES EPIDEMIOLOGIQUES : PREVALENCE (P%) ; ABONDANCE (A) ET INTENSITE MOYENNE (IM) DES PARASITES COMMUNS CHEZ LES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA EN FONCTION DE LEURS CLASSES DE TAILLE	
FIGURE 67: VARIATION DES INDICES EPIDEMIOLOGIQUES : PREVALENCE (P%) ; ABONDANCE(A) ET INTENSITE MOYENNE (IM) DES PARASITES COMMUNS CHEZ LES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA EN FONCTION DE LEURS CLASSES D'AGE.....	
FIGURE 68: VARIATION DES INDICES EPIDEMIOLOGIQUES : PREVALENCE (P%) ; ABONDANCE (A) ET INTENSITE MOYENNE (IM) DES PARASITES COMMUNS CHEZ LES ANGUILLES DE LA LAGUNE D'EL MELLAH EN FONCTION DE LEURS CLASSES DE TAILLE.	
FIGURE 69: VARIATION DES INDICES EPIDEMIOLOGIQUES : PREVALENCE (P%) ; ABONDANCE (A) ET INTENSITE MOYENNE (IM) DES PARASITES COMMUNS CHEZ LES ANGUILLES DE LA LAGUNE D'EL MELLAH EN FONCTION DE LEURS CLASSES D'AGE.....	
FIGURE 70; GRAPHIQUE FORESTIER ILLUSTRANT LES EFFETS DU STADE DE DEVELOPPEMENT, DES TRAITS MORPHOMETRIQUES ET DU SITE SUR L'ABONDANCE DES PARASITES	
FIGURE 71: ÉVOLUTION MENSUELLE DU COEFFICIENT DE VACUITE CHEZ LES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA.....	
FIGURE 72: ÉVOLUTION MENSUELLE DU COEFFICIENT DE VACUITE CHEZ LES ANGUILLES DE LA LAGUNE D'EL MELLAH.....	
FIGURE 73: ÉVOLUTION DU COEFFICIENT DE VACUITE EN FONCTION DE LA CLASSE DE TAILLE DES ANGUILLES DES DEUX SITES.	
FIGURE 74: ÉVOLUTION DU COEFFICIENT DE VACUITE EN FONCTION DE LA CLASSE D'AGE DES ANGUILLES.	
FIGURE 75: FREQUENCES DES PROIES INGÉREES PAR L'ANGUILLE CAPTURÉE AUX DEUX PLANS D'EAUX.	
FIGURE 76: PROPORTIONS DES PROIES INGÉREES PAR LES ANGUILLES DES DIFFÉRENTES CLASSES DE TAILLE.....	
FIGURE 77: PROPORTIONS DES PROIES INGÉREES PAR LES ANGUILLES DES DIFFÉRENTES CLASSES D'AGE DANS LES DEUX PLANS D'EAUX.....	





Liste des tableaux

TABEAU 1 : PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DU LAC OUBEIRA (AC30 INF.29, 2018).....	48
TABEAU 2: COEFFICIENT DE PONDERATION POUR LA DETERMINATION DE CHAQUE STADE DE L'ANGUILLE (DURIF ET AL., 2005).....	57
TABEAU 3: RELATION AGE-LONGUEUR DES ANGUILLES DE LA LAGUNE MELLAH	67
TABEAU 4: PARAMETRES DE CROISSANCE DES ANGUILLES DE LA LAGUNE MELLAH	68
TABEAU 5:RELATION AGE-LONGUEUR DES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA.....	78
TABEAU 6: PARAMETRES DE CROISSANCE DES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA	79
TABEAU 7: CLASSIFICATION DES STADES D'ARGENTURE DES ANGUILLES SELON LEUR PHASE DE MIGRATION ET LEUR DEGRE DE MATURETE SEXUELLE (DURIF ET AL. 2009).....	88
TABEAU 8 : REPARTITION GEOGRAPHIQUE DU GENRE AGULUS SP :.....	109
TABEAU 9 : PARAMETRES EPIDEMIOLOGIQUES : PREVALENCE (P%), ABONDANCE (A) ET INTENSITE MOYENNE (I) DES PARASITES RECENSES CHEZ LES ANGUILLES DU LAC OUBEIRA ET LA LAGUNE EL MELLAH	114
TABEAU 10: COMPARAISONS STATISTIQUES PAR PAIRES ENTRE STADES DE DEVELOPPEMENT SEXUEL CONCERNANT L'ABONDANCE PARASITAIRE CHEZ ANGUILLA ANGUILLA	127
TABEAU 11 : RESULTATS DE L'ANALYSE DES CONTENUS DIGESTIFS DES ANGUILLES CAPTUREES SUR DEUX SITES,.....	129



Introduction

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), espèce emblématique des milieux aquatiques européens et nord-africains, présente un cycle biologique catadrome remarquable. Née dans la mer des Sargasses, elle effectue une migration larvaire transatlantique avant de coloniser une grande variété de milieux dulçaquicoles et estuariens à travers l'Europe et l'Afrique du Nord. Après plusieurs années de croissance dans ces habitats continentaux, elle subit une métamorphose physiologique profonde « l'argenture » marquant le début de sa migration reproductive vers les zones de frai océaniques (Fontaine, 1994 ; Durif et al., 2005).

L'anguille européenne est une espèce en danger critique d'extinction selon l'UICN (Pike et al., 2020). De multiples causes potentielles, le plus souvent synergiques, expliquent le déclin du stock d'anguilles européennes, telles que les changements océaniques affectant la survie des larves, la surpêche, la perte d'habitat, les barrages hydroélectriques, la pollution et les parasites, dans toutes les eaux intérieures (Feunteun, 2002).

Il est donc crucial que des mesures urgentes soient prises pour évaluer et surveiller le stock, mais la complexité de son cycle de vie et la dynamique de sa population rendent très difficile la gestion de ses sous-populations dans l'ensemble de l'aire de distribution où il utilise de nombreux environnements tels que les lagunes, les estuaires, les rivières et les lacs (Dekker, 2003; Dekker & Beaulaton, 2016).

Pour achever leur cycle de vie, les anguilles doivent subir une deuxième métamorphose appelée "argenture" qui marque la fin de la phase de croissance sédentaire et le début de la phase migratoire. Une classification en six stades a été élaborée pour décrire les événements physiologiques et morphologiques qui se produisent au cours de cette métamorphose et de la migration qui s'ensuit (Durif et al., 2000; Fontaine, 1994; Pankhurst, 1982) ; les stades correspondent à une phase de croissance (I à FII), à un stade pré-migrant pour les femelles (FIII) et à des stades de migration pour les deux sexes (FIV, FV et MII) (Durif et al., 2005).

Il est maintenant généralement admis qu'en dépit des incertitudes sur la forme de la relation stock-recrutement, selon (Feunteun 2002), la meilleure façon de mesurer l'effet des



efforts de restauration est d'évaluer la production, la structure de la population (taille, sex-ratio et âge) et le potentiel de reproduction des anguilles argentées.

Une série de menaces ont été impliquées dans le déclin du recrutement et du stock d'anguilles européennes : obstacles à la migration y compris les dommages causés par les turbines et les pompes hydroélectriques ; changement climatique et/ou modifications des courants océaniques ; maladies et parasites (en particulier *Anguillicola crassus*) ; exploitation des civelles, des anguilles jaunes et des anguilles argentées ; changement de l'hydrologie ; perte d'habitat ; polluants ; et prédation. L'importance de ces menaces, prises individuellement ou en synergie, peut varier selon l'aire de répartition spatiale de l'anguille. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour quantifier et comprendre pleinement la complexité des menaces individuelles et combinées (Filippi, 2013).

Comprendre la biodiversité parasitaire de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* dans les plans d'eau méditerranéens côtiers est essentiel pour analyser cet écosystème. En effet, les cycles de vie des parasites, qui sont souvent complexes, sont associés aux chaînes trophiques de l'écosystème, et les parasites constituent ainsi un lien entre les différents étages trophiques (Filippi et al., 2013).

La croissance des anguilles croît avec la température, conformément à ce qui a été démontré en aquaculture (Ciccotti & Fontenelle, 2001; Dosoretz & Degani, 1987; Holmgren, 1996; Sadler, 1979), et le taux de croissance est globalement plus rapide en eau salée qu'en eau douce (Acou et al., 2003; Cairns et al., 2009; Daverat & Tomas, 2006). Par ailleurs, les spécimens récoltés dans les eaux salines ont généralement une teneur en graisse nettement plus élevée et contiennent moins de parasites de la vessie natatoire, *Anguillicola crassus*, et auraient ainsi de meilleures possibilités d'atteindre leurs zones de reproduction (Ices, 2001; Marohn et al., 2013).

La charge corporelle en composés toxiques, supposés affecter la migration de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* et le succès de la reproduction, est également fluctuante selon les régions et les bassins fluviaux, en dépendance de la tension de la pollution locale (Belpaire et al., 2016).

Les menaces susmentionnées, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique, qui incluent, sans s'y limiter, les entraves à la migration, le réchauffement climatique, la disparition et la destruction des habitats, les espèces invasives, le parasitisme, la pollution, la



prédation et l'exploitation insoutenable. Ces pressions cumulatives rendent *Anguilla anguilla* vulnérable et perturbent son cycle de vie et de reproduction, Cette vulnérabilité ne concerne pas seulement l'espèce elle-même, mais pourrait entraîner des répercussions écologiques majeures sur les écosystèmes qu'elle occupe, en compromettant leur équilibre fonctionnel. De plus, la raréfaction de l'anguille affecte les économies locales qui dépendent de cette ressource, notamment les petits pêcheurs et les aquaculteurs, mettant en péril le patrimoine culturel et économique associé à cette espèce emblématique.

En Algérie, un nombre d'investigation a été consacré à l'étude d'au moins un aspect qui concerne *Anguilla anguilla*, y compris : la croissance et le parasitisme (Bakaria et al., 2018; Boudjadi et al., 2009; Derbal & Ariba, 2024; Djebbari et al., 2009; Djouahra & Arab, 2017; Mardja et al., 2019; Nabil et al., 2009; Tahri et al., 2018; Tahri & Bensouilah, 2023; Zard-Gharsallah et al., 2021). Néanmoins, cette recherche demeure l'une des rares études à comparer deux écosystèmes aux caractéristiques distinctes, constituant tous deux des habitats pour l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Elle se penche également sur plusieurs aspects biologiques et écologiques de cette espèce, tout en mettant en évidence les principales menaces qui pèsent sur sa durabilité, permettant ainsi de mieux comprendre les défis liés à sa conservation.

Problématiques et objectifs :

Ce travail de thèse concerne les eaux douces de la partie orientale de l'Algérie (le côté Sud-Ouest de la Méditerranée). D'une manière générale, cette thèse tente, en se basant principalement sur les données acquises relatives à l'anguille européenne dans deux lacs, de répondre aux problématiques suivantes :

- Quel est l'état morphométrique de la population de l'anguille européenne dans les deux lacs ?
- Quel est l'état d'infestation de la population de l'anguille européenne dans les deux sites considérés ?

Afin de répondre aux problématiques soulevées, nous nous sommes fixé les objectifs suivants :

- ✓ Caractériser la croissance des anguilles dans deux milieux contrastés à l'aide de modèles de croissance (von Bertalanffy), et d'évaluer les variations inter-sites.



- ✓ Explorer les dynamiques des stades d'argenture, afin de mieux comprendre les conditions de transition vers la phase migratoire.
- ✓ Évaluer la diversité et la charge parasitaire, en mettant en évidence les relations avec les stades de développement, la taille, l'âge, et les caractéristiques environnementales.
- ✓ Décrire le régime alimentaire et analyser les relations entre la structure trophique, la croissance et la vulnérabilité parasitaire.

En combinant ces axes, cette étude vise à fournir une lecture intégrée de la biologie de *A. anguilla* dans deux écosystèmes algériens – le lac Oubeira et la lagune El Mellah – tout en contribuant à l'effort international de conservation de cette espèce menacée, dans une perspective de gestion durable et de valorisation écologique locale.



1. Présentation de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

1.1. Taxonomie et description

L'anguille d'Europe est un poisson amphihalín thalassotoque, ce qui signifie qu'elle vit à la fois en eau douce, saumâtre et marine. Sur le plan taxonomique, elle appartient au règne animal (*Animalia*), au phylum des chordés (*Chordata*), à la classe des poissons à nageoires rayonnées (*Actinopterygii*), à l'ordre des Anguilliformes, à la famille des Anguillidae (*Anguillidae*) et au genre *Anguilla*. Son nom scientifique complet est *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758 ; Froese et Pauly, 2024) (Fig. 1).



Figure 1 : Illustration de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), (Muséum National d'Histoire Naturelle de France, 1992).

Règne:	Animalia (Animaux)
Embranchement:	Chordata (Chordés)
Sous-embranchement:	Vertebrata (Vertébrés)
Superclasse:	Osteichthyes (Ostéichthyens)
Classe:	Actinopterygii (Poissons à nageoires rayonnées)
Sous-classe:	Neopterygii (Néoptérygiens)
Infraclasse:	Teleostei (Téléostéens)
Superordre:	Elopomorpha (Élopomorphes)
Ordre:	Anguilliformes (Anguilliformes)
Sous-ordre:	Anguilloidei
Famille:	Anguillidae (Anguillidés)
Genre:	<i>Anguilla</i>
Espèce:	<i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758).

L'Anguille européenne, ou *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), est une espèce de poisson reconnaissable facilement (Fig. 1), cet animal présente un corps allongé en forme de serpent,



cylindrique à l'avant et s'aplatissant progressivement vers la région de la queue. Les nageoires pectorales de l'anguille européenne sont de petite taille, et elle possède une nageoire dorsale continue s'étendant de l'anus jusqu'au milieu du dos. Bien que sa peau semble dépourvue d'écailles, elle est en réalité recouverte de minuscules écailles et sécrète un mucus abondant. La couleur de l'anguille européenne varie du jaune au gris-vert foncé, selon son habitat et son stade de maturité. Ce poisson au corps serpentiforme est unique parmi les cinq espèces d'anguilles présentes dans les régions tempérées et subtropicales, étant un grand migrateur amphihalin. Cela signifie qu'il est capable de vivre à la fois en eau douce et en mer, et thalassotoque, migrant entre ces milieux pour se reproduire. L'anguille européenne est une espèce panmictique, ce qui signifie que toutes les populations se reproduisent ensemble, et semelpare, ne se reproduisant qu'une seule fois dans sa vie. Opportuniste et ubiquiste, elle peut exploiter et s'adapter à tous les habitats aquatiques accessibles, ce qui lui confère une grande capacité d'adaptation à des environnements variés (**Helfman et al., 1987; Jellyman, 1989; Moriarty et Dekker, 1997; Ege, 1939; Schmidt, 1922; Fontaine et al., 1982**).

Les anguilles font partie du super-ordre des Elopomorphes, un groupe de téléostéens considérés comme phylogénétiquement anciens. Au sein de ce super-ordre, l'ordre le plus ancien est celui des Elopiformes (tarpons), qui a évolué à partir de l'ancêtre commun des Elopomorphes. Cette diversification a conduit à l'émergence de l'ordre des Albuliformes et de la clade comprenant les Anguilliformes (anguilles) et les Saccopharyngiformes (grand-gousiers abyssaux), caractérisés par une nageoire caudale filiforme. Les Elopomorphes sont considérés comme un groupe monophylétique (**Inoue et al., 2010**).

Les Elopomorphes se distinguent par leur larve leptocéphale, qui est iso-osmotique avec son environnement. Évolutivement, la larve leptocéphale peut être vue comme un moyen pour les poissons actinoptérygiens de se libérer de la dépendance à l'eau douce durant leur phase larvaire. Cette caractéristique est considérée comme primitive, puisque l'évolution ultérieure des poissons leur a permis d'assurer la régulation osmotique durant la phase larvaire (**Hulet et Robins, 1989**). Cette théorie est soutenue par le développement tardif des cellules à chlorure branchiales chez les leptocéphales (**Kaneko et al., 2003; Sasai et al., 2007**).

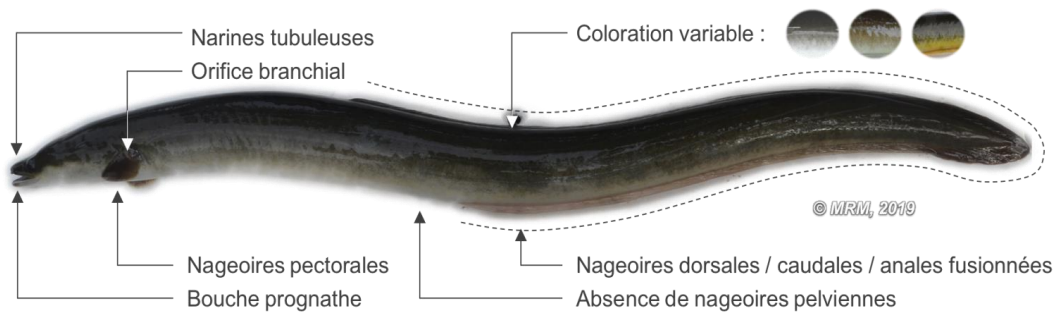


Figure 2: Morphologie de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758).

Bien qu'**Ege (1939)** a proposé une classification du genre *Anguilla* basée sur la morphologie de la mâchoire supérieure, l'apparence marbrée ou non de la peau, et la longueur de la nageoire dorsale. Cette classification a été révisée grâce à l'examen de l'ADN mitochondrial des anguilles ainsi que d'autres outils. Le genre *Anguilla* comprend 18 espèces (**Dijkstra et Jellyman, 1999; Aoyama, 2003; Tesch, 2003; Watanabe, 2005; Watanabe et al., 2009 ; Tahri , 2016 ; Tsukamoto et al., 2020; Froese et Pauly, 2024**).

Ce poisson possède une grande adaptabilité et peut être trouvé dans une variété d'habitats, des estuaires et des lagunes côtières aux eaux douces des rivières, lacs et canaux. Son cycle de vie est complexe, avec des migrations entre différents environnements pour se nourrir, se développer et se reproduire (**Fig. 3**).

L'Anguille d'Europe est largement exploitée par l'homme à différentes étapes de son cycle de vie, depuis la civelle (stade larvaire) jusqu'à l'anguille argentée. Cette exploitation intensive, couplée à la demande croissante sur les marchés internationaux, a conduit à une surexploitation des populations naturelles.

Cette surexploitation a eu des conséquences graves, notamment un déclin généralisé des stocks d'anguilles dans toute leur aire de répartition. Les études montrent des taux de capture extrêmement bas et une raréfaction des larves arrivant aux côtes, ce qui met en péril la survie à long terme de l'espèce.

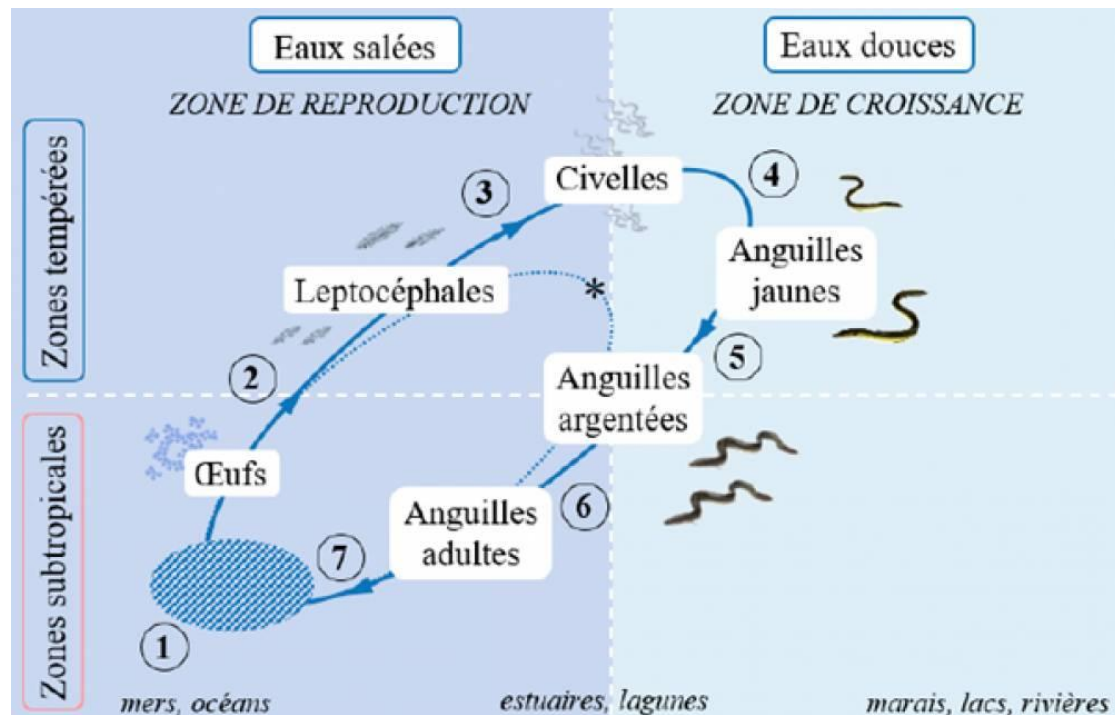


Figure 3 : Cycle de vie semi-catadrome des espèces tempérées du genre *Anguilla*. Étapes : 1- reproduction océanique semelpare panmixtique ; 2- migration larvaire ; 3- métamorphose en civelle ; 4- colonisation des habitats de croissance ; 5- croissance continentale plus ou moins sédentaire ; 6- métamorphose (argente) et migration de dévalaison ; 7- migration de reproduction (nage active et maturation des gonades) ; * catadromie facultative : certains individus réalisent entièrement leur phase de croissance en milieux salés et saumâtres. D'après Tesch (2003) et Tsukamoto et *al.* (2002).

Face à ces défis, la conservation et la gestion des populations d'Anguille d'Europe sont devenues des priorités. Des mesures sont nécessaires pour limiter la pression de pêche, restaurer les habitats dégradés et faciliter la migration des anguilles vers leurs zones de reproduction. Cela nécessite une action concertée à l'échelle nationale et internationale pour assurer la préservation de cette espèce emblématique de nos cours d'eau.

1.2. Histoire et phylogénie

De nos jours le genre *Anguilla* compte 18 espèces, toute fois il existe plusieurs litiges notamment sur *A. australis*, (Dijkstra et Jellyman, 1999 ; Tahri, 2016), ils peuplent la presque la totalité des côtes mondiales sauf l'Atlantique Sud, le Pacifique Est et les régions polaires (Ege, 1939 ; Tahri, 2016) (Fig. 4). Cinq espèces seulement sont tempérées et toutes les autres réalisent leur cycle de vie totalement en milieu tropical (Tahri, 2016).

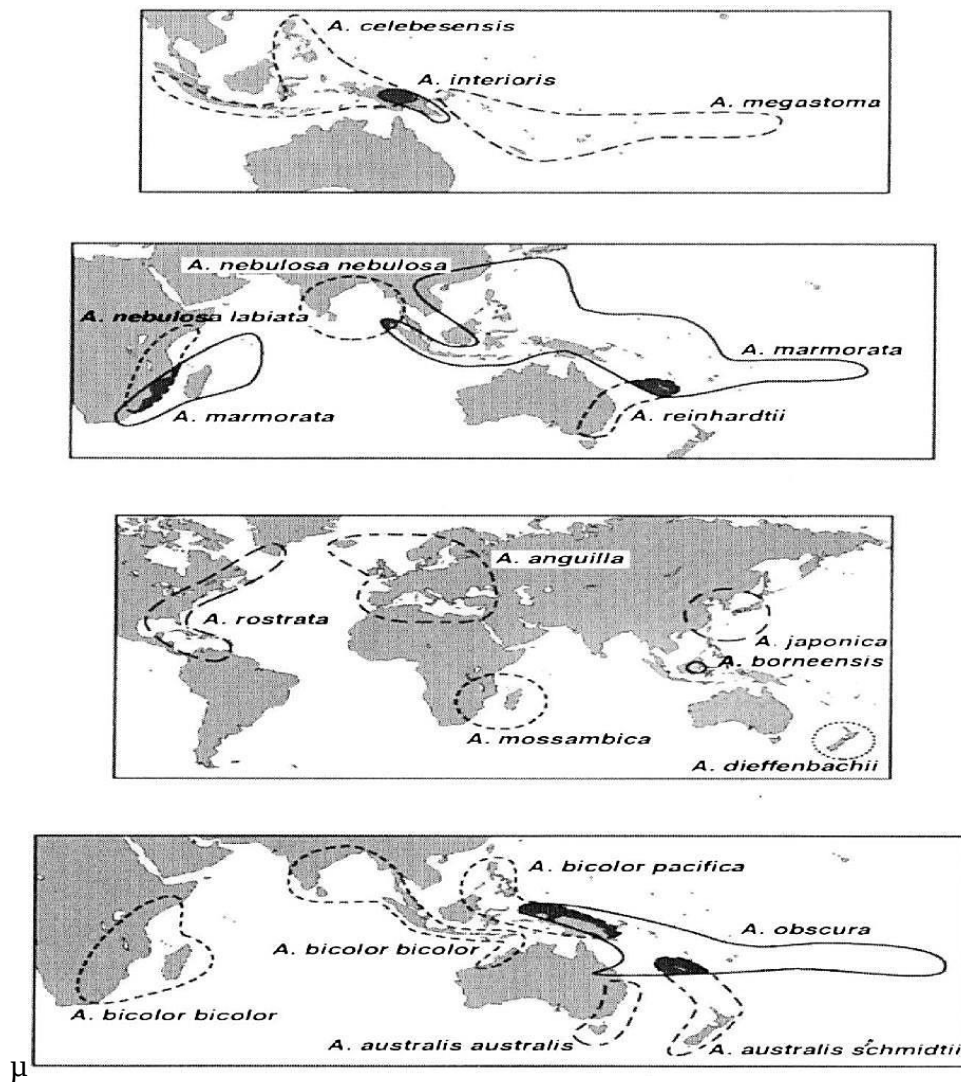


Figure 4 : Distribution mondiale des 15 espèces et 6 sous-espèces d'*Anguilla anguilla* sp. (Aoyama, 2003).

Les anguilles sont considérées comme originaires de la zone tropicale de l'océan Indo-Pacifique, notamment autour de l'Indonésie (Bertin, 1951; Tsukamoto et Aoyama, 1998; Lin et al., 2001; Lecomte-Finiger et al., 2004). L'espèce la plus ancestrale, *A. borneensis*, est encore sujette à débat (Aoyama et al., 2001 in Aoyama, 2003) ou *A. marmorata* (Bastrop et al., 2000; Lin et al., 2001), avec une revue de (Aoyama 2003). Les différences dans les arbres de classification peuvent être dues au nombre d'espèces étudiées, au type de marqueur génétique et à l'analyse effectuée (Tesch, 2003), ainsi qu'au choix d'un groupe externe (e.g., *Congridae*) et à l'identification taxonomique des individus (Aoyama, 2003).

L'origine des anguilles de l'Atlantique est également controversée, avec des revues par (Aoyama 003) et (Tesch 2003). Quatre routes possibles depuis l'océan Pacifique sont mentionnées : l'océan Arctique, l'isthme de Panama, le Cap de Bonne-Espérance puis



l'Atlantique-Sud, et enfin la mer de Thétys avant sa fermeture. Le passage par l'Arctique est jugé improbable en raison de la longueur de la migration et des mauvaises conditions trophiques. L'absence d'anguilles dans le Pacifique oriental, et la proximité entre les espèces européennes et *A. mossambica* et *A. australis*, conduit (Tsukamoto et Aoyama 1998) à rejeter la migration par Panama entre les Amériques. Ils supposent que la dispersion s'est faite via un courant circum-équatorial global existant après la séparation de la Pangée au Trias (200 Ma), permettant la migration des anguilles dans l'Atlantique. La séparation des anguilles atlantiques aurait ensuite eu lieu il y a 10 millions d'années. Les auteurs spéculent que l'horloge moléculaire du genre *Anguilla* est lente, et que sa séparation se serait faite il y a plus de 50 à 60 Ma. Cette hypothèse est contestée par (Bastrop et al. 2000) et (Lin et al. 2001) qui utilisent une horloge conventionnelle, estimant la diversification du genre *Anguilla* à 28 et 20 millions d'années respectivement. Dans cette configuration, le passage par la mer de Thétys est impossible et les auteurs spéculent que l'entrée dans l'Atlantique s'est faite par Panama, il y a 3 Ma, bien que l'arbre phylogénétique ne montre pas de parenté entre les anguilles atlantiques et le groupe des anguilles du Pacifique (*A. celebesensis* et *A. megastoma*). Cette hypothèse semble confirmée par le plus vieux fossile d'anguille trouvé dans des sites archéologiques (Kettle et al., 2008).

La proximité dans les principales études entre les espèces atlantiques (*A. rostrata*, *A. anguilla*), indiennes (*A. marmorata*) et océaniques (*A. dieffenbachii* et *A. australis*) reste un élément important dans les hypothèses sur les routes de migration. De plus, (Bastrop et al. 2000) ne trouvent pas de différence entre *A. reinhardtii* du Sud-Pacifique et *A. mossambica*, les assignant alors à une seule espèce. La migration aurait pu se faire à partir de Panama, nécessitant une migration larvaire sur une très grande distance pour une espèce tropicale dont dérivent les espèces tempérées (Aoyama, 2003), ou par l'Atlantique sud, où des modifications de courant auraient entraîné la disparition d'une espèce.

Anguilla luzonensis, une nouvelle espèce d'anguille d'eau douce de la famille des *Anguillidae*, est décrite à partir de 29 spécimens collectés dans le système fluvial Pinacanauan, un affluent du fleuve Cagayan au nord de l'île de Luzon aux Philippines. La nouvelle espèce et *A. celebesensis*, qui est distribuée dans la même région, ont toutes deux des marques de couleur variées et de larges bandes maxillaires de dents, mais présentent des différences morphologiques, ainsi que l'état des connaissances actuelles sur la taxonomie, la génétique et



l'écologie des anguillidés, ne laissent aucun doute sur la présence de la nouvelle espèce *A. luzonensis* dans la région du Nord de l'île de Luzon aux Philippines (Watanabe et al., 2009).

1.3. Différenciation entre l'anguille européenne et l'anguille américaine

Anguilla rostrata a longtemps suscité des controverses quant à son statut taxonomique depuis sa description par Lesueur en 1817. Dans le bassin de l'océan Atlantique, l'anguille présente à l'Est en Amérique était souvent perçue comme une forme de celle retrouvée en Europe, *Anguilla anguilla*. Les informations biologiques sur l'anguille européenne ont parfois été appliquées directement à l'espèce américaine (Montpetit, 1897; Bigelow et Welsh, 1925; Hildebrand et Schroeder, 1928). Les deux espèces sont proches génétiquement et peuvent s'hybrider (Williams et al., 1984; Avise et al., 1990). En effet, leurs aires de reproduction se chevauchent et les leptocéphales des deux espèces peuvent être capturés ensemble (Schmidt, 1925; Beebe et Tee-Van, 1934).

(Meek 1883) a considéré, sur la base d'une comparaison morphométrique de petits échantillons, les deux espèces comme des variétés géographiques d'une seule population. (Jordan et Evermann 1896) ont également postulé qu'*Anguilla rostrata* serait une sous-espèce d'*A. anguilla*. (Tucker 1959) a proposé une idée controversée selon laquelle les anguilles de l'Atlantique seraient des éco-phénotypes d'une seule population, avec l'anguille européenne ne retournant pas au site de frai ancestral et mourant en eaux continentales, et les populations européennes étant maintenues par la dispersion des larves de l'anguille américaine. Cette hypothèse a été débattue et a orienté de nombreuses études visant à différencier les deux espèces. (D'Ancona 1959) et (Deelder 1960) ont avancé des contre-arguments basés sur des observations, tandis que (Mc Cleave et Harden-Jones 1979) ont critiqué l'ensemble du débat en soulignant les lacunes dans les connaissances. Bien que l'hypothèse de (Tucker 1959) ait été infirmée, le degré de séparation entre les deux espèces reste à établir. Tucker a souligné que la détermination du cycle vital par (Schmidt 1925) reposait en partie sur des évidences circonstancielle, complétées plus tard par (Boetius et Harding 1985).

Indépendamment de l'intervalle de développement considéré, les deux espèces sont si similaires qu'il est impossible de les distinguer par simple observation macroscopique. Le nombre total de vertèbres (NTV) constitue le principal caractère permettant de séparer *A.*



rostrata et *A. anguilla* (Schmidt, 1914; Ege, 1939). *A. rostrata* possède de 103 à 111 vertèbres, avec une moyenne de 107, tandis qu'*A. anguilla* en a de 110 à 120 (Boetius, 1980). Les comparaisons d'échantillons de diverses origines géographiques pour les deux espèces n'ont révélé aucune "race", soulignant l'homogénéité des populations étudiées (Schmidt, 1914, 1916). Pour *A. anguilla*, (Schmidt 1914) avait observé une légère variation de la distance ano-dorsale en fonction de la latitude. (Boetius et Harding 1985) ont déterminé que Schmidt ne disposait pas d'assez de données pour conclure sur l'homogénéité de la population européenne.

La détermination du niveau de séparation entre *A. rostrata* et *A. anguilla* a orienté de nombreuses études cherchant à découvrir des marqueurs moléculaires reflétant une variabilité génétique plus facilement interprétable que les données morphologiques et méristiques classiques. (Gyllensten 1985) a constaté que la variabilité génétique était plus grande pour les espèces marines que pour celles d'eau douce, et intermédiaire pour les espèces anadromes, attribuant ces différences à une taille de population plus grande et un taux de migration plus élevé chez les espèces marines. (Levins 1968) a montré que les organismes vivant dans des milieux changeants présentent plus de variabilité génétique que ceux vivant en conditions plus stables. (Rodino et Comparini 1978 a) ont révélé une forte variabilité génétique chez *A. anguilla*, avec 65% des loci polymorphes et 18% d'hétérozygotie, conférant des caractéristiques uniques à ce groupe. Une panmixie complète pour l'anguille impliquerait que le pool génique commun soit renouvelé chaque année par des géniteurs issus de divers micro-habitats répartis sur une vaste région, contribuant à maintenir un niveau élevé de variabilité génétique.

(Jacobsen et al. 017) ont affirmé dans leur étude que comprendre les barrières au flux génétique est crucial pour appréhender la dynamique de la spéciation. Nous avons étudié les mécanismes pré- et post-zygotiques agissant entre les deux espèces d'anguilles atlantiques hybrides : *Anguilla anguilla* et *A. rostrata*. La variation temporelle de l'hybridation a été examinée en analysant 85 polymorphismes nucléotidiques simples (SNPs) diagnostiques d'espèces ($F_{ST} \geq 0.95$) dans les larves d'anguilles échantillonnées dans la région de frai dans la mer des Sargasses en 2007 (N=92) et en 2014 (N=460). Nous avons également étudié si les génotypes de ces SNPs étaient distribués de manière non aléatoire chez les hybrides post-F1, ce qui indiquerait une sélection. Enfin, nous avons séquencé les gènes mitochondriaux ATP6 et nucléaires ATP5c1 chez 19 hybrides, identifiés à l'aide de données de Séquençage de SNP



et d'ADN associé à un site de restriction (RAD), pour tester une hypothèse précédente d'incompatibilité cyto-nucléaire menant à un dysfonctionnement de l'ATP synthase et à une sélection contre les hybrides.

Aucun hybride F1 n'a été observé dans la mer des Sargasses en 2007 et 2014, seulement des rétrocroisements ultérieurs. Cela suggère que l'hybridation entre les deux espèces ne se produit que certaines années, possiblement contrôlé par les conditions environnementales des zones de frai, ou que l'hybridation a diminuées avec le temps en raison d'une diminution du nombre de reproducteurs. De plus, une sélection potentielle a été trouvée au niveau nucléaire et cyto-nucléaire. Néanmoins, un individu du stade civelle a montré une discordance, impliquant un haplotype américain ATP6 et des allèles européens ATP5c1. Cela contredit la présence d'incompatibilité cyto-nucléaire (Jacobsen et al., 2017).

Les anguilles européennes (*Anguilla anguilla*) et américaines (*Anguilla rostrata*) présentent des comportements de reproduction complexes qui ont fait l'objet de diverses études. Ces deux espèces se reproduisent dans la mer des Sargasses, offrant des possibilités d'hybridation. (Pujolar et al., 2014) ont utilisé une approche de séquençage RAD pour identifier des SNPs (single-nucleotide polymorphisms) spécifiques à chaque espèce pour analyser les échantillons d'anguilles. Ils ont étudié des anguilles d'Islande et des îles Féroé ainsi que des larves collectées dans la mer des Sargasses. Les résultats ont montré que la majorité des anguilles islandaises sont des anguilles européennes pures, mais environ 10,7 % des échantillons présentaient une lignée mixte, incluant des hybrides F1 et des backcrosses de première et deuxième génération. En revanche, aucune hybridation n'a été observée aux îles Féroé, suggérant une possible variation temporelle dans la survenue de l'hybridation (Pujolar et al., 2014).

(Nikolic et al., 2019) ont approfondi cette recherche en sélectionnant deux anguilles de chaque espèce et deux hybrides F1 pour le séquençage complet du génome. Les auteurs ont confirmé l'identité des hybrides F1 en utilisant des marqueurs génétiques diagnostiques de (Pujolar et al., 2014), mettant ainsi en évidence de manière précise et rigoureuse la présence de ces hybrides dans leurs échantillons. Leur étude a exploré la spéciation dans les environnements océaniques, où les barrières au flux génétique sont moins nombreuses comparées aux environnements terrestres. Ils ont constaté que les anguilles américaines et européennes montrent une distribution continentale disjointe mais se reproduisent dans des régions qui se chevauchent dans la mer des Sargasses. L'analyse de la spéciation a révélé que



la spéciation par vicariance est plus probable que la spéciation sympatrique, probablement influencée par les cycles de glaciation du Pléistocène et les changements de courants océaniques. Les résultats ont également montré que 64 % du génome des anguilles européennes et américaines subissaient un flux génétique restreint, renforçant l'idée de vicariance (Nikolic et al., 2019).

Les deux études montrent que bien que l'hybridation se produise en mer des Sargasses, elle n'est pas généralisée à toutes les régions. Les larves leptocéphales, issues de cette hybridation, sont transportées par les courants jusqu'en Islande, où elles ont été observées principalement. (Nikolic et al. 2019) ont particulièrement mis en évidence les hybrides F1 dans leur étude en utilisant des approches génomiques avancées comme le spectre de fréquence des allèles communs (JAFS) et l'analyse de coalescence de Markov séquentielle par paires (PSMC). Ces analyses ont soutenu une histoire de spéciation complexe marquée par des périodes de séparation et de contact secondaire. Les résultats fournissent des preuves solides contre la spéciation sympatrique dans les anguilles nord-atlantiques, soulignant l'importance des facteurs paléo-océanographiques dans la promotion de la vicariance et de la spéciation allopatrique (Nikolic et al., 2019).

1.4. Cycle de vie

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) est une espèce migratrice amphihaline et thalassotoque, dont la reproduction se situe en mer des Sargasses ($48^{\circ}\text{O} < \text{longitude} < 74^{\circ}\text{O}$, $23^{\circ}\text{N} < \text{latitude} < 30^{\circ}\text{N}$) (Schmidt, 1922, 1923, 1925). Cette conclusion repose sur l'analyse spatio-temporelle des larves leptocéphales de différentes tailles prélevées dans l'Atlantique Nord. Cependant, aucune anguille adulte n'a jamais été capturée en mer des Sargasses (Fig.5).

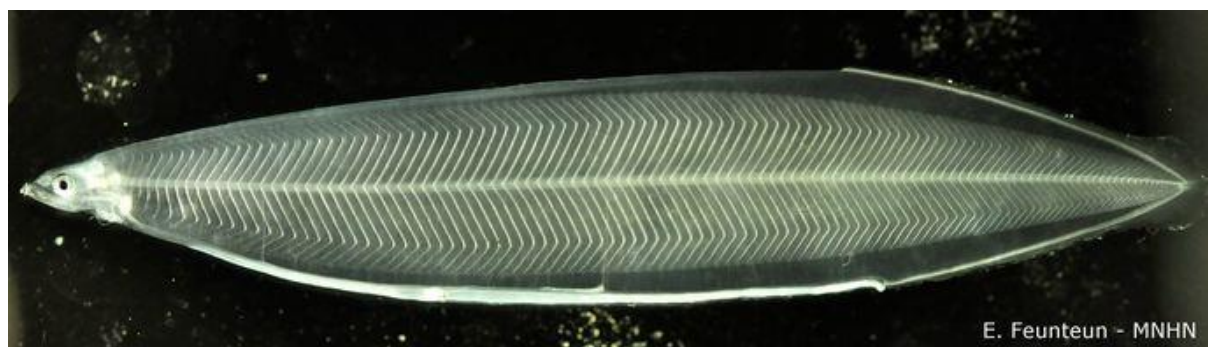


Figure 5 : Larve leptocéphale de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758).



La période de reproduction s'étend de mars à juin, avec un pic en avril (Schmidt, 1925). Selon (McCleave et al. 1987), les leptocephales mesurent moins de 10 mm après l'éclosion. Ces larves ont un corps cristallin ou transparent, de forme foliacée et comprimé latéralement. Ce stade larvaire allongé se termine par une pointe arrondie ou effilée. La tête est proportionnellement petite par rapport au reste du corps (Bertin, 1951 ; Lecomte-Finiger et al., 2004) (Fig. 5). Les leptocephales ont un mode de vie planctonique et se nourrissent de "neige marine", une matière organique particulaire, pendant leur migration transocéanique vers les continents (Bertin, 1951 ; Otake et al., 1993).

Les mécanismes par lesquels les leptocephales atteignent les côtes européennes et nord-africaines ne sont toujours pas bien compris. Toutefois, il est généralement admis qu'elles sont entraînées par le courant océanique nord équatorial, le Gulf Stream, puis par la Dérive Nord-Atlantique (Schmidt, 1909 ; Bertin, 1951). Cette migration vers le plateau continental est estimée à deux ans en moyenne (Bonhommeau et al., 2010 ; Zenimoto et al., 2011), alors que Schmidt l'avait initialement estimée entre 2,5 et 3 ans.

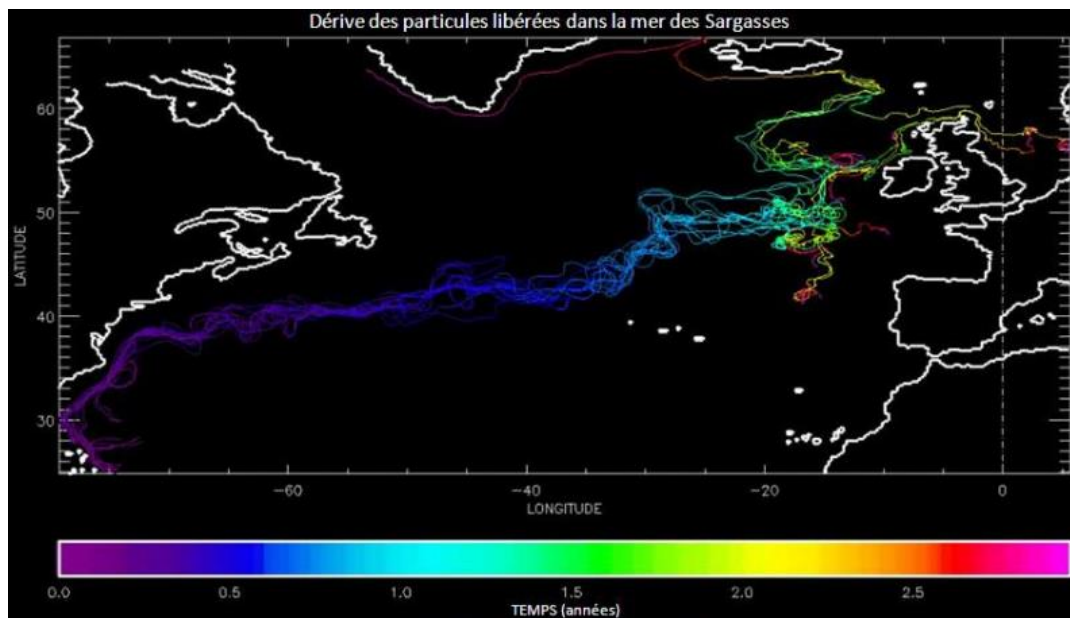


Figure 6 : Estimation de la durée de la migration transatlantique des larves leptocephales vers le plateau continental (Modifié d'après Bonhommeau et al., 2010).

Par ailleurs, ces larves pélagiques semblent effectuer des migrations nycthémerales en suivant les positions du zooplancton. En effet, les leptocephales se retrouvent proches de la surface



pendant la nuit, et elles se positionnent, dès le lever du soleil vers les couches d'eau plus profondes (Tesch, 2003 ; Kajihara et al., 1988 ; Aoyama et al., 1999).

La distribution des larves leptocéphales dans l'océan serait donc due à une migration horizontale plus ou moins passive, modulée par des déplacements verticaux et nycthéméraux, couplée à une grande variabilité océanique et au hasard (Lecomte-Finiger et al., 2004). (Bertin 1951) avait déjà décrit ce phénomène en se basant sur des travaux plus anciens.

S'approchant du plateau continental, les larves leptocéphales subissent une métamorphose pour devenir des civelles, longues et cylindriques, et transparentes (Schmidt, 1909; Powles et Warlen, 2001) (Fig.7). Cette transformation inclut des changements morphologiques, physiologiques et comportementaux significatifs (Elie, 1979; Elie et al., 1982; Elie et Rochard, 1994). On observe une réduction de la taille (Schmidt, 1909b; Tesch, 2003), le développement de l'intestin (Vilter, 1945), une adaptation osmotique (Ciccotti et al., 1993; Wilson et al., 2004), et des modifications hormonales (Jegstrup et Rosenkilde, 2003). Plusieurs études suggèrent que les larves et post-larves d'anguilles ne se nourrissent pas durant la métamorphose jusqu'à leur arrivée en eau littorale et continentale. La fin de la métamorphose est marquée par l'apparition de la mélanogenèse (Elie, 1979; Elie et al., 1982). À ce stade, les civelles mesurent jusqu'à 100 mm lorsqu'elles atteignent le talus continental. Les arrivées sur le littoral se concentrent en janvier ou février sur l'Atlantique (Elie et Rochard, 1994), et sont plus tardives en mer du Nord et dans la partie orientale de la Méditerranée (Bertin, 1951; Elie, 1979; Feunteun et al., 1991).

Les civelles migrent passivement vers les estuaires en utilisant la marée montante (Elie, 1979; McCleave et Kleckner, 1982; Gascuel, 1986). Au printemps, elles adoptent un comportement de nage active vers l'amont (nage contranatante), en plus d'être transportées par la marée. Ce comportement leur permet de progresser au-delà des zones de marée et de coloniser le système fluvial. Les trois premières années de leur vie sont souvent consacrées à cette colonisation, s'éloignant progressivement des embouchures estuariennes ou lagunaires (P. Elie, com. pers.). L'hydrotropisme et le rhéotropisme, qui les incitent à remonter les cours d'eau à contre-courant, sont les principaux phénomènes guidant les civelles vers l'amont (Edeline et al., 2005; Imbert et al., 2010).



Figure 7 : Jeunes civelles d'anguilles européennes (*Anguilla anguilla*) capturées pendant leur migration annuelle remontant les rivières depuis le canal de Bristol, nageant dans un grand bassin de rétention avant d'être utilisées dans des projets de réintroduction à travers l'Europe.

De plus, les civelles sont attirées par les médiateurs chimiques les guidant vers l'eau douce (McCleave et Kleckner, 1982; Sorensen, 1986; Sola et Tongiorgi, 1996). Elles peuvent coloniser divers milieux : fleuves, rivières, estuaires, marais, lagunes, lacs et herbiers littoraux (Elie, 1999). Celles qui colonisent les eaux douces subissent une phase de transition pour s'adapter à ce nouvel environnement (Ciccotti et al., 1993; Birrel et al., 2000), et commencent à se nourrir (Elie et al., 1982; Bardonnet et Riera, 2005). Un processus de pigmentation progressif s'installe et elles se transforment en anguillettes de 9 à 10 cm de long (Elie, 1979; Elie et al., 1982). Cette phase de transition peut durer de quelques jours à quelques semaines, voire à quelques mois selon les conditions de température et de salinité (Edeline et al., 2005; Briand et al., 2005) (Fig. 7).



Figure 8: Anguilllette d'anguille européenne (*Anguilla anguilla* CE MRM, 2011).

Durant cette migration anadrome, les civelles se pigmentent progressivement pour atteindre le stade "jaune" et se sédentarisent dans les milieux dulçaquicoles et saumâtres (**Fig.8**). La croissance des anguilles jaunes dure de 5 à 15 ans pour les femelles et de 3 à 9 ans pour les mâles (**Tesch, 2003**).



Figure 9 : Stade jaune d'anguille européenne (*Anguilla anguilla*). (CE MRM, 2012)



À la fin de cette période, les anguilles subissent une seconde métamorphose en anguilles argentées (**Figure 10**), appelée argenture. Cette transformation implique des modifications morphologiques et physiologiques pour préparer l'anguille à la migration transocéanique et à la reproduction en mer des Sargasses, incluant des adaptations à l'environnement marin, l'arrêt de la croissance, des ajustements pour la migration et la maturation des gonades (**Lecomte-Finiger, 1990 ; Fontaine, 1994**).



Figure 10 : Stade Anguille argentée de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Sirugue & Goutagny ,2015).

Une fois métamorphosées, les anguilles entreprennent une migration catadrome et transatlantique de 6 à 9 mois pour compléter leur cycle de vie. La capacité énergétique des anguilles pour nager 6000 km à jeun a été débattue. (**Tucker .,1959**) a suggéré que les réserves énergétiques des anguilles européennes étaient insuffisantes pour cette migration, ce qui a conduit à des hypothèses sur leur origine. Cependant, des études récentes ont montré que les anguilles argentées utilisent environ 40% de leurs réserves énergétiques pour la migration, les 60% restants étant suffisants pour la maturation des gonades (**van Ginneken et van den Thillart, 2000**). De plus, des expériences ont démontré que les anguilles jaunes pouvaient nager pendant 117 jours sans manger, couvrant plus de 5500 km avec une dépense énergétique bien moindre que chez les salmonidés (**van den Thillart et al., 2004 ; van Ginneken et al., 2005a**).



La ponte des anguilles en mer des Sargasses n'a jamais été directement observée (**Fazio, 2009**). En 1979, Robins et ses collègues ont photographié une anguille sexuellement mature à plus de 2000 m de profondeur (**Fig.11**) près des Bahamas (**Robins et al., 1979**). Des études en mésocosme ont montré que la pression influence la maturation sexuelle des anguilles, suggérant une migration à des profondeurs variables (**Dufour et Fontaine, 1985 ; Fontaine et al., 1987**). (**Van Ginneken et al. 2005b**) ont observé le comportement de reproduction d'anguilles dont la maturation avait été induite par traitement hormonal, notant des interactions suggérant une ponte collective influencée par des phéromones, sans soin parental pour les œufs.

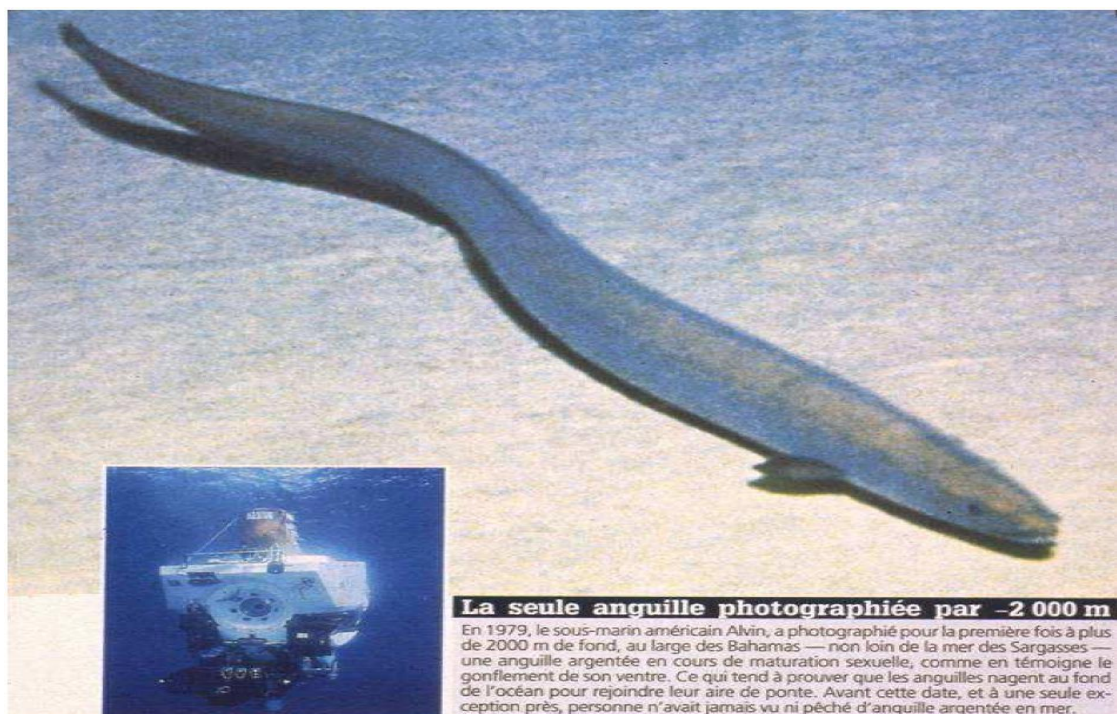


Figure 11: La seule anguille argentée photographiée par 2000 m de profondeur (Robins et al., 1979 ; tirée de Tahri, 2016).

La reproduction dans l'océan Atlantique en mer des Sargasses marque la fin du cycle de vie des anguilles européennes (**Figure 12**), dont certains aspects restent encore mystérieux. Les recherches se poursuivent pour mieux comprendre la reproduction de ce poisson en termes physiologiques, environnementaux et géographiques. Le développement des technologies de suivi des individus et d'analyses ainsi que l'acquisition de nouvelles données devraient bientôt permettre de répondre à certaines questions.

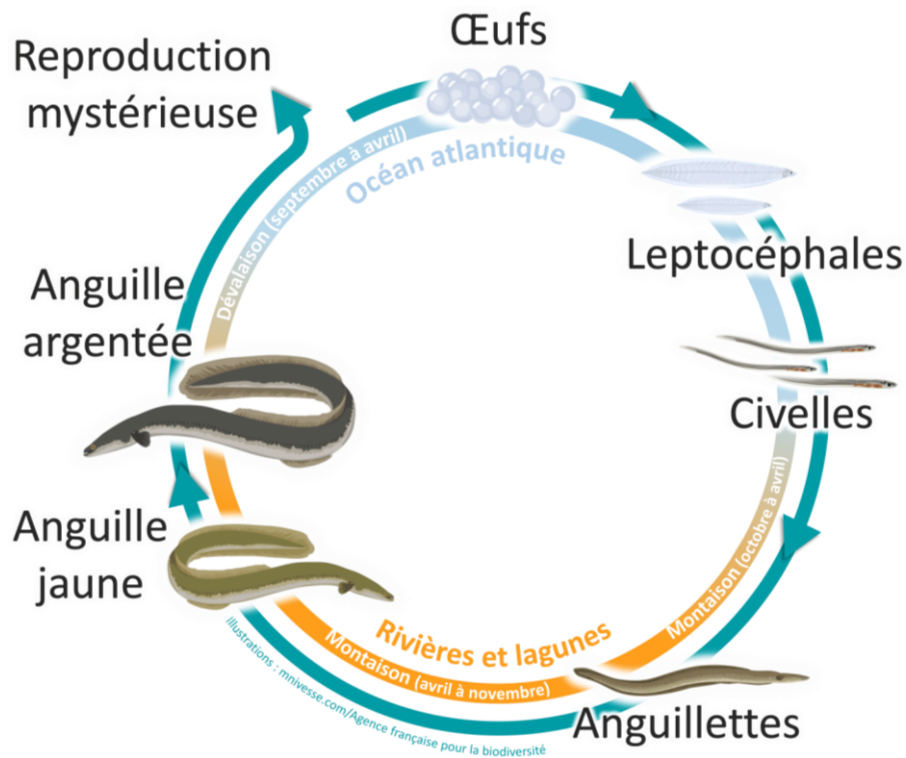


Figure 12: Illustration du cycle de vie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), (MRM, 2022).

1.5 Comportement de l'anguille

On connaît très peu de choses sur le régime alimentaire des leptocéphales, excepté qu'ils consomment du plancton (Kracht et Tesch, 1981). En se basant sur la taille, la transparence et la dentition des leptocéphales, (Westerberg 1990) a émis l'hypothèse que les proies potentielles parmi le zooplancton devraient être relativement grandes, transparentes et de consistance gélatineuse (Knutsen et al., 2021). Les informations sur l'alimentation des civelles en milieu marin sont également rares. Il est supposé qu'elles ne se nourrissent pas pendant la métamorphose (Bertin, 1951). Pour les spécimens d'*Anguilla anguilla* en cours de pigmentation, certaines caractéristiques morphologiques et physiologiques suggèrent qu'elles seraient incapables de s'alimenter (Lecomte-Finiger, 1983). Les expériences en aquarium réalisées à différents stades ont donné des résultats contradictoires (Tesch, 1977 ; Lecomte-Finiger, 1983). (Selon Tesch 1977), les premiers organismes ingérés par des spécimens d'*A. anguilla* provenant de milieux naturels apparaissent uniquement au stade VIA4, tel que défini par (Elie et al., 1982).



Les anguilles, en plus de se nourrir par succion (inertial feeding) et par « préhension brassage » (grasp and shake), peuvent également déchiqeter de grandes proies par rotation du corps (spin feeding) (Tesch, 1977; Deelder, 1984; Helfman et Clark, 1986; Helfman et Winkelman, 1991). Ce comportement, observé chez relativement peu de groupes, leur confère une remarquable plasticité alimentaire. Il leur permet de consommer partiellement de grandes proies (Wenner et Musick, 1975), malgré l'absence d'une dentition spécialisée pour couper. Les anguilles peuvent aussi occuper une niche de nécrophage de « première ligne » car elles n'apprécient pas la matière en décomposition trop avancée (Tesch, 1977) sauf pour le stade leptocéphale (Benini et al., 2023). Le tournoisement est déclenché lorsque le ratio de la largeur de la proie par rapport à celle de la mâchoire dépasse 85 % (Helfman et Clark, 1986). Le « spin feeding » a été observé en laboratoire sur des poissons, crevettes, annélides, écrevisses et crabes (Perlmutter, 1951; Helfman et Winkelman, 1991).

Cependant, cette technique implique une dépense énergétique plus élevée et, face à un choix de nourriture, les anguilles privilégient généralement les types de proies plus facilement ingérables (Helfman et Winkelman, 1991). (Helfman 1995) rapporte des observations d'anguilles vidant de leurs œufs une alose savoureuse (*Alosa sapidissima*) et un esturgeon noir (*Acipenser oxyrinchus*) captif. Le fait de tournoyer peut également les aider à échapper à des prédateurs (Helfman et Clark, 1986).

(Helfman 1995) a mené de nombreuses observations comportementales en milieu naturel. La production abondante de mucus rend les anguilles plus difficiles à saisir pour les prédateurs et leur permet de s'aventurer dans des endroits exigus. Elles peuvent également nager en reculant avec force et s'enfouir tête ou queue la première. Lorsqu'elles chassent, elles nagent près du fond en s'arrêtant périodiquement pour fouiller les sédiments avec leur rostre (nosing) (Perlmutter, 1951; Jenkins et Jenkins, 1980; Helfman, 1995). Fahay (1978) a estimé que les anguilles dépendent davantage de leur odorat que de leur vision pour trouver des proies.

La nage ondulée des anguilles, qui produit peu de turbulences acoustiques, pourrait les aider à surprendre les poissons la nuit (Helfman, 1995). Perlmutter (1951) a réalisé des essais en aquarium pour déterminer la capacité des anguilles à prédater les ammocètes des lamproies (*Lampetra appendix*). Leur excellente aptitude au fouissage, même dans le sable grossier, leur a permis de détecter et capturer les ammocètes dans la boue. Perlmutter a noté que les anguilles enfouies laissent à peine dépasser le bout de leur rostre (Perlmutter, 1951).



1.6 Interactions

L'anguille est fréquemment considérée comme une compétitrice potentielle pour plusieurs espèces de poissons en raison de ses habitudes omnivores. **Smith (1955)** a même suggéré la mise en place de barrages empêchant les anguilles d'accéder aux habitats des salmonidés. La majorité des études ont exploré les interactions avec des espèces d'intérêt sportif ou commercial, en particulier les salmonidés.

Certaines recherches ont montré que les populations d'anguilles, par le biais de la prédation ou de la compétition pour la nourriture, ont eu des impacts minimes sur l'abondance ou la croissance des salmonidés (**Godfrey, 1951; Thomas, 1962; Sinha et Jones, 1967b; Mann et Blackburn, 1991**). Toutefois, (**Godfrey 1957**) a estimé que les pertes estivales de saumon pouvaient aller de 1 % à 12 % par nuit, selon la région des ruisseaux du Nouveau-Brunswick. Le nombre de saumoneaux pourrait être significativement réduit dans les zones où la densité des anguilles est élevée. (**Elson ,1957**) a suivi la survie des saumoneaux jusqu'au stade de smolt dans deux sections de la rivière Pollett, séparées par une chute d'eau, où la densité des anguilles (suffisamment grandes pour se nourrir de poissons) est trois fois plus faible en amont.

(**O'Connor et Power ,1973**) ont suggéré que la prédation par les anguilles pourrait diminuer la productivité de l'omble de fontaine dans les lacs. La biomasse d'omble de 0,34 kg/ha observée dans le lac Bill était inférieure à celle des lacs voisins, qui variait entre 1,6 et 4,3 kg/ha, et qui semblaient dépourvus d'anguilles.

(**Engstrom-Heg et Loeb ,1971**) ont examiné 10 anguilles de la rivière Ten Mile (New York), et six d'entre elles avaient consommé des poissons tels que *Salmo trutta*, *Rinichthys atratulus* et *R. cataractae*. (**Smith et Saunders ,1955**) ont noté que les densités d'anguilles sont plus faibles dans les eaux froides favorables aux salmonidés, et que l'hibernation des anguilles réduit la prédation pendant l'hiver.

Cette description des écosystèmes naturels pourrait cependant être remise en question par lesensemencements massifs de civelles (**Tesch, 1991**). Un outil quantitatif d'évaluation des interactions a permis d'estimer la "fitness" d'*A. rostrata* en fonction de diverses variables environnementales et de la densité des espèces (**Emlen et al., 1992**). Durant l'été, les jeunes achigans à petite bouche (*Micropterus dolomieu*) de moins de 10 cm et le naseux des rapides



(*R. cataractae*) ont un effet positif sur l'anguille, tandis que les achigans à petite bouche plus grands, le naseux noir (*R. atratulus*) et la densité des congénères ont un effet négatif.

La prédation des œufs de poissons par l'anguille est négligeable, cet élément n'apparaissant presque jamais dans les études alimentaires (Tahri, 2016). Seuls les œufs pondus au printemps ou en été sont occasionnellement consommés (Godfrey, 1951). Les œufs des salmonidés, pondus de la fin de l'automne au début du printemps, sont moins sujets à la prédation en raison de la baisse d'activité des anguilles causée par les températures froides. (Jenkins et Jenkins, 1980) rapportent la prédation des œufs du chevalier jaune (*Moxostoma valenciennesi*) à des températures de 16°C à 19°C, généralement la nuit.

1.7 Les pathologies chez l'anguille

Les pathogènes sont définis comme des agents pouvant causer une maladie, laquelle est une altération organique ou fonctionnelle considérée dans son évolution et comme une entité définissable. (Vigier, 1997) a répertorié toutes les maladies connues de l'anguille dans son ouvrage. Quatre principaux groupes de maladies sont identifiés : les viroses, les bactérioses, les mycoses et les parasitoses.

Les études sur les maladies en milieu naturel sont peu fréquentes. D'après l'ouvrage de (Vigier, 1997) et les prévalences rapportées dans la littérature, (Girard et Lefebvre, 2001) ont identifié 14 maladies importantes, excluant les mycoses. Celles-ci semblent apparaître secondairement à des blessures et se manifestent en été, lorsque les débits d'eau sont faibles et les températures élevées (Vigier, 1997). Les bactérioses ne se développent qu'en cas de mauvaises conditions environnementales. En général, les parasites autochtones ont co-évolué avec leurs hôtes, permettant à ces derniers de développer des mécanismes immunitaires de protection, créant ainsi un équilibre hôte-parasite.

Ce n'est pas le cas des parasites allochtones introduits par les activités aquacoles ou lors de repeuplements : *Anguillicola crassus* (Nématode), *Paratenuisentis ambiguus* (Acanthocéphale), *Pseudodactylogyrus anguillae* (Monogène) et *Pseudodactylogyrus bini* (Monogène). Ces parasites causent des dommages plus importants chez l'anguille (Bruslé, 1994; Vigier, 1997).



1.8 Contamination virale

Les virus n'ont pas encore fait l'objet de beaucoup d'études donc, bien qu'ils soient connus pour attaquer les tissus sanguins des poissons et devenir particulièrement virulents en période de stress (**Wolf, 1988**). La migration vers les sites de reproduction est une période stressante pour les anguilles, car elles cessent de se nourrir pendant 4 à 6 mois. Les contaminations virales peuvent se produire de manière horizontale (entre poissons ou de l'eau aux poissons, comme c'est le cas pour la plupart des viroses) ou verticale (durant la reproduction, phénomène appelé ovocontamination, observé avec des virus comme le NPI et l'herpès virus chez d'autres espèces) (**Grisam, 2006**). Entre 1977 et 1992, des tests virologiques réalisés sur 2092 échantillons de civelles et d'anguilles provenant du Danemark, d'Angleterre, de France et de Suède ont permis d'identifier 91 virus, dont 44 rhabdovirus de type EVEX/EVA, 3 autres types de rhabdovirus, 38 virus de la Nécrose Pancréatique Infectieuse (NPI) et 5 herpès virus (**Jorgensen et al., 1994**). Aucun virus de la Nécrose Hématopoïétique Infectieuse (IHN) n'a été trouvé, et seulement un virus proche de la Septicémie Hémorragique Virale (VHS) a été détecté. Il a donc été conclu que l'anguille est peu susceptible de transmettre les virus VHS et IHN, qui sont particulièrement dangereux pour les élevages de salmonidés.

Les infections les plus graves par des rhabdovirus chez l'anguille mentionnées dans la littérature sont EVA (Eel Virus America, découvert au Japon en 1974 dans un transport de civelles stockées à Cuba) et EVEX (Eel Virus Europe Origin, identifié pour la première fois en 1977 dans un fret de France vers Tokyo). Il n'est pas encore déterminé si ce virus est endémique à la population européenne ou s'il a été dispersé au cours des 50 dernières années par les pratiques d'aquaculture. Le virus EVEX a été détecté chez des civelles de l'estuaire de la Loire au début des années 1980 (**Castric et Chastel, 1980**), puis en 2004 (**Girard, Com. Pers.**). Cependant, il n'a jamais été trouvé chez les anguilles jaunes et argentées (9 lots testés entre 2001 et 2002 sur la Loire étaient négatifs (**Eelrep, 2005**)).

Dans une étude récente de (**Van Ginneken et al., 2004**), le virus EVEX a été trouvé chez des anguilles provenant de milieux naturels aux Pays-Bas (50-100%) et au Maroc (Sebou, côte Atlantique : 50%), bien que les échantillons soient faibles (N=2-10), nécessitant une interprétation prudente des résultats. De même, le virus HVA (Herpès Virus Anguillae), causant des nécroses du foie et des branchies ainsi que des hémorragies) a été détecté aux Pays-Bas chez des populations sauvages (10-100%) et chez des civelles en culture. Le virus



EVE (Eel Virus European, apparenté au virus NPI, causant de sévères lésions rénales) n'a été trouvé qu'en Italie chez des individus de culture (100%).

L'Herpès Virus Anguillae (HVA) a été identifié chez des populations d'anguilles de plusieurs pays, notamment chez des civelles d'élevage aux Pays-Bas. Les auteurs soulignent les risques de propagation des virus par le commerce d'anguilles.

La première étude visant à évaluer l'état sanitaire en termes de virologie des civelles et des anguilles du bassin méditerranéen a été réalisée en 2004 (**Girard, 2007**). La recherche de virus se fait en culture cellulaire par effet cytopathogène. Les virus recherchés sont NPI, SHV, NHI, EVEX, VPC et herpès virus. Entre janvier 2005 et juin 2006, 534 individus (444 civelles, 74 anguillettes et 16 anguilles) ont été analysés (par lots). Cette étude a mis en évidence pour la première fois le virus EVEX sur des civelles de Méditerranée (au Grau de la Fourcade à l'entrée de l'étang du Vaccarès). Dans son étude, (**Van Ginneken et al, 2004**) ont examiné trois spécimens venant de Perpignan (site non précisé), sur lesquels aucun virus n'a été détecté malgré la présence de signes cliniques tels que des hémorragies diffuses. Aucune étude n'a été menée sur les virus dans les autres pays méditerranéens.

La seule étude montrant l'effet du virus EVEX sur la migration des anguilles a été réalisée dans le cadre du récent projet européen Eelrep (**Eelrep, 2005**). Les résultats sont repris dans un article de (**Van Ginneken et al, 2005**). Toutes les anguilles infectées par le rhabdovirus EVEX (**Eel Virus European X**) développent des hémorragies et des anémies pendant la nage de migration simulée (utilisation de tunnels de nage, sans simulation de pression). Elles sont alors contraintes de s'arrêter et meurent après avoir nagé 1000-1500 km. En comparaison, les anguilles non infectées par le virus nagent 5500 km, distance estimée pour rejoindre la mer des Sargasses. Des changements physiologiques indiquant une infection virale sérieuse sont observés chez les anguilles infectées. Sur la base de ces observations, il est conclu que le virus EVEX pourrait affecter significativement la migration des anguilles et pourrait être un facteur contribuant au déclin mondial de l'anguille. Cependant, il est important de noter que dans cette étude, les anguilles infectées, qui semblaient saines avant l'expérience, étaient au stade argenté venant de milieux naturels saumâtres (85 cm) tandis que les anguilles non infectées étaient jaunes et provenaient d'un milieu d'aquaculture en eau douce (75 cm).

Les principales viroses affectant l'anguille européenne sont énumérées ci-après (**selon Girard et Lefebvre, 2001**) :



a. Virus de la septicémie hémorragique virale (SHV)

Le virus à ARN responsable de la septicémie hémorragique virale (SHV), connu également sous le nom de virus d'Egtved, appartient à la famille des rhabdovirus. Quatre génotypes principaux ont été identifiés mondialement. (Skall et al, 2005) ont récemment mis à jour la liste des espèces sensibles à ce virus. En plus de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), l'hôte principal du virus de la SHV, la truite fario (*Salmo trutta*), l'ombre commun (*Thymallus thymallus*), le corégone (*Coregonus sp.*), le brochet (*Esox lucius*), le black-bass (*Micropterus salmoides*) et l'anguille (*Anguilla anguilla*) figurent parmi les espèces sensibles en Europe.

La septicémie hémorragique virale est réglementée par la Directive 2006/88/CE du Conseil du 24 octobre 2006, Annexe IV, partie 2, et est soumise à déclaration obligatoire auprès de l'OIE. En France, cette maladie est considérée comme légalement contagieuse pour diverses espèces, bien que l'anguille n'en fasse pas partie.

Des anguilles capturées dans l'estuaire de la Loire ont été trouvées porteuses du virus de la SHV (Castric et al., 1992). Ce virus, appartenant au génotype II, est un groupe de virus marins identifiés dans la mer Baltique (Thiéry et al., 2002). Le génotype II présente une faible pathogénicité pour l'anguille. La surveillance limitée des populations d'anguilles sauvages empêche une évaluation complète des effets du virus sur ces populations (Elie et Girard, 2009).

b. Evex (Eel Virus Europe Origin) (rhabdovirus)

Ce virus a été observé et décrit pour la première fois en 1977 dans un fret expédié de France à Tokyo. Il est actuellement présent au Danemark, en Angleterre, en France, en Suède, aux Pays-Bas, au Maroc et en Italie (Jorgensen et al., 1994 ; Van Ginneken et al., 2004). En France, il a été détecté uniquement chez des civelles dans l'estuaire de la Loire (Castric et Chastel, 1980) et en Méditerranée (Girard, 2007). Ce virus provoque des hémorragies et des anémies chez l'anguille (Fig. 13).



Figure 13: photographies d'Anguille européenne infectée par le virus X ou EVEX (Caruso et *al.*, 2014).

Les civelles ne montrent aucun symptôme spécifique. L'infection virale semble se manifester chez les poissons soumis à des situations stressantes telles que la migration, les captures, les manipulations, le confinement, la surdensité ou le transfert, et peut être fatale. La transmission du virus se fait directement par contact ou via l'eau. Actuellement, aucun traitement n'est disponible (Tahri, 2016).

c. Nécrose hématopoïétique infectieuse (NHI)

Le virus à l'origine de la NHI est un rhabdovirus à ARN classé dans le genre novirhabdovirus. Introduit en Europe en 1987 avec des truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) infectées provenant des États-Unis, il est désormais présent en France, en Italie, en Belgique et en Allemagne (Baudin-Laurencin, 1987 ; Bovo et *al.*, 1987 ; Enzmann et *al.*, 1992).

Sur le plan réglementaire, la nécrose hématopoïétique infectieuse est inscrite dans la Directive 2006/88/CE du Conseil du 24 octobre 2006, Annexe IV, partie 2, et est également une MDO (Maladie à Déclaration Obligatoire) auprès de l'OIE. En France, cette maladie est légalement contagieuse pour plusieurs espèces, bien que l'anguille n'en fasse pas partie (Elie et Gérard, 2009).



En Allemagne, le virus de la NHI a été isolé une fois chez des civelles d'*Anguilla anguilla* (Bergmann et al., 2003). Le virus isolé appartient au génogroupe « M », comme tous les autres virus isolés sur différentes espèces en Europe (Enzmann et al., 2005). Aucun effet pathogène n'a été recensé chez l'anguille dans la littérature (Vigier, 1990 et 1997). Toutefois, la surveillance limitée des populations de poissons sauvages demeure problématique.

d. L'herpès virus de l'anguille (HVA)

En 1985, au Japon, le virus HVA a été isolé chez des anguilles japonaises (*Anguilla japonica*) et européennes (*Anguilla anguilla*) malades, présentant des érythèmes cutanés et branchiaux, ainsi que des nécroses de la peau, des branchies et du foie. Les taux de mortalité étaient de 1 % pour les anguilles japonaises et de 6,8 % pour les anguilles européennes (Sano et al., 1990).

En Europe, Békési et al. (1986) ont détecté des particules « Herpès-like » dans des lésions cutanées d'anguilles en Hongrie, mais sans pouvoir isoler le virus. Depuis 1996, des infections par l'herpès virus de l'anguille ont été diagnostiquées 19 fois dans 14 piscicultures néerlandaises élevant *Anguilla anguilla* (Van Ginneken et al., 2004). Davidse et al. (1999) ont rapporté le premier isolement du virus HVA à partir d'anguilles hollandaises systématiquement malades. Les organes prélevés lors de l'épidémie de 1996 et conservés congelés se sont également révélés positifs au virus HVA. Ce virus a été isolé par culture cellulaire sur des lignées de cellules de rein d'anguilles et caractérisé comme Herpès virus par microscopie électronique.

Chez les anguilles sauvages, le virus HVA a été isolé à plusieurs reprises. Entre 1977 et 1992, il a été détecté dans différents lots d'anguilles et de civelles de France, toutes apparemment en bonne santé et sans signe clinique de maladie (Jorgensen et al., 1994). En outre, le virus a été trouvé chez des anguilles sauvages adultes dans deux sites des Pays-Bas : le lac Grevelingen (1 poisson sur 10 positif) et le lac Lauwers (10 poissons sur 10 positifs), ainsi que chez des anguilles argentées de la rivière Merwede, toutes montrant des signes cliniques de la maladie (Van Ginneken et al., 2004).

Les études sérologiques ont révélé une parenté antigénique étroite entre les souches virales japonaises et européennes, et des analyses enzymatiques ont montré des similitudes dans leurs génomes respectifs (Sano et al., 1990).



Les anguilles japonaises infectées par le virus HVA présentent des lésions hémorragiques de la peau, principalement autour de la bouche et des régions pectorales et operculaires. Ce virus provoque des nécroses des lames et lamelles branchiales (Lee et al., 1999), ainsi que des nécroses de la peau, des branchies, du foie et de la rate. Le rein et la rate sont souvent hypertrophiés et fréquemment hémorragiques.

En élevage, les anguilles européennes infectées montrent principalement des symptômes de léthargie, d'anémie, d'anorexie, ainsi que des hémorragies cutanées et des nageoires, des ulcères et érosions des nageoires, une congestion hémorragique de la tête et un foie pâle. Les mortalités cumulées dues à ce virus peuvent dépasser 10 % en pisciculture (Haenen et al., 2001 et 2002).



Figure 14: Anguille malade, atteinte du virus AngHV-1, présentant une hémorragie au niveau de la peau (Haenen et al., 2002).

Il est important de noter que les signes cliniques de cette maladie en élevage varient en fonction du taux d'anticorps produits contre le virus (Van Nieuwstadt et al., 2001) et de la qualité de l'eau (Haenen et al., 2001). En effet, une mauvaise qualité de l'eau et des températures élevées (environ 23°C) favorisent l'apparition d'épisodes pathologiques. Comme d'autres virus, le virus HVA peut rester latent chez son hôte et être réactivé par les hormones de stress (Van Nieuwstadt et al., 2001).



e. Cas de la papillomatose de l'anguille

La maladie tumorale la plus fréquemment observée chez les poissons est souvent désignée sous le nom de « maladie du choufleur » en raison de l'apparence des tumeurs. Cette affection virale spécifique de l'anguille est causée par un Herpès virus non spécifique. Elle est principalement observée dans les milieux naturels, particulièrement dans les eaux à salinité moyenne et faible, surtout en estuaire. Cette maladie a été particulièrement présente au Danemark et aux Pays-Bas entre les années 40 et le milieu des années 70. Sa présence a été signalée dans les estuaires de la Loire et de la Vilaine dans les années 80, dans des zones mésohalines et oligohalines.

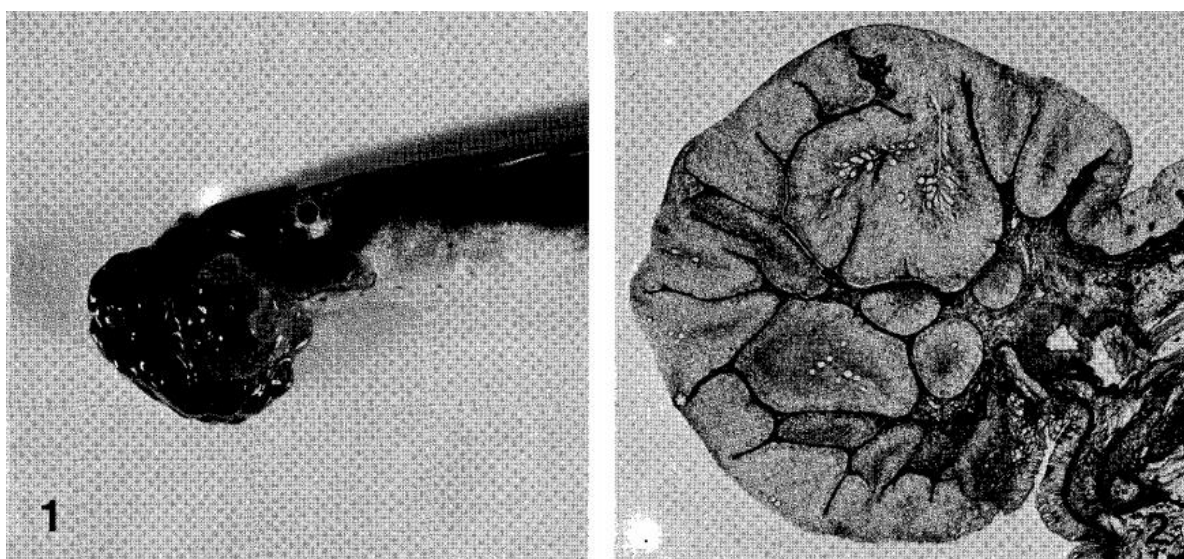


Figure 15 : Papillomatose du tube digestif de l'anguille européenne. A gauche : Stomato-papillome de l'anguille européenne, *Anguilla anguilla* (L.). A droite : Coupe d'un petit papillome avec conjonctif du stroma ramifié, grossissement X18, (Peters et Peters, 1984).

Les lésions de cette maladie se manifestent par de grandes tumeurs plissées et lobulaires, de couleur rose-rouge, généralement situées au niveau du nez et de la bouche, avec une vascularisation périphérique importante. On observe souvent des dégénérescences du rein et du foie ainsi qu'une déficience fonctionnelle de la rate associées au processus tumoral externe. Cette maladie est particulièrement active au printemps et au début de l'été, la température optimale pour le développement de ces tumeurs se situant entre 17 et 22°C. Le phénomène a tendance à régresser en période hivernale (Vigier, 1990 et 1997).



1.9 Contamination bactérienne

En préambule, il convient de mettre en lumière certains symptômes caractéristiques qui, bien qu'ils ne soient pas propres à une maladie spécifique, sont liés à la localisation précise de la lésion provoquée par celle-ci. Par exemple : Une entérite se manifeste par l'émission de matières fécales mucoïdes sous forme de longs filaments. Toute infection chronique entraînera généralement un amaigrissement.

Dans ce contexte, nous analyserons les différentes expressions des maladies bactériennes chez les anguilles.

Les infections bactériennes représentent une menace significative pour les anguilles, qu'elles vivent en milieu naturel ou en aquaculture. Plusieurs bactéries sont fréquemment impliquées dans ces infections. Ces bactéries provoquent souvent des septicémies, des ulcères cutanés, et des nécroses, ce qui entraîne une détresse respiratoire et une anémie chez les poissons infectés. En milieu aquatique, la propagation de ces bactéries peut être rapide, surtout dans des conditions de stress telles que la surpopulation, la mauvaise qualité de l'eau, et les fluctuations de température.

Les manifestations des infections bactériennes chez les anguilles incluent des hémorragies internes et externes, une nage désordonnée, et une détresse respiratoire due à l'atteinte des branchies. Les lésions cutanées et les ulcères sont également des symptômes courants, et les infections intestinales se manifestent par des matières fécales mucoïdes.

Pour lutter contre ces infections, il est crucial de maintenir une bonne qualité de l'eau, de réduire les sources de stress, et de surveiller attentivement les populations de poissons. En cas d'infection, des interventions rapides et appropriées peuvent limiter la propagation et réduire les impacts négatifs sur la santé des anguilles (Vigier, 1997).

Vibriose Listonella (initialement *Vibrio*) *anguillarum* est l'agent responsable de la vibriose, une des principales affections bactériennes touchant les poissons, les bivalves et les crustacés (Austin et Austin, 1993). Il a été le premier *Vibrio* à avoir été isolé chez les anguilles en Méditerranée, car les effets de la vibriose étaient connus dès le XV^{ème} siècle chez les populations d'anguilles distribuées dans les lagunes, le long des côtes italiennes. *Vibrio anguillarum* a été décrit pour la première fois chez les anguilles dans la lagune Comachio en Italie (Hofer, 1904). L'espèce *V. anguillarum* comprend 23 « O » sérotypes (Sorensen et Larsen, 1986; Pedersen et al., 1999), mais seuls les sérotypes O1, O2 et, dans une moindre mesure, O3 ont été associés à des mortalités chez des poissons sauvages et d'élevage. Les



espèces les plus fréquemment affectées par le sérotype O3 sont les anguilles européenne et japonaise (Tajima et al., 1985 ; Toranzo et Barja, 1990, 1993 ; Larsen et al., 1994). La bactérie est très largement répandue dans le monde, causant une septicémie hémorragique violente chez une grande variété d'espèces d'importance économique telles que le saumon, la truite arc-en-ciel, le turbot, le bar, la dorade, la morue, l'anguille. La vibriose se manifeste sous forme de septicémie hémorragique provoquée par diverses bactéries dont, en premier lieu, *Listonella anguillarum*, et *Vibrio vulnificus*. La maladie possède de nombreux synonymes: peste rouge ; plaie rouge; maladie rouge ; maladie des ulcères ; maladie des furoncles rouges. Elle est souvent confondue dans ses manifestations avec l'aéromonose ou la pseudomonose. Ces bactéries sont hautement pathogènes, en raison notamment de leur aptitude à produire des toxines particulièrement virulentes.

Les premiers signes de la maladie sont habituellement : l'anorexie, une mélanose généralisée et des lésions cutanées, faibles au départ, puis très importantes. La maladie s'exprime sous trois formes, suraiguë, aiguë et chronique. La forme suraiguë affecte surtout les jeunes individus et se traduit par des érythèmes à la base des nageoires et autour de la bouche et une décoloration de la peau (Fig. 16). Le tractus gastro-intestinal est distendu, l'anus est hémorragique et saillant. Les poissons infectés ne mangent plus et leur croissance est stoppée. Les mortalités sont massives et brutales et peuvent atteindre 30 à 100% du stock en conditions d'élevage (Austin et Austin, 1993) ainsi qu'en milieu naturel dans certaines parties d'hydro systèmes. La forme aiguë concerne plutôt les adultes et se caractérise par des œdèmes et des ulcérations de la peau suivies de nécroses, tandis que la forme chronique consiste essentiellement en une anémie prononcée, visible notamment au niveau des branchies. Les coupes histologiques montrent une cardiopathie sévère et des nécroses du rein et de la rate. Les épizooties à *Listonella anguillarum* se déclarent plutôt au printemps ou en été (température optimale : 15-16°C) chez les jeunes individus, essentiellement en eau de mer ou dans les eaux saumâtres peu profondes (lagunes, estuaires, deltas, marais littoraux, baies).



Figure 16 : Photo de jeunes anguilles européennes (civelles) affectées par *Listonella (vibrio) anguillarum* et *Vibrio parahaemolyticus* associées à un *Flavobactérium* sp.) (Elie et Girard, 2009).

La maladie se rencontre aussi en eau douce, mais beaucoup plus rarement car le germe y est nettement moins résistant. La vibriose apparaît habituellement en cas de fortes densités, de taux de salinité et de charges en matières organiques élevées, mais aussi lors d'épisodes de perturbation de la qualité de l'eau. Le parasitisme et les traumatismes liés aux manipulations favorisent également les épizooties dues à cette bactérie. La transmission s'opère en eau salée ou saumâtre, via l'eau, des invertébrés, des poissons porteurs sains ou infectés, ainsi que l'ensemble des matériaux de pêche et de stabulation. La bactérie pénètre dans les organismes, par la peau, les nageoires, les branchies et l'anus (Kanno et al., 1989). Elle peut survivre jusqu'à 50 mois dans les sédiments marins (Hoff, 1989), mais une salinité inférieure à 5‰ devient létale pour cette bactérie.

L'autre organisme (*Vibrio vulnificus*) est une bactérie océanique commune des eaux salées subtropicales mais, semble-t-il, avec un potentiel d'adaptation notable. L'espèce est composée de deux biotypes. Le biotype 1 est un pathogène opportuniste chez les individus, tandis que le biotype 2 est subdivisé en trois sérovars. *Vibrio vulnificus* serovar E (biotype 2) est traditionnellement considéré comme un agent pathogène typique des anguilles (Amaro et al., 1995). Chez l'anguille européenne, il a été isolé pour la première fois en 1989 en Espagne (Biosca et al., 1991), puis aux Pays-Bas et au Danemark. Il est responsable de la principale maladie infectieuse qui affecte les anguilles élevées en eau saumâtre, causant des pertes économiques considérables en Europe. Les effets pathologiques de *Vibrio vulnificus* sont similaires à ceux induits par *L. anguillarum* et sont également de type septicémie hémorragique (Vigier, 1990 et 1997). En revanche, l'impact de cette vibriose sur les anguilles



sauvages est inconnu (Amaro et al., 1995) et doit être évalué. La transmission se fait principalement par l'eau et par des anguilles infectées. Les principales portes d'entrée chez l'anguille sont les branchies, mais les anguilles peuvent aussi s'infecter par voie gastro-intestinale en ingérant de la nourriture contaminée (Marco-Noales et al., 2001). La bactérie ne peut survivre qu'en eau saumâtre ou attachée à la surface des anguilles sous forme de biofilms (Esteve et al., 2006). Il est à noter que la vibriose à *Vibrio vulnificus* est une zoonose, la transmission à l'homme se faisant par la consommation de poissons insuffisamment cuits.

a. Aéromonose

L'aéromonose est une infection bactérienne incluant les espèces : *Aeromonas hydrophila*, *A. salmonicida*, *A. punctata*, et *A. liquefasciens* (non spécifique), font partie de la famille des *Vibrionaceae*. Ces micro-organismes, facultatifs aéro-anaérobies et Gram négatif, sont présents à l'échelle mondiale. Actuellement, on compte plus de 10 espèces distinctes d'*Aeromonas*. Parmi elles, *Aeromonas hydrophila*, *A. sobria* (*A. veronii* subsp. *sobria*), *A. veronii*, *A. caviae*, *A. hydrophila*, et *A. punctata* sont fréquemment retrouvées chez les poissons malades.

Les infections causées par *Aeromonas* sp. affectent un large éventail d'espèces de poissons, qu'ils soient sauvages ou d'élevage (corégones, perches, brèmes, salmonidés, cyprinidés, anguilles), et sont observées dans différents environnements

aquatiques, notamment dans les eaux douces et propres (Aoki, 1999; Bullock et al., 1971).

Ces bactéries font naturellement partie de la flore bactérienne normale des poissons, mais elles peuvent devenir des agents pathogènes opportunistes pour les amphibiens et divers cyprinidés d'eau douce, ainsi que pour les anguilles, lorsque les conditions environnementales ou physiologiques se dégradent, notamment en raison de diverses formes de pollution, de l'élévation de la température, ou de l'hypoxie.

La maladie se manifeste sous deux formes principales : une forme septicémique aiguë et une forme chronique. Les signes cliniques de la première comprennent des lésions cutanées, des ulcères hémorragiques, un amaigrissement, un abdomen distendu, des exophtalmies, de la mélanose, et des anomalies squelettiques, tandis que la seconde se caractérise par des infections cutanées localisées (Roberts, 1993 ; Buller, 2004).



La pathogénicité des *Aeromonas* dépend de divers facteurs, notamment de l'espèce bactérienne considérée ainsi que des conditions environnementales, en particulier la qualité physicochimique de l'eau (Aoki, 1999).

Les *Aeromonas* mobiles ont été identifiées dès 1891 comme étant responsables d'une maladie hémorragique de l'anguille, pour laquelle différents termes ont été utilisés, tels que "septicémie hémorragique", "maladie des nageoires rouges", et "peste rouge" (Austin et Austin, 1987; Hazen et al., 1978; Roberts, 1993).

Chez l'anguille, ce sont principalement les sub-adultes (anguilles jaunes) et, dans une moindre mesure, les civelles pigmentées (anguillettes) après quelques mois en phase continentale (individus de plus de 20 cm), qui sont les plus touchés par la maladie. Celle-ci survient à toutes les températures mais se manifeste principalement en été, avec des signes cliniques apparaissant surtout lorsque la température de l'eau dépasse les 22 °C. Les conditions environnementales défavorables, telles que la présence de micropolluants, des excès de matières organiques et d'ammoniaque, un déficit en oxygène, ou une élévation thermique anormale, ainsi que le stress, sont généralement corrélées à la maladie (Ortega et al., 1996 ; Aoki, 1999).

Ces bactéries sont responsables de mortalités importantes, évaluées à plusieurs tonnes par an dans certains bassins versants (Loire, Vaine, marais littoraux), en particulier dans les milieux où le réchauffement rapide de l'eau au printemps et les températures élevées en été (> 22°C) sont observés. Les mortalités sont souvent exacerbées lors de situations telles que la contention des individus (engins de pêche, stabulation en cage), et peuvent être très sévères (Tahri, 2016).

b. Pseudomonose

Pseudomonas fluorescens et *Pseudomonas anguilliseptica* sont des bactéries Gram négatives, strictement aérobies, et pathogènes facultatifs responsables de la pseudomonose, également appelée "maladie des taches rouges" ou "peste rouge". Ces bactéries affectent tous les salmonidés et la plupart des cyprinidés, y compris les anguilles, dans les régions chaudes et tempérées. La pseudomonose exerce son effet pathogène en libérant des protéases et se traduit souvent par une encéphalite. *Pseudomonas anguilliseptica*, non détectée en France à ce jour, est présente dans d'autres pays comme le Japon, en eau saumâtre avec une salinité optimale entre 5 et 10%. Sa durée de vie moyenne en eau de mer à une salinité de 35‰ est de 200 jours.



Compte tenu de l'adaptabilité de ces bactéries et des échanges commerciaux actuels, une surveillance minimale est recommandée (Vigier, 1990 et 1997).

Chez l'anguille européenne, *Pseudomonas fluorescens* provoque des ulcères hémorragiques cutané-musculaires entourés de zones congestives au niveau de la tête et de l'anus, un amaigrissement des sujets infectés, des exophtalmies et, dans les cas chroniques, des déformations du squelette. Les individus gravement atteints présentent un érythème généralisé sur la face ventrale du corps pouvant s'étendre jusqu'aux nageoires (Vigier, 1990 et 1997). Ces bactéries peuvent prospérer dans les milieux peu salins et dulçaquicoles.

Comme pour les aëromonoses et les vibrioses, la prolifération de ces bactéries augmente avec la température, l'optimum de croissance se situant entre 25 et 35°C.

La maladie se déclare vers 12°C et les signes cliniques apparaissent aux alentours de 22°C (Vigier, 1990 et 1997).

D'autres bactérioses ont été identifiées chez *Anguilla* sp., notamment l'edwardsiellose causée par *Edwardsiella tarda*, la staphylococcose due à *Staphylococcus epidermidis* et la streptococcose provoquée par *Streptococcus* sp., cette dernière nécessitant une surveillance particulière en tant que maladie émergente (Vigier, 1990 et 1997).

c. Streptococcoses

Streptococcus sp. est un genre de bactéries Gram positives comprenant plusieurs espèces. Bien que les infections à streptocoques ne soient pas fréquentes chez les poissons, elles peuvent entraîner des mortalités significatives lorsqu'elles se manifestent. D'autres bactéries proches du genre *Streptococcus* provoquent des maladies similaires, notamment *Lactococcus* sp., *Enterococcus* sp., et *Vagococcus* sp. La première streptococcose observée chez les poissons a été identifiée en 1957 chez des truites arc-en-ciel et des sérioles d'élevage au Japon. Depuis, diverses autres espèces de poissons se sont révélées vulnérables à cette infection, telles que le saumon, le mulot, l'anguille, la truite de mer, le tilapia, l'esturgeon et le bar (Inglis et al., 1993). Étant donné la pathogénicité et la nature émergente de cette maladie en milieu naturel, une vigilance particulière est nécessaire.

Lors des infections aiguës, les poissons présentent des troubles de la nage (nage en spirale ou erratique), de la léthargie, un assombrissement généralisé du corps, des exophtalmies unilatérales ou bilatérales, une opacité cornéenne et des hémorragies localisées autour des yeux, des nageoires et des branchies. L'examen interne des poissons révèle la présence



d'ascites, des hémorragies autour du cœur, un foie pâle et une inflammation autour du cœur et des reins. En pisciculture, les taux de mortalité peuvent dépasser 50 % en une période de 3 à 7 jours. Les décès surviennent souvent rapidement, parfois avant ou pendant l'apparition des symptômes. La majorité des bactéries streptococciques et lactiques infectent le cerveau et le système nerveux des poissons, ce qui explique les troubles de la nage fréquemment observés (Tahri, 2016).

Lorsque l'infection prend une forme chronique, les poissons présentent principalement des troubles de la nage, caractérisés par une nage en spirale plus ou moins prononcée. Les mortalités sont alors insignifiantes, mais il peut y avoir des conséquences sur la croissance, l'accès à la nourriture,...etc.

d. Flavobactériose

Les flavobactérioses sont des maladies bactériennes causées par *Flavobacterium sp.*, également connues sous le nom de « Myxobactéries », appartenant à la famille des *Cytophagaceae*. En milieu dulçaquicole, on distingue les flavobactérioses d'eau froide (*Flavobacterium psychrophylum*) de celles d'eau chaude (*Flavobacterium columnaris*). Les flavobactérioses d'eau froide entraînent principalement des infections internes (viscérales), tandis que celles d'eau chaude causent des lésions externes cutanées. Le premier isolement de *F. psychrophilum* chez des anguilles et des cyprinidés malades a été effectué par Lehmann et al. (1991). Cette maladie est souvent associée à une lésion de la rate chez le poisson.

L'infection se manifeste par des taches diffuses blanc-grisâtres sur la peau et les branchies et une hypersécrétion de mucus. Elle progresse vers des lésions nécrotiques des branchies, rondes, de couleur grisâtre, jaunâtre ou jaune-orange, des ulcérations cutanées, l'érosion des nageoires, des nécroses caudales, des myosites ou des ostéochondrites nécrotiques. Les taux de mortalité peuvent atteindre 50% lorsque la température de l'eau se situe entre 3 et 15°C (Nematollahi et al., 2003). Des civelles à des stades évolués (VIA3 et plus), qui ont recommencé à s'alimenter, peuvent être gravement touchées par les flavobactérioses. Cette infection provoque, chez les individus en stabulation, des mortalités allant de 60 à 80%.

La maladie est exacerbée par le stress, les surdensités, et des conditions environnementales défavorables, telles que la mauvaise qualité de l'eau : pH élevé, dureté, présence d'ammoniaque et déficit en oxygène (Tahri, 2016).



e. Yersiniose

Yersinia ruckeri est une entérobactérie Gram négative, ubiquitaire, anaérobie facultative et strictement pathogène, responsable d'une septicémie bactérienne nécrohémorragique chez les salmonidés, connue sous le nom de « maladie de la bouche rouge » ou ERM (*enteric redmouth disease*). Cette bactérie a été introduite en Europe à travers l'importation de vairons américains (*Pimephales promelas*) infectés, provenant des États-Unis. Elle a été isolée pour la première fois en France en 1981 dans une pisciculture de truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) (Lesel, 1983), puis en Allemagne (Schlotfeldt et al., 1985). *Y. ruckeri* a été détectée chez diverses espèces de Salmonidés (*Salmo* sp., *Salvelinus* sp., *Thymallus* sp., *Coregonus* sp., *Oncorhynchus* sp.), ainsi que chez le brochet (*Esox* sp.), l'anguille (*Anguilla* sp.), la carpe (*Cyprinus carpio*), la perche (*Perca* sp.), le gardon (*Rutilus rutilus*), l'esturgeon (*Acipenser* sp.) et le turbot (Davies, 1989).

Les symptômes de la yersiniose incluent des hémorragies localisées, particulièrement au niveau de la bouche, des branchies, des muscles, du péritoine, de la graisse viscérale et des organes internes de manière généralisée (Dipnet, 2007). Cette infection est étroitement liée au stress et est considérablement aggravée par les pollutions telles que le cuivre, les matières organiques et l'ammoniaque. Le risque de maladie augmente avec la montée des températures de l'eau (printemps et été) et la présence de parasites externes et internes. Les infections par *Flavobacterium* sp. Augmentent également sa virulence.

f. Les Parasitoses

Les parasitoses chez les poissons représentent un enjeu crucial en aquaculture et pisciculture, impactant aussi bien les espèces sauvages que celles élevées. Ces infections parasitaires ont des répercussions importantes sur la santé des poissons, la production piscicole et la biodiversité aquatique. Les principaux types de parasites comprennent les protozoaires, les helminthes et les copépodes. Parmi les protozoaires, on trouve des espèces à l'origine de la "maladie des points blancs" chez les poissons d'eau douce, et qui touche les poissons marins avec des symptômes similaires.

Les parasitoses ont des impacts multiples. Elles peuvent provoquer des lésions physiques, des troubles métaboliques et un affaiblissement immunitaire chez les poissons, augmentant ainsi leur vulnérabilité aux autres maladies. En termes de production piscicole, les infections parasitaires peuvent entraîner des pertes économiques significatives en réduisant les taux de croissance, en augmentant la mortalité et en nécessitant des traitements coûteux. De plus, les



parasitoses peuvent affecter les populations de poissons sauvages, perturbant ainsi les écosystèmes aquatiques. Les pratiques de gestion des parasites en aquaculture peuvent également avoir des répercussions écologiques.

Chez les anguilles, les parasitoses sont également préoccupantes peut causer des dommages importants à l'organe infecté, entraînant une capacité de nage réduite, des difficultés à migrer et une mortalité accrue. La propagation des parasites est souvent liée aux mauvaises conditions environnementales et au stress.

La prévention des parasitoses repose sur une gestion adéquate de l'environnement, en maintenant une bonne qualité de l'eau, en réduisant le stress des poissons et en limitant la densité de population pour prévenir les infestations. Le contrôle sanitaire régulier, comprenant des contrôles de santé et des quarantaines pour les nouveaux poissons, est essentiel. La prophylaxie, incluant l'utilisation de traitements préventifs et de vaccins lorsque disponibles, aide à réduire l'incidence des parasitoses.

Quelques parasites de l'anguille européenne *Anguilla anguilla*, ont été identifiés au cours de cette étude, seront développés dans les parties suivante.



II Présentation des zones d'études

Dans le cadre de cette étude nous avons procédé à l'examen des anguilles peuplant le lac oubeira et la lagune El mellah, deux plans d'eau du complexe des zones humides du Parc National d'El Kala.

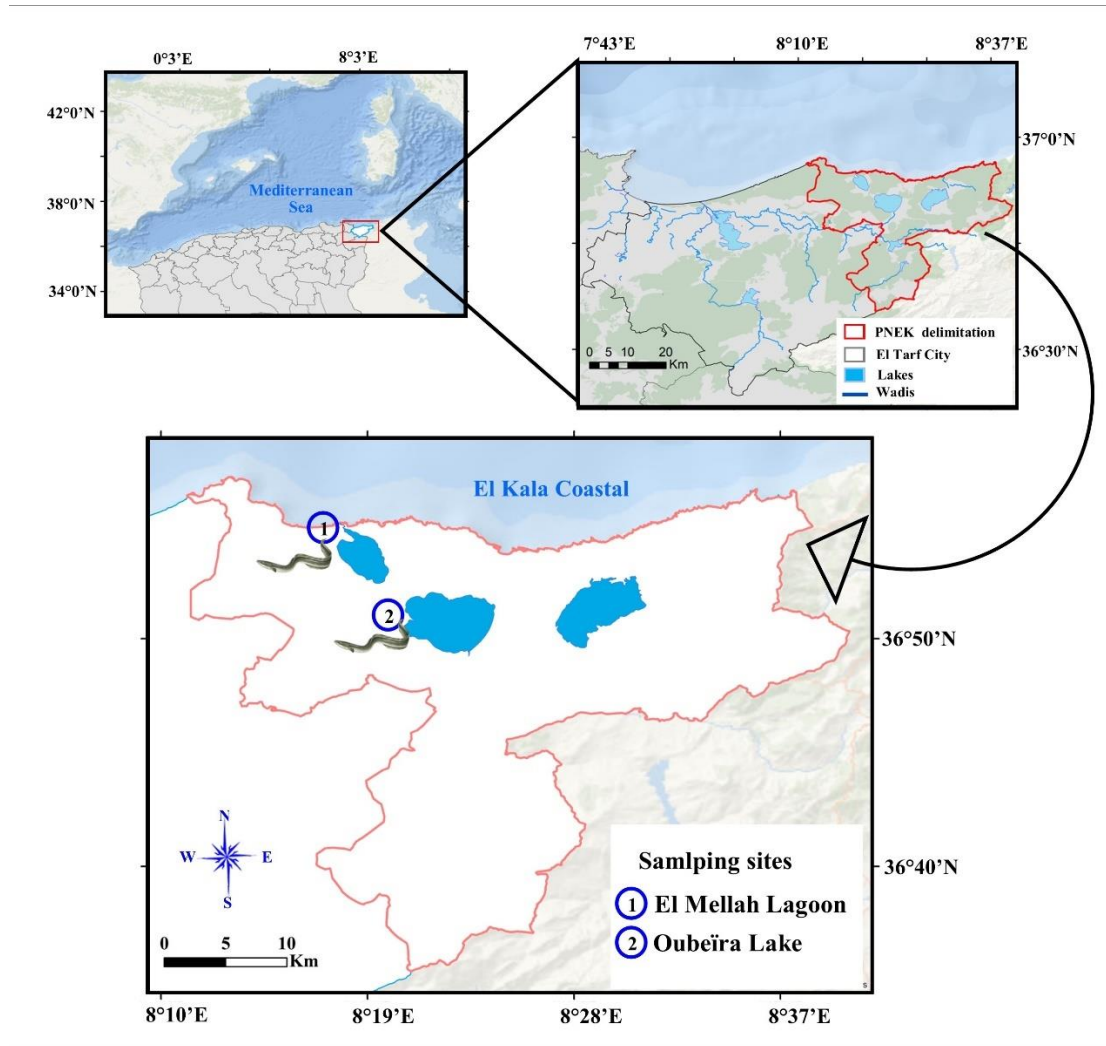


Figure 17: carte des zones humides du Parc National d'El Kala



1. La lagune Mellah

1.1 Situation géographique

La lagune Mellah, située à l'extrême Nord-Est de l'Algérie ($8^{\circ} 20' E$ et $36^{\circ} 54' N$), est un véritable joyau naturel en bordure de la mer Méditerranée, s'étendant entre les majestueux caps Rosa et Roux (**Fig.17**). Cette lagune est nichée au cœur d'une vaste étendue boisée où prédomine une dense forêt de chênes-lièges, offrant ainsi un écrin naturel d'une beauté exceptionnelle. En plus de sa proximité avec la mer, la lagune Mellah est entourée de diverses étendues d'eaux douces, parmi lesquelles les lacs Oubéira et Tonga (**Fig. 17**), qui enrichissent encore davantage sa biodiversité.

Ce qui rend ce site d'autant plus remarquable, c'est son caractère saumâtre, faisant de la lagune Mellah le seul écosystème lagunaire en Algérie. Cette particularité confère à cet environnement une richesse et une diversité écologique uniques, offrant un habitat vital à de nombreuses espèces végétales et animales adaptées à ces conditions spécifiques. Ainsi, la lagune Mellah est bien plus qu'un simple plan d'eau ; c'est un écosystème précieux et fragile, abritant une biodiversité remarquable et méritant une attention particulière en termes de préservation et de conservation.

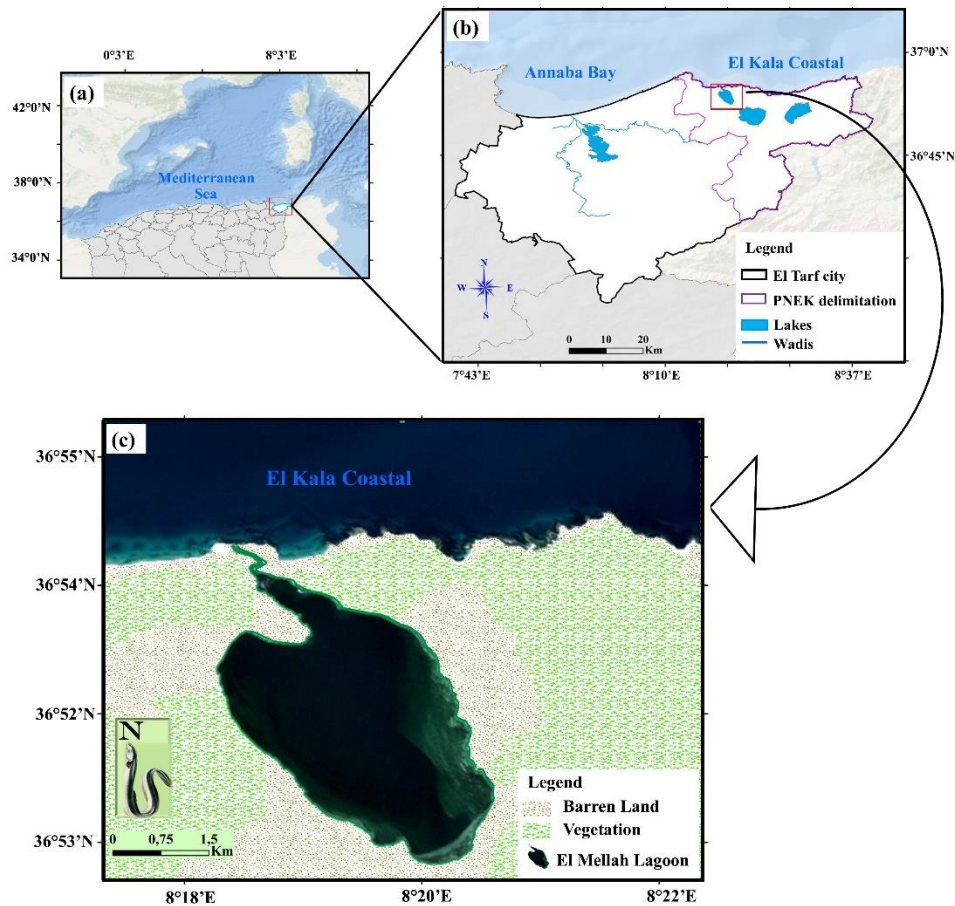


Figure 18: carte représente la lagune el Mellah.

1.2 Morphologie et bathymétrie

Cette étendue d'eau saumâtre présente une forme globalement ovoïde, s'étirant du Nord-Nord-Ouest au Sud-Sud-Est. Avec une superficie totale d'environ 865 hectares, elle s'étend sur une distance de 4,5 km du Nord au Sud et de 2,5 km d'Est en Ouest. Dans la partie Nord-Est de la lagune, on observe un cordon dunaire qui s'élève à plus de 177 mètres, orienté du Nord-Ouest au Sud-Est (Thomas *et al.*, 1973).

La profondeur de la lagune varie selon les zones ; à l'ouest de l'étendue, les fonds présentent une pente assez prononcée et la profondeur augmente rapidement vers le centre, atteignant moins de 6 mètres. Dans la partie Est, sur une distance d'environ 500 mètres, la profondeur maximale est de 2 mètres, au-delà de quoi il y a une rupture de pente jusqu'à une profondeur d'un peu plus de 5 mètres (Fig. 18) (Guelorget *et al.*, 1983).



La lagune se caractérise par la présence de deux plateaux peu profonds (< 2 mètres), résultant de l'accumulation périphérique de débris provenant du bassin versant, le long des rives. On observe également la présence de cônes alluviaux au niveau des embouchures des principaux oueds, notamment au Sud (**Guelorget et al., 1989**). Par ailleurs, **Messerer (1999)** indique que la profondeur maximale de la lagune ne dépasse pas 5,20 mètres, mesurée au centre de l'étendue en octobre 1996.

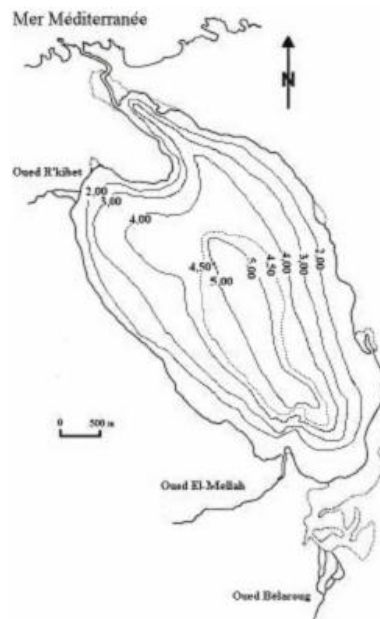


Figure 19: Carte bathymétrique de la lagune du Mellah (d'après Guelorget et al., 1983).

1.3 Marées et courants

Les marées, qui sont caractérisées par l'alternance des flux et reflux des eaux de mer entre la lagune et l'océan, jouent un rôle crucial dans la dynamique hydrologique de la lagune Mellah. Cette alternance de mouvements, connue sous le nom de flot et jusant, est mise en évidence par la montée et la descente périodique du niveau de l'eau. Dans le cas de la lagune Mellah, ces marées peuvent atteindre une amplitude significative pouvant aller jusqu'à 40 cm, comme documenté par (**Thomas et al., 1973**).

Cependant, il convient de noter que la dynamique des eaux de la lagune est influencée non seulement par les marées barométriques, qui sont relativement faibles selon **Semroud (1983)**, mais surtout par les marées d'origine astronomique (**Ounissi et al., 2002**).



Une analyse du bilan hydrologique de la lagune, basée sur les données recueillies lors de trois cycles au niveau du chenal, révèle que les sorties annuelles moyennes excèdent quatre fois les entrées (**Messerer., 1999**). Cette disparité entre les flux entrants et sortants influence directement le régime de circulation des eaux de surface de la lagune.

D'après (**Guelorget et al., 1989**), le schéma de circulation des eaux de surface caractérisé par une rotation lente et périphérique dans le sens des aiguilles d'une montre, en corrélation avec la direction des vents dominants venant du Nord-Ouest. En revanche, **Messerer** en 1999 décrit une circulation plus linéaire des eaux superficielles, s'étendant du Nord au Sud pendant la pleine mer (flot), et inversée pendant la basse mer (jusant), comme illustré dans les figures 3A, 3B et 3C.

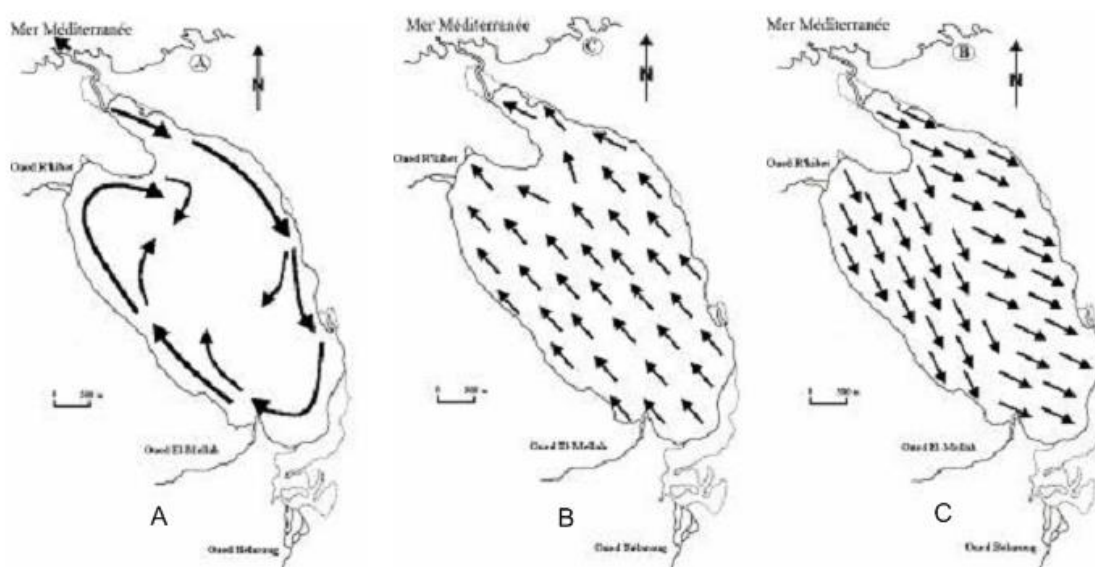


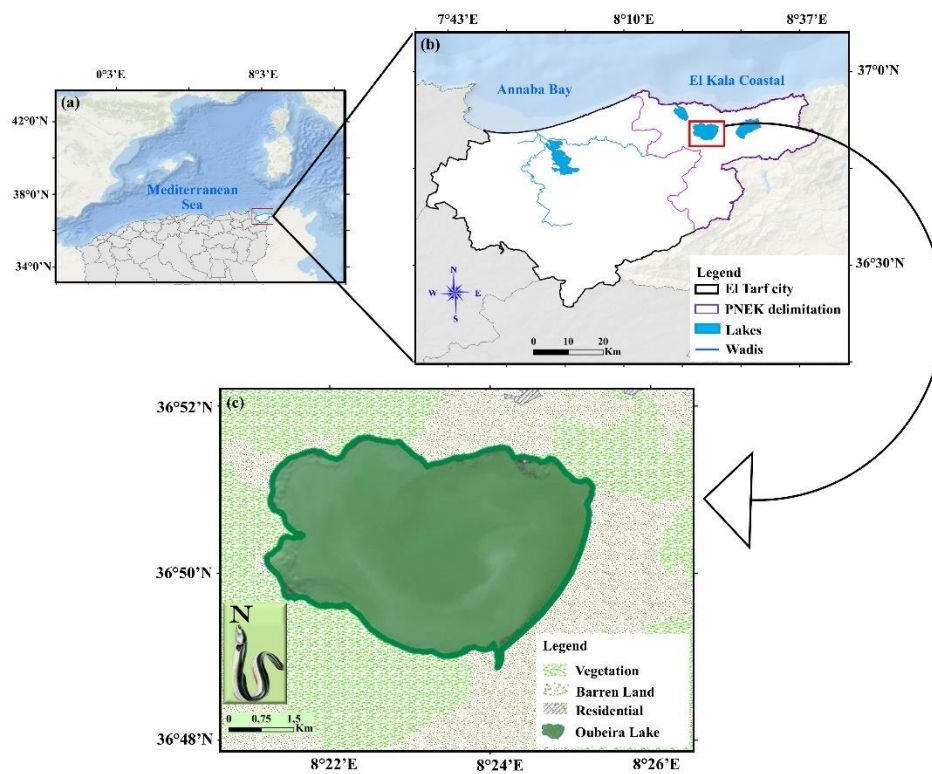
Figure 20 : Mouvement des masses d'eaux superficielles. A: trajectoires hypothétiques (d'après Guelorget et al., 1989). B et C: mouvements rectilignes des eaux respectivement pendant le flot et le jusant (d'après Messerer, 1999).



2. Le lac Oubeira

2.1 Situation géographique

Le lac est un plan d'eau douce de moins de 6 mètres de profondeur, situé à 5 km au Sud-Ouest d'El-Kala et à 54 km à l'Est d'Annaba. Ses coordonnées géographiques au centre sont 36° 50' 695 Nord et 8° 23' 272 Est (**Fig. 21**). Il est situé à 2,3 km de la lagune Mellah, au Nord-Ouest. La superficie du lac est d'environ 2257 hectares, avec des dimensions de 5 x 4 km, une longueur Nord-Sud de 4,20 km et une largeur Est-Ouest de 5,22 km. Son périmètre total est de 19,80 km et l'altitude moyenne est de 25 mètres. La profondeur maximale est de 4 mètres.



2.2 Hydrologie et Fonctionnement

Le lac Oubeira est un lac endoréique, c'est-à-dire qu'il ne se déverse pas dans la mer ou l'océan (**Fig.22**). Il est alimenté par quatre principaux oueds : l'oued Demnet Rihana au Nord, l'oued Boumerchene au nord-est, l'oued Dey L'Graa à l'est et l'oued Messida au sud. En hiver, les eaux de l'Oued El Kebir atteignent le lac principalement par l'oued Messida, tandis qu'en été, le flux hydrologique s'inverse, et l'oued Messida peut couler dans les deux sens en fonction des crues ou des étiages (**Bouazouni, 2004**). La pluviométrie annuelle varie entre 700 et 800 mm, tandis que l'évaporation est d'environ 1500 mm par an (**Alayat, 1991**).

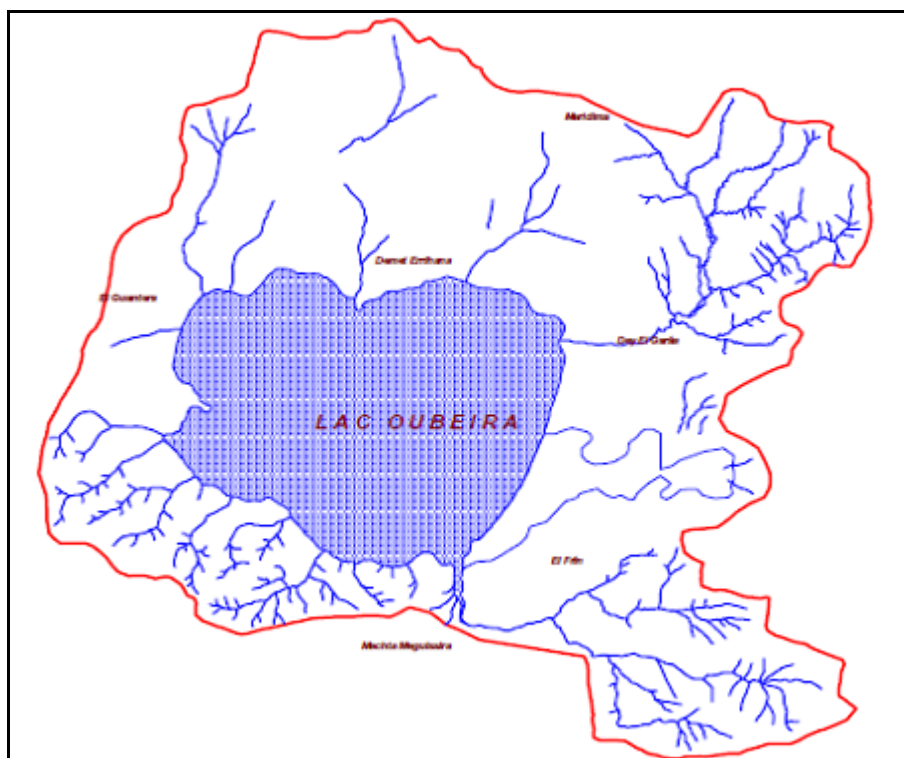


Figure 22: Réseau hydrographique du bassin du lac Oubeira (Bouazouni, 2004)

2.3 État et Dynamique du Lac

Le lac Oubeira a été particulièrement affecté par une longue période de sécheresse et des prélèvements intensifs pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable, ce qui a conduit à son assèchement complet à la fin de l'été 1990 (Ould Sidi Mohamed, E. 2016). La pérennité du lac repose sur un équilibre délicat entre une évaporation significative et une alimentation pluviale suffisante, soutenue par l'apport des nappes phréatiques en saison sèche (Alayat *et al.*, 2009).



2.4 Paramètres Physico-chimiques

Le lac Oubeira est considéré comme un hot spot de biodiversité, ce qui rend le suivi de ses paramètres physico-chimiques crucial (**tableau 1**). La température de l'eau, variant de 9°C en février à 29°C en août, influence la solubilité de l'oxygène et les processus métaboliques des organismes aquatiques. Le pH, généralement compris entre 7 et 9, affecte la disponibilité des nutriments et des métaux lourds. Les teneurs en oxygène dissous, variant de 5 mg/l en juillet à 13 mg/l en février sont essentielles pour la respiration des poissons et autres organismes (**Ould Sidi Mohamed, E. 2016**).

Ces paramètres sont cruciaux pour maintenir la qualité de l'eau et la biodiversité. Des conditions physico-chimiques stables sont nécessaires pour la survie des espèces sensibles et l'équilibre écologique. La surveillance permet également de gérer les impacts des activités humaines, comme l'agriculture et l'irrigation, en détectant et contrôlant la pollution.

En outre, ces informations sont vitales pour la planification et la gestion durable des projets de développement dans les domaines agricole et aquacole, assurant qu'ils n'affectent pas négativement l'écosystème. Elles aident également à élaborer des stratégies de conservation et à prévoir les impacts des changements climatiques, contribuant ainsi à la résilience écologique.

Le suivi des paramètres physico-chimiques du lac Oubeira est essentiel pour préserver la qualité de l'eau, assurer la survie des espèces, gérer les impacts humains et climatiques, et planifier un développement durable, garantissant ainsi la conservation de ce précieux écosystème (**Alayat, 1991**).

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques du lac Oubeira (AC30 inf.29, 2018)

Variable	N	MOY	S	Xmin	Xmax
O ₂	12	9,223	2,35	5,27	13,38
pH	12	8,179	0,881	6,75	9,2
T°	12	18,91	7,52	9,35	29,2



2.5 Études et Observations

Des études préliminaires ont été menées pour évaluer l'impact de l'envasement sur la géomorphologie du lac et les paramètres physico-chimiques de l'eau. Ces études, réalisées en octobre 2006, ont inclus la création de cartes bathymétriques détaillées (**Fig. 23**). Cette période d'étude correspond au niveau le plus bas du lac, en raison de l'évaporation accrue et des prélèvements d'eau pour l'irrigation (**Alayat et al., 2009**).

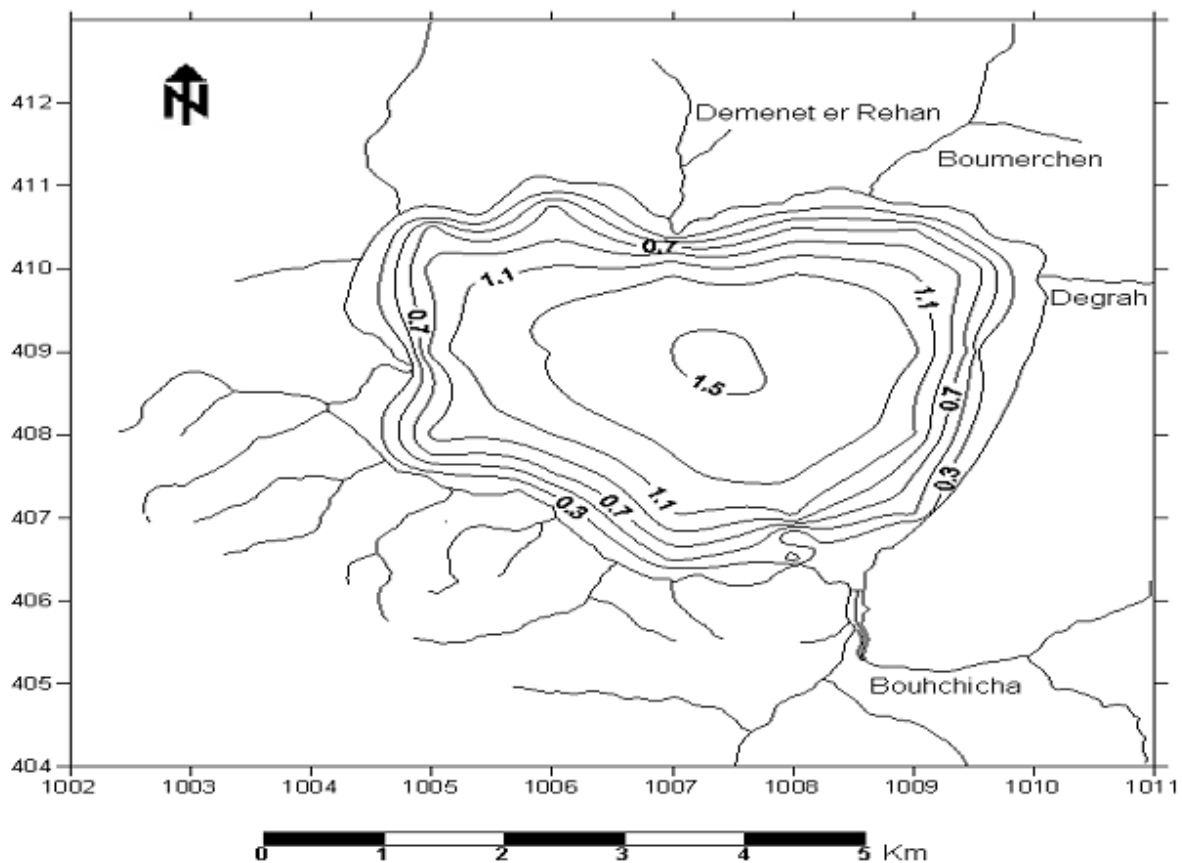


Figure 23 : Carte isobathe du lac Oubeira (Alayat et al., 2009).

Les études sur le lac Oubeira offrent un panorama complet de sa biodiversité, des phytoplanctons (**Branes et al, 2005 ; Ouarti, 2018; Ouelaa, 2023**) aux poissons (**Boudjadi, 2010 ; Chabet et al, 2022 ; Tahri & Panfili, 2023**) en passant par les oiseaux (**Oumeddour, 2017**). Elles mettent en évidence les variations alimentaires chez les poissons (**Derbal & Ariba, 2024**), la santé des populations, ainsi que les besoins trophiques des oiseaux, des données cruciales pour la gestion des ressources halieutiques et la conservation des habitats aviaires. Ces recherches soulignent l'importance de la gestion intégrée des ressources



naturelles pour maintenir l'équilibre écologique du lac tout en favorisant le développement économique local. En somme, la diversité des études souligne la complexité et la richesse de l'écosystème lacustre d'Oubeira, et souligne l'impératif du suivi des paramètres environnementaux pour garantir sa pérennité (**Meddour & Bouderra ,2011**).

2.6 Bassin Versant et Occupation des Sols

Le bassin versant du lac couvre une surface de 125 km². Les terres agricoles représentent 16% de cette superficie, soit 20 km², et les aires de parcours liées aux pratiques agricoles occupent 399 hectares (4%). Les zones urbanisées, représentant 5% du territoire, se concentrent principalement dans les communes d'El Kala au nord et d'Aïn El Assel au sud, avec une densité de population de 135 habitants/km².

Le lac Oubeïra est l'un des meilleurs exemples de zones humides naturelles dans la région méditerranéenne. Ce complexe de zones humides se classe en troisième position après le delta de l'Èbre en Espagne et la Camargue en France (**Samraoui & Belair 1998**). Il est classé site Ramsar depuis 1983 et est une "Réserve Naturelle Intégrale" du Parc National d'El-Kala.



CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

Le deuxième chapitre présente les éléments essentiels à la compréhension du matériel et des méthodes utilisés dans le cadre de cette thèse. Elle détaille notamment les formules appliquées pour le calcul des indices de croissance, la détermination de l'âge, l'analyse de l'épidémiologie parasitaire, ainsi que les méthodes statistiques utilisées. Enfin, une section est consacrée à l'étude du régime alimentaire.

1-Capture et traitement des anguilles

La présente étude a ciblé les populations d'anguilles peuplant le lac Oubeira et la lagune El Mellah durant **une** (01) campagne qui a eu lieu sur une période de décembre 2016 jusqu'à novembre 2017. L'échantillonnage utilisé est aléatoire et mensuel ; nous avons procédé à l'examen de 15 spécimens par mois et par site.

Les anguilles sont déplacées et gardées en vie dans le laboratoire pour être soumises au protocole spécifique à chaque section de cette thèse, qui s'articule autour de trois parties :

- Structure de la sous population (croissance corporelle ; argenture et otholitométrie);
- Parasitisme (ecto et endoparasites) ;
- Régime alimentaire.

Les anguilles ont été capturées grâce aux nasses (**Figure 24**), qui sont des dispositifs de pêche de forme cylindrique conçus pour faciliter leur entrée tout en rendant leur sortie plus complexe. L'échelle peut fluctuer, mais en règle générale, elles sont suffisamment spacieuses pour contenir plusieurs poissons simultanément, dont la taille moyenne est d'environ 10 mm de diamètre. La section fermée de la nasse est équipée d'un mécanisme de verrouillage qui autorise une ouverture et une fermeture aisées de l'entrée. Elle pourrait être équipée d'une ouverture à pivot, d'un dispositif de fermeture ou d'un procédé de tirage pour rendre l'accès à l'intérieur de la nasse plus aisé. La section ouverte est équipée de grilles ou de filets à mailles fines qui facilitent l'entrée des anguilles, tout en rendant leur sortie plus difficile. En effet, une fois qu'elles sont à l'intérieur de la nasse, elles ont généralement du mal à localiser l'ouverture et à s'en libérer. Cela autorise les pêcheurs à revenir ultérieurement pour les



prendre. Les nasses sont placées sur le fond dans les zones favorables au passage des anguilles.

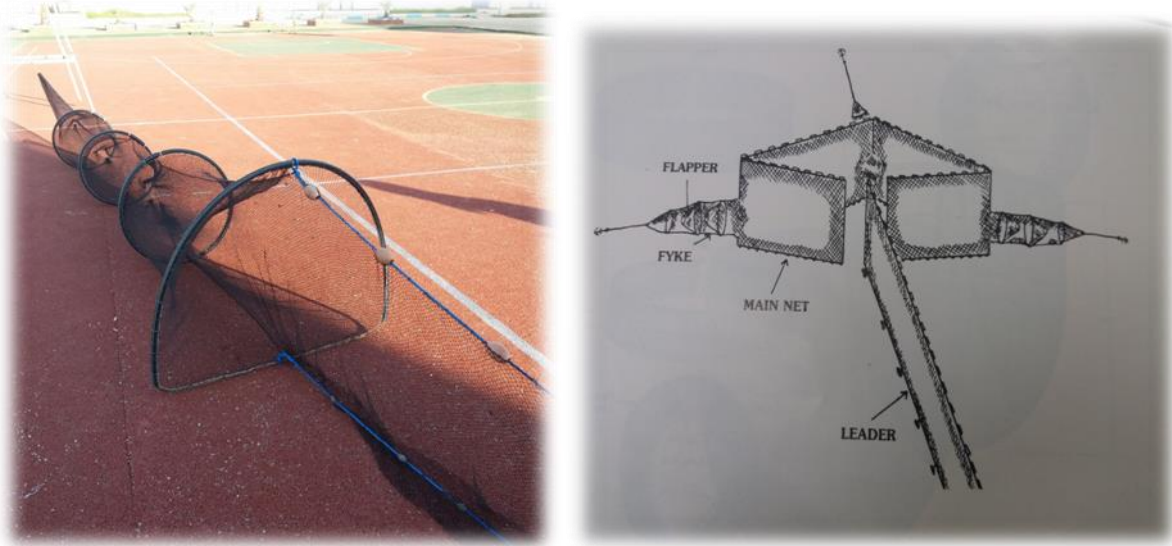


Figure 24 : photo de nasse et son installation (Présent travail)

2. Structure de la sous population d'anguille étudiée

Dans le cadre de cette recherche, nous avons procédé à l'abattage de 360 anguilles ; 180 de la Lagune El Melleh + 180 du Lac Oubeira , en effectuant un tirage au sort mensuel de 15 anguilles par mois dans une période qui s'est étendue de décembre 2016 à novembre 2017. Les anguilles sont déplacées et conservées en vie dans le laboratoire pour être soumises au protocole qui intègre les procédures détaillées ci-après :

2.1 Croissance corporelle

2.1.1 Mesure des caractères morphologiques externes

Nous avons méticuleusement enregistré la longueur totale (Lt) et le poids total (Pt) des sujets à l'aide d'un ichtyomètre et d'une balance de précision. (Au millimètre près et au gramme près, respectivement) (Figure 25).

a. Relation taille/poids

Relation entre la taille et le poids L'équation ci-dessous (Ricker, 1973) définit le lien entre la longueur totale (Lt) et le poids total (Pt) d'un poisson :

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



Dans cette formule :

- P_t indique le poids en état frais du poisson
- L_t désigne la longueur totale du poisson
- a est une valeur fixe
- b correspond au facteur 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**), selon **Folkvord et Mosegaard (2002)** le taux de croissance est identique entre les différentes parties du corps. Cependant, si la valeur de b diffère de 3, la croissance est alors allométrique (minorante si $b<3$ et majorante si $b>3$), ce qui indique qu'il existe des différences entre la croissance en poids et en longueur.

b. Coefficient de condition (K)

On trouve dans la littérature diverses formulations du facteur de condition (K). L'indice le plus souvent employé est le coefficient conditionnel net, qui correspond au rapport entre la longueur et le poids, généralement multiplié par une puissance correspondant au coefficient d'allométrie (**Tesch, 1971**). Ce coefficient facilite une appréciation rapide de la condition physiologique des individus et propose un aperçu relatif du potentiel énergétique des anguilles analysées. Voici la formule utilisée pour déterminer K :

$$K = 10^6 \times (M_t / L_t)^3$$

Ici :

- M_t symbolise la masse complète de l'individu (exprimée en grammes)
- L_t correspond à la longueur intégrale de l'individu (mesurée en centimètres)

c. Modélisation de la croissance

Nous avons fait appel au modèle de croissance halieutique le plus répandu, la fonction de croissance de Von Bertalanffy (FCVB) (**Panfili et al., 2002**). Sous sa forme axée sur la longueur, cette fonction s'exprime de la manière suivante :

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$



Dans cette formule, L_t symbolise la longueur moyenne au temps t , alors que L_∞ , K et t_0 sont des variables à définir. Nous avons aussi modélisé l'accroissement en lien avec le poids (Panfili et al., 2002) en employant l'équation suivante :

$$P_t = P_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})^3$$

Nous avons appliqué des méthodes propres à la sclérochronologie pour confirmer l'exactitude de nos approches. Nous avons opté pour la méthode de validation semi-directe parmi les diverses approches existantes, une technique largement pratiquée. Cette approche implique d'examiner la présence ou l'absence d'une certaine marque de croissance sur le contour d'une pièce calcifiée et de présenter les résultats en termes de pourcentage (%) pour le groupe étudié. Le suivi de la progression de ce pourcentage au cours du temps est par la suite effectué (Panfili et al., 2002).



Figure 25 : Mesures biométriques des anguilles capturées (Taille / Poids) (Présent travail)

2.2 Stades d'argenture

a. Calcul de l'indice de la nageoire pectorale (ILp%)

La taille de la nageoire pectorale (L_p) a été soigneusement quantifiée en millimètres (Figure 26). Cette mesure est modifiée en fonction de la taille totale du sujet pour



déterminer l'indice de la nageoire pectorale (ILP), qui est exprimé au pourcentage, selon l'équation suivante :

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

– L_p fait référence à la longueur de la nageoire pectorale exprimée en millimètres.

L_t indique la longueur complète du corps en millimètres. D'après **Durif (2003)**, l'ILP connaît une hausse entre la phase jaune ($ILP < 4\%$) et la phase argentée ($ILP \geq 5\%$). Ainsi, l'ILP indique le niveau de préparation des personnes pour une migration à travers les océans.



Figure 26 : Mesure de la longueur de la nageoire pectorale, (Présent travail)

b. Calcul de l'Indice Oculaire (IO)

Nous avons évalué avec une exactitude de centième de millimètre les diamètres horizontaux et verticaux des yeux droit et gauche (D_hG , D_hD , D_vG , D_vD) (**Figure 27**). Le diamètre de l'œil peut servir d'indicateur du stade de maturation de l'anguille, étant donné qu'il y a une corrélation significative entre le diamètre de l'œil et celui des ovocytes (**Pankhurst, 1982**). Le calcul de l'indice oculaire a été effectué de la manière suivante:

$$IO = \{((D_vG + D_hG)/4) \times ((D_vD + D_hD)/4) \times \pi/L_t\} \times 100$$



Où :

- Dv** représente le diamètre vertical de l'œil en millimètres
- Dh** représente le diamètre horizontal de l'œil en millimètres
- Lt** représente la longueur totale du corps en millimètres

Lorsque $IO \leq 6.5$, l'anguille est considérée « jaune » ; au-dessus de cette valeur, elle est considérée « argentée. »

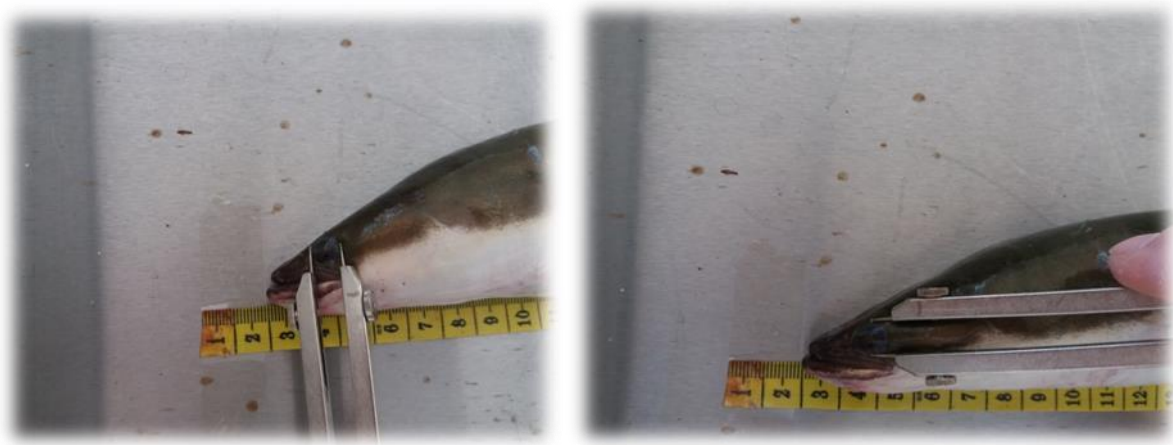


Figure 27 Mesure des diamètres oculaires horizontale et verticale (Gauche et droite) (Présent travail)

c. Détermination du stade de maturité sexuelle

On détermine le stade de maturité sexuelle (S) en se basant sur les informations morphométriques de chaque individu, comme la taille (mm), le poids (g), la longueur des ailes (mm) et le diamètre de l'œil (mm), qui ont été mesurées au préalable. Pour chaque étape (i), l'indice S est déterminé à l'aide de l'équation ci-après:

$$S_i = K + L \times Li + P \times Pi + D \times Di + Lp \times Lpi$$

Le **tableau 2** présente les coefficients de pondération (Li , Pi , Di et Lpi). Sur ces coefficients, c'est finalement le S maximal qui est choisi pour établir le stade de maturité de l'anguille.



Tableau 2: Coefficient de pondération pour la détermination de chaque stade de l'anguille (Durif et *al.*, 2005)

Phase de migration	Résident		Pré-migrant	Migrant		
Stades de maturité sexuelle	I (indifférencié)	FII (femelle)	FIII (femelle)	FIV (femelle)	FV (femelle)	MII (mâle)
Constante K	-61,276	-87,995	-109,014	-113,556	-128,204	-84,672
Longueur (corps) Li	0,242	0,286	0,28	0,218	0,242	0,176
Poids Pi	-0,108	-0,125	-0,127	-0,103	-0,136	-0,116
Diamètre moyen de l'œil Di	5,546	6,6627	9,108	12,187	12,504	12,218
Longueur (pectorale) Lpi	0,614	0,838	1,182	1,23	1,821	1,295

2.3. Mesure des paramètres anatomiques internes

a. Dissection des anguilles poids éviscéré

Pour réaliser la dissection, une « fenêtre » est ouverte sur l'abdomen, débutant par l'insertion des ciseaux dans l'anus. Une incision horizontale est pratiquée le long de l'abdomen jusqu'à la racine des nageoires pelviennes. Puis, à partir de l'anus, on trace une incision verticale vers le muscle du dos avant de continuer horizontalement le long du bas de ce muscle. Une incision finale est pratiquée pour atteindre la base des nageoires pelviennes, permettant de séparer cette « fenêtre » et d'exposer les organes internes (**Figure 28**). Les anguilles sont ensuite éviscérées et pesées.

(a)



(b)



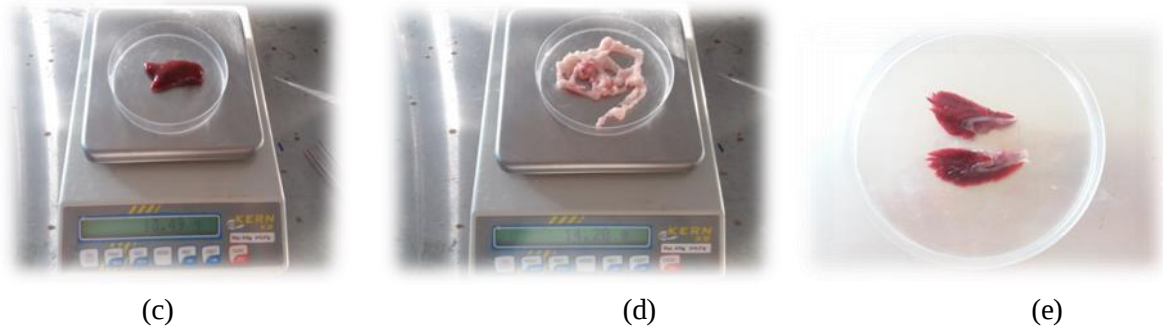


Figure 28: Organes prélevés après dissection (De gauche à droite : a- vessie gazeuse, b- tube digestif, c- foie , d- Gonades et e - branchies). (Présent travail)

b. Rapport gonado-somatique (RGS%)

La mesure du poids des gonades (P_g) a été effectuée avec une précision d'un gramme (Figure 25) dans le but de déterminer le rapport gonado-somatique (RGS) comme suit :

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

On utilise le RGS pour mesurer la maturité des gonades chez les anguilles argentées mâles ($\text{RGS} > 0,2\%$) et femelles ($\text{RGS} > 1\%$) pendant leur migration en aval (Fontaine, 1994 ; Marchelidon *et al.*, 1999 ; Acou *et al.*, 2003 ; Durif, 2003).

c. Rapport hépato-somatique (RHS)

Le poids du foie (P_f) a été mesuré avec une précision d'un gramme (Figure 25) pour calculer le rapport hépato somatique (RHS) selon la formule suivante :

$$\text{RHS (en \%)} = (P_f/P_t) \times 100$$

Selon (Durif, 2003), le taux de croissance spécifique des anguilles argentées peut fluctuer entre 0,5% et 5%, selon le sexe et l'individu. De l'état jaune à argenté, le RHS diminue généralement de $1,72 \pm 0,59\%$ à $1,24 \pm 0,30\%$, car l'anguille arrête de se nourrir avant de commencer sa migration .



d. Le rapport Tube Digestif Vide Somatique (RTDVS)

Le rapport tube digestif vide-somatique (RTDVS) a été calculé à l'aide de la mesure précise du poids du tube digestif vide (Ptdv), effectuée avec une précision d'un gramme (**Figure 29**), selon la formule ci-dessous :

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

Quand le RTDVS est inférieur ou égal à 1,5%, l'anguille est qualifiée d'« argentée » ; si elle dépasse cette mesure, elle est dite « jaune ».



Figure 29: Tube digestif d'Anguilles capturée (Présent travail).

2.4 Otolithométrie

L'otolithométrie est une méthode employée pour déterminer l'âge des poissons. Le but est de créer un lien entre la taille et l'âge, dans le but d'évaluer les chances d'appartenance à divers groupes pour chaque anguille correspondant à une catégorie de taille. Cette phase est indispensable pour toute analyse de la dynamique d'une population.

2.4.1 Prélèvement des otolithes

Une section transversale est réalisée au niveau de la partie postérieure du crâne, passant à travers la région postérieure de l'os pré-operculaire. La tête est ensuite coupée, séparant la partie antérieure du reste du corps (**Figure 30**). Les bulbes rachidiens, situés à l'arrière du



cerveau, deviennent visibles dans la partie supérieure du crâne, tandis que les cavités des oreilles internes sont localisées latéralement et sous le cerveau. Les otolithes sont prélevés directement à l'aide de pinces fines (**Panfili et al., 2002**).

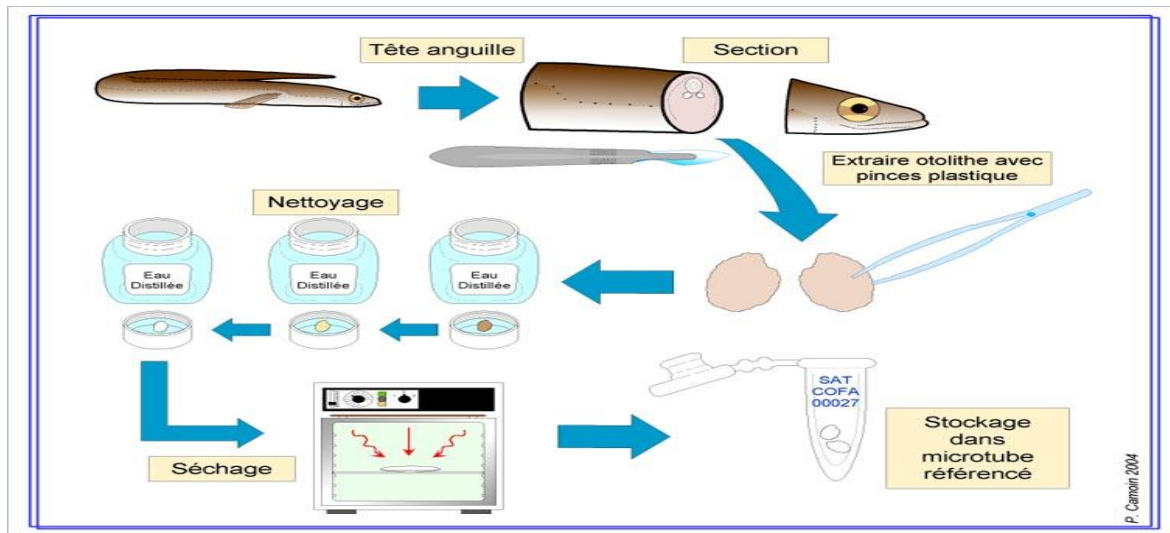


Figure 30: traitement des otolithes.

2.4.2 Nettoyage et conservation

Afin d'éliminer les tissus adhérant à la macula et au vestibule après la dissection, les otolithes sont soigneusement nettoyés mécaniquement à l'aide de pinces fines ou à la main. Ensuite, ils sont séchés à l'air à température ambiante et placés dans des micro-tubes (Eppendorf*) référencés pour une observation ultérieure. Enfin, ils sont stockés dans un endroit frais et sombre.

2.4.3. Observation

Nous avons pu analyser directement les marques de croissance des otolithes des anguilles attrapées en raison de la clarté avec laquelle elles se manifestent. Il n'était pas nécessaire de se préparer en amont, il suffisait d'utiliser une loupe **Leica WILDM3Z (Figure 31)** avec un éclairage réfléchi sur un fond noir. L'emploi d'un agent éclaircissant comme l'alcool s'est avéré nécessaire pour rehausser le contraste et la visibilité des marques de croissance. Quand on examine les otolithes dans leur totalité, on peut noter un schéma saisonnier d'alternance de marques. Les zones opaques, fortement calcifiées et qui apparaissent blanches sous la lumière



réfléchie, se succèdent à des zones hyalines qui présentent une calcification moins dense et ont un aspect sombre. La zone opaque est généralement associée à une période de croissance rapide, correspondant au printemps et à l'été, tandis que la zone hyaline est associée à une période de croissance plus lente, correspondant à l'hiver. En cas de conditions défavorables, il peut y avoir des arrêts totaux de la croissance linéaire et pondérale, ce qui entraîne un ralentissement marqué du dépôt sur l'otolithe. Dans ces zones, la calcification est extrêmement faible, voire inexistante. On se sert du nombre de lignes d'arrêt de croissance (L.A.C.) pour déterminer l'âge spécifique du poisson, en presumant qu'une ligne d'arrêt de croissance se forme chaque hiver.



Figure 31: loupe Leica WILD M3Z

L'analyse des signes de croissance se base sur la détection d'un modèle à travers les régions opaques et hyalines, et sur la différenciation entre les pauses de croissance saisonnières et les anomalies ponctuelles de croissance provoquées par des occurrences fortuites dans l'existence du poisson, comme le stress ou les périodes de jeûne. Habituellement, chez l'anguille européenne, l'annulus est constitué d'une zone opaque liée à une ou plusieurs zones hyalines, et la fin de la croissance annuelle est localisée à la bordure extérieure de la zone opaque.

Les otolithes de l'anguille présentent deux parties principales (Figure 32) :

- ✓ Le centre, (nucleus), représente stade « civelle ». Une marque de transition détermine l'entrée des civelles sur le continent et leur transformation en anguillette. Habituellement, l'âge des civelles est déterminé en observant les micro-stries de croissance à l'aide d'un microscope électronique à balayage.



- ✓ La zone périphérique désigne la phase de croissance des anguilles en milieu continental avant leur migration vers l'aval et leur sortie des bassins versants. Son interprétation se fait en observant les annulis ou les marques d'arrêt de croissance à l'aide d'une loupe binoculaire

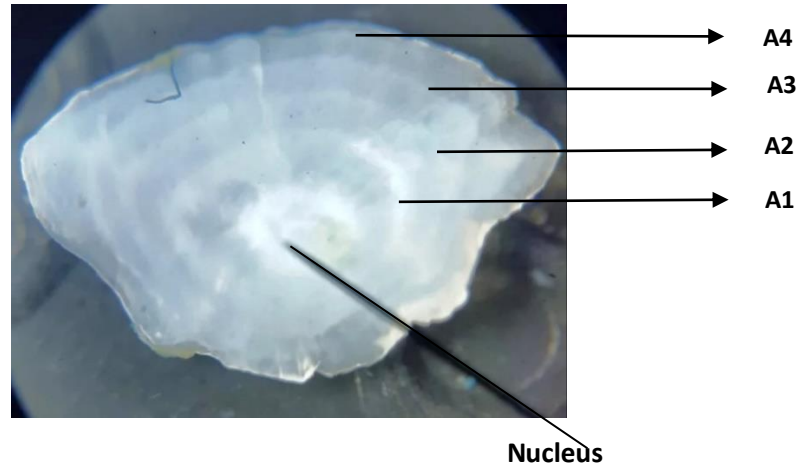


Figure 32: interprétation des marques de croissance à partir d'un otolithe d'anguille âgée de 55 mois (4 ans+) (Présent travail)

a. Estimation de l'âge

Après avoir identifié toutes les marques de croissance détectées sur les otolithes, nous avons procédé au dénombrement des anneaux saisonniers chaque année afin d'estimer l'âge des anguilles attrapées. Il s'est avéré bénéfique de répéter le processus d'évaluation au moins trois fois pour minimiser les éventuels biais. La méthode utilisée pour déterminer l'âge en mois à partir des otolithes d'anguilles prélevées est la suivante :

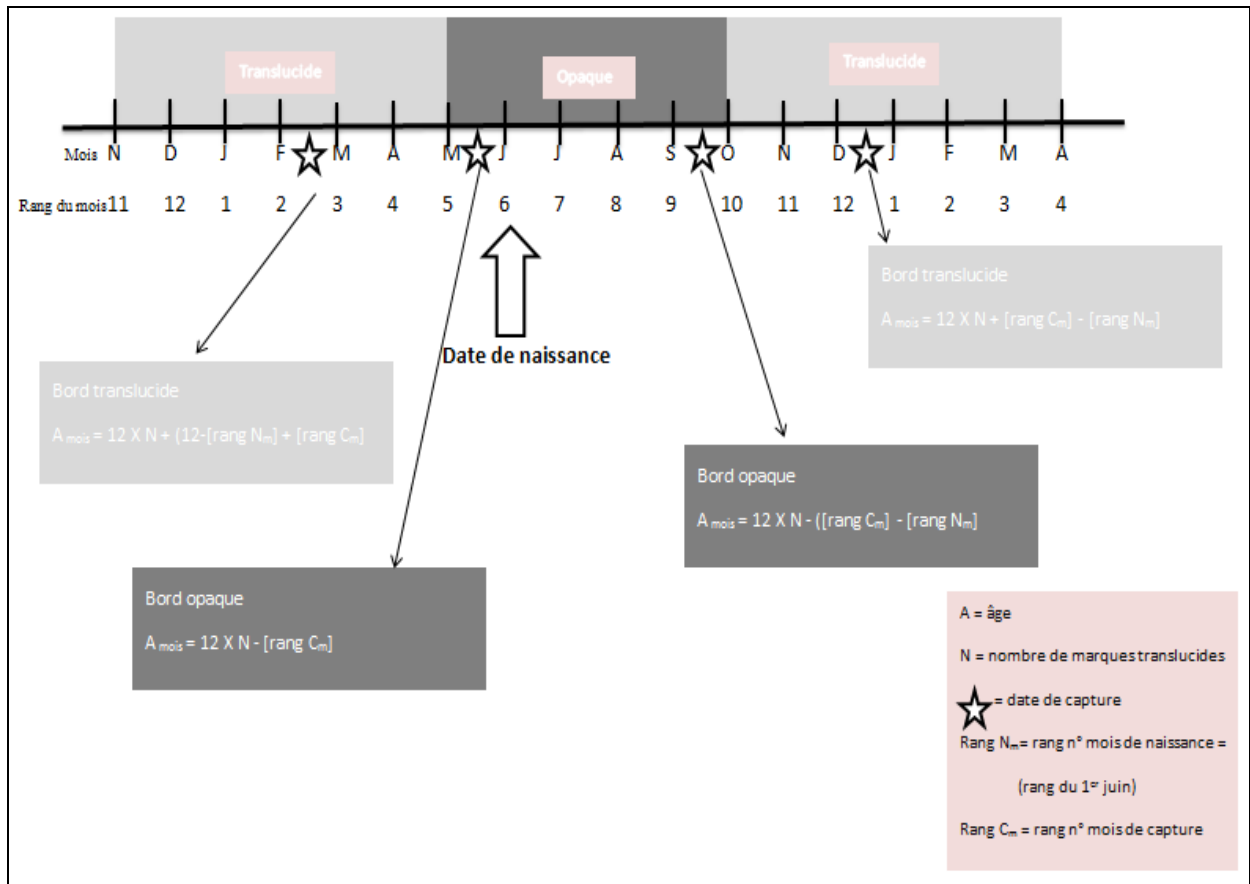


Figure 33: Calcul théorique de l'âge d'anguille à partir d'otolithe (Panfili *et al.*, 2002).

3. Parasitisme

3.1 Ectoparasites

• Prélèvement des branchies

Après l'extraction des branchies, elles sont mises au congélateur pendant toute une nuit pour faciliter le détachement des parasites. D'après (Mizelle, 1938), geler les branchies pendant au moins 12 heures avant toute fixation est une méthode efficace pour éliminer les parasites. (Figure. 33).

On dispose les arcs branchiaux à analyser dans un tube de 100 ml rempli d'eau sur deux tiers. Il suffit de secouer vigoureusement pour détacher les parasites des filaments branchiaux. Le dépôt est par la suite placé dans une boîte de Pétri pour y être dilué jusqu'à obtenir une clarté suffisante pour être examiné avec une loupe binoculaire. Finalement, on prélève les parasites



un par un avec une pipette capillaire, on les rince plusieurs fois à l'eau commune avant de les identifier grâce à un stéréo-microscope (Charles et Géry, 1968).

3.2 Endoparasites

- *Examen de la cavité abdominale*

Dans le cadre de cette recherche, nous avons inspecté la cavité abdominale de chaque anguille abattue pour identifier tous les parasites se trouvant sur la peau ou à l'intérieur des organes internes (cœur, foie, rate, vésicule biliaire, tube digestif, gonades, reins, muscles et vessie). Le recensement et la collecte des parasites sont réalisés avec soin afin de ne pas les détériorer, leur corps étant fragile et susceptible de se détruire sous une pression minimale.

L'évaluation de la vessie gazeuse débute par l'observation de son degré de délabrement (opacité, présence de saignement, apparence nacrée, transparence). Par la suite, on isole et sectionne la vessie longitudinalement. On prélève généralement les parasites présents dans la vessie natatoire, souvent vivants, on les débarrasse du liquide sanguin et on les compte.

3.3 Identification et conservation des parasites

On a étudié certains parasites en les gardant en vie, tandis que d'autres ont été fixés pour assurer leur conservation et permettre un examen ultérieur. La détermination des parasites recueillis se base sur l'examen des traits morpho-anatomiques des échantillons. Pour ce faire, l'examen de l'anatomie des parasites collectés se fait à l'aide d'une loupe stéréo microscopique (Olympus SZX 10).

Chaque espèce ou catégorie de parasite dérivant de chaque organe sera stockée dans un récipient distinct contenant une solution d'éthanol à 70%. Chaque pilulier portera une étiquette indiquant la date et le lieu où le poisson a été capturé, ainsi que la position du parasite au sein de l'hôte.

3.4 Calcul des indices parasitaires

Dans le cadre de cette recherche, nous faisons appel aux indices parasitaires suivants (Bush et al., 1997).

- Prévalence spécifique (P) : Il s'agit du taux d'infestation (N) par une espèce précise de parasites, calculé en fonction du nombre total de poissons inspectés (H).



$$P = (N / H) \times 100$$

-Intensité parasitaire moyenne (I) : C'est le nombre moyen d'individus d'une espèce parasite (n) présent dans un ensemble d'hôtes envahis (N). C'est la moyenne du nombre d'organismes parasitaires par hôte parasité dans l'échantillon étudié.

$$I = (n / N)$$

Abondance parasitaire (A) : Il s'agit de la quantité moyenne d'individus d'une espèce parasite (n) présente dans un ensemble d'hôtes par rapport à l'ensemble des poissons analysés (H). Il s'agit du nombre moyen d'organismes parasites par poisson examiné.

$$A = (n / H)$$

Dans ces équations :

- N représente le nombre d'hôtes infestés.
- H représente le nombre total de poissons examinés.
- n représente le nombre total d'individus d'une espèce parasite.

4. Régime alimentaire

On prélève les tubes digestifs en effectuant une coupe à la partie supérieure de l'œsophage, proche de la bouche, et du papillon uro-génital, à proximité de l'anus. Si elles sont liées à l'intestin, les graisses mésentériques sont éliminées. L'estomac, les caecums pyloriques et l'intestin sont ensuite séparés et sectionnés longitudinalement. À ce stade, le contenu est vidé sans gratter la paroi en utilisant une spatule ou une pince, au-dessus d'une boîte de Pétri.

L'examen des diverses proies consommées est effectué à travers l'utilisation d'une loupe binoculaire. Par la suite, nous avons entrepris d'évaluer certains critères qui aident à définir le régime alimentaire:



-CV% (Coefficient de Vacuité) : cet indicateur permet d'évaluer le comportement alimentaire. Cela fait référence au rapport entre le nombre de tubes digestifs vides (N_v) et le nombre total de tubes digestifs inspectés (N):

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

-Fréquence d'une proie ($F\%$):

C'est le taux calculé en mettant en relation le nombre total de tubes digestifs qui contiennent une proie précise (N_i) par rapport au nombre total de tubes digestifs analysés (N_p) :

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



I. Croissance

1. Lagune El Mellah

1.1 Relation âge-longueur des anguilles

L'étude de la croissance des anguilles de la lagune Mellah repose sur l'analyse des longueurs observées et estimées à différents âges, en utilisant le modèle de croissance de **von Bertalanffy**. Le tableau suivant (**Tab.3**) présente la relation entre l'âge et la longueur des anguilles, avec les longueurs estimées corrigées par le logiciel New VONBIT for Excel (2012).

Tableau 3: Relation âge-longueur des anguilles de la lagune Mellah

Séquence	Âge (t)	Longueur observée (mm)	Longueur estimée (mm)	Fréquence
10	1	43.018	40.34	1
20	2	48.464	51.55	1
30	3	50.068	54.70	1
40	4	55.176	55.59	1
50	5	61.700	55.83	1
60	0	0	0.41	1

L'analyse des valeurs montre une tendance générale de croissance progressive, avec des écarts variables entre les longueurs observées et estimées. À **1 an**, la longueur observée est de **43,018 mm**, tandis que la longueur estimée est de **40,34 mm**, indiquant une sous-estimation de **6,2 %**. À **2 ans**, la longueur estimée (**51,55 mm**) est supérieure à la longueur observée (**48,464 mm**), ce qui représente une surestimation de **6,3 %**.

Les écarts entre les longueurs estimées et observées s'atténuent à **4 ans**, avec des valeurs proches (**55,176 mm** observé contre **55,59 mm** estimé), affichant un écart de seulement **0,7 %**, démontrant un bon ajustement du modèle à cet âge. Toutefois, à **5 ans**, la longueur observée atteint **61,7 mm**, tandis que l'estimation est de **55,83 mm**, marquant une sous-estimation de **9,5 %**, ce qui pourrait être lié à des conditions environnementales influençant la



croissance des individus plus âgés. La valeur de **0,41 mm** estimée pour l'âge **0** indique une légère incertitude dans les mesures des stades précoces.

1.2 Paramètres de croissance des anguilles selon le modèle de von Bertalanffy

Les paramètres de croissance (**Tab.4**) obtenus à partir du modèle de **Von Bertalanffy** permettent de mieux comprendre la dynamique de croissance de cette population.

Tableau 4: Paramètres de croissance des anguilles de la lagune Mellah

Paramètre	Valeur	Intervalle de confiance (95%)
Longueur asymptotique (L_{∞})	55.931 mm	23.583 - 88.278 mm
Coefficient de croissance (K)	1.27	-
Âge théorique (t_0)	-0.006	-0.095 - 0.083
Coefficient de détermination (R^2)	0.970	-

Le modèle estime une longueur maximale théorique (L_{∞}) de **55,931 mm**, avec un intervalle de confiance relativement large (**23,583 mm - 88,278 mm**), indiquant une variabilité potentielle dans la croissance maximale en fonction des conditions environnementales et biologiques. Le coefficient de croissance (**K = 1,27**) indique une croissance rapide par rapport à d'autres environnements, suggérant que les anguilles de la lagune Mellah atteignent rapidement leur taille asymptotique.

L'âge théorique à taille zéro (**$t_0 = -0,006$**) est très proche de zéro, montrant que la croissance initiale commence quasiment dès la naissance, ce qui est cohérent avec un environnement favorable à un développement rapide. Le coefficient de détermination (**$R^2 = 0,970$**) indique un excellent ajustement du modèle aux données collectées, signifiant que **97 %** de la variation de la longueur des anguilles est expliquée par leur âge.

L'équation de croissance obtenue est la suivante :

$$L_t = 55.93 (1 - e^{-1.27 (t + 0.006)})$$



Montrant une croissance rapide initiale qui ralentit progressivement à mesure que la taille asymptotique est atteinte.

Ces résultats montrent que la croissance des anguilles de la lagune Mellah est bien ajustée au modèle, avec une croissance rapide et une taille maximale relativement faible par rapport aux autres milieux. Les écarts entre les longueurs observées et estimées aux âges extrêmes soulignent l'influence des conditions locales sur la dynamique de croissance de cette population.

1.3 Ajustement du modèle de croissance des anguilles de la lagune Mellah

L'analyse de la croissance des anguilles de la lagune Mellah repose sur l'ajustement du modèle de von Bertalanffy aux longueurs observées à différents âges. Cette analyse permet d'évaluer la précision du modèle et d'identifier les éventuels écarts entre les valeurs mesurées et estimées afin de mieux comprendre la dynamique de croissance de cette population (Figure 34).

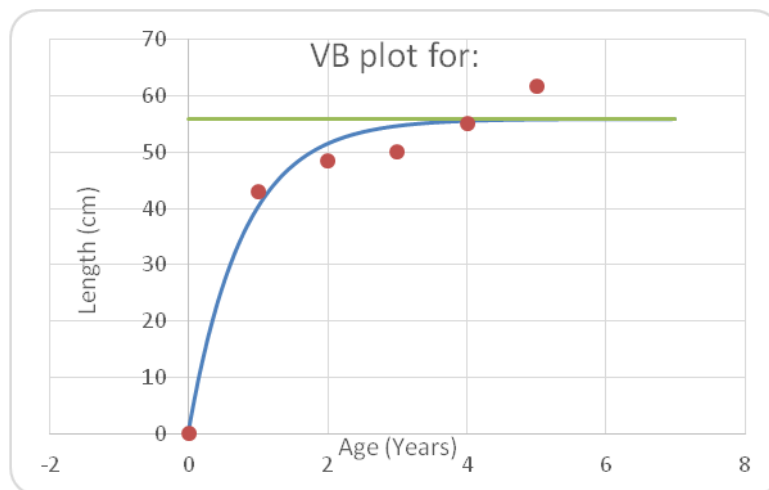


Figure 34: Ajustement du modèle de croissance des anguilles de la lagune Mellah

L'analyse de la figure révèle une croissance rapide durant les premières années, suivie d'un ralentissement progressif. À 1 an, la longueur observée est de **43,02 cm**, tandis que la longueur estimée est de **40,34 cm**, indiquant une sous-estimation de **6,2 %**. À 2 ans, la



longueur observée est de **48,46 cm**, tandis que la longueur estimée atteint **51,55 cm**, marquant une surestimation de **6,3 %**. Ces écarts restent relativement faibles et indiquent un ajustement globalement satisfaisant du modèle aux premiers stades de croissance.

Pour les âges de **3 et 4 ans**, la longueur observée est respectivement de **50,07 cm** et **55,18 cm**, tandis que les longueurs estimées sont de **54,70 cm** et **55,59 cm**, avec des écarts réduits de **8,5 %** et **0,7 %**, indiquant une meilleure adéquation du modèle à ces âges intermédiaires. Cependant, à **5 ans**, la longueur mesurée de **61,70 cm** dépasse significativement la longueur estimée de **55,83 cm**, affichant une sous-estimation de **9,5 %**, ce qui suggère que le modèle ne capte pas pleinement la variabilité des individus plus âgés.

La courbe montre que la longueur asymptotique théorique est atteinte aux alentours de **4 ans**, après quoi la croissance ralentit considérablement, conformément au comportement typique des anguilles. Ces résultats montrent que la croissance en longueur est principalement concentrée dans les premières années, tandis que les individus plus âgés investissent davantage dans l'accumulation de masse corporelle.

Dans l'ensemble, le modèle de von Bertalanffy fournit une représentation adéquate de la croissance des anguilles de la lagune Mellah, bien que des écarts existent pour les jeunes et les plus vieux individus. Ces différences peuvent être attribuées à des variations individuelles ou environnementales influençant la croissance au sein de cette population.

1.4 Optimisation du coefficient de croissance (**K**) des anguilles de la lagune Mellah

L'analyse précédente de l'ajustement du modèle de croissance a montré une bonne correspondance globale entre les longueurs observées et estimées, bien que des écarts soient apparus aux âges extrêmes. Afin d'affiner cette correspondance et d'améliorer la précision du modèle, l'optimisation du coefficient de croissance (**K**) est réalisée en minimisant la somme des carrés des écarts (**SSQ**). Cette approche permet de déterminer la valeur de **K** qui offre le meilleur ajustement aux données observées, en réduisant l'écart entre les longueurs mesurées et estimées.

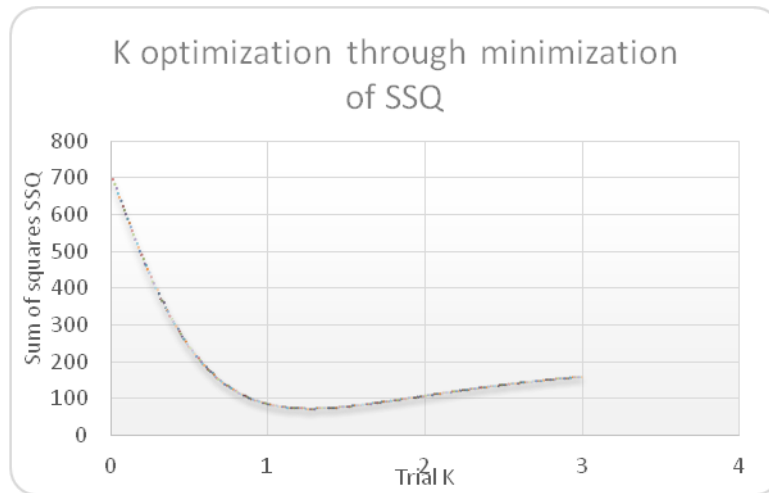


Figure 35: Optimisation du coefficient de croissance (K) des anguilles de la lagune Mellah

L'analyse de la figure révèle que la somme des carrés des écarts (SSQ) est élevée pour les faibles valeurs de K, atteignant environ 750 pour $K = 0,1$, indiquant un mauvais ajustement du modèle. À mesure que K augmente, la SSQ diminue rapidement et atteint un minimum d'environ 90 pour une valeur optimale de $K = 1,27$, indiquant le meilleur compromis entre précision du modèle et ajustement aux données observées.

Entre $K = 0,5$ et $K = 1,27$, la SSQ décroît fortement, passant de 400 à 90, ce qui illustre que la croissance initiale des anguilles est rapide et nécessite une valeur relativement élevée de K pour refléter cette dynamique. Cependant, au-delà de $K = 1,27$, la SSQ recommence à augmenter progressivement, atteignant environ 300 pour $K = 2$, ce qui suggère une surestimation de la croissance, entraînant des prédictions irréalistes pour les âges avancés.

L'optimisation permet donc de confirmer que $K = 1,27$ est la valeur la plus appropriée pour cette population, ce qui traduit une croissance plus rapide par rapport aux anguilles d'autres milieux, comme le lac Oubeira où $K = 0,87$ avait été identifié. Cette différence peut être attribuée à des facteurs environnementaux spécifiques à la lagune Mellah, tels que des conditions de température, de disponibilité alimentaire ou de densité de population favorisant une croissance accélérée.

En résumé, la valeur optimale de $K = 1,27$, identifiée par la minimisation de la SSQ, reflète une croissance rapide des anguilles aux premiers stades de leur vie, suivie d'un ralentissement



progressif. Cette optimisation confirme la robustesse du modèle et sa capacité à fournir des estimations précises de la croissance des anguilles dans ce milieu spécifique.

1.5 Relation entre l'âge et le poids des anguilles de la lagune Mellah

L'analyse précédente de l'optimisation du coefficient de croissance ($K = 1,27$) a montré une croissance rapide des anguilles de la lagune Mellah, nécessitant un ajustement précis du modèle pour refléter leur prise de poids. La relation entre l'âge et le poids est modélisée par l'équation suivante :

$$W_t = 37.888 (1 - e^{-1.27(t+0.006)})^{3.192}$$

Cette équation décrit la prise de poids en fonction de l'âge, où **37,888 g** représente le poids asymptotique potentiel des anguilles, tandis que l'exposant **3,192** indique une croissance allométrique positive, signifiant que la masse corporelle augmente de façon accélérée avec l'âge.

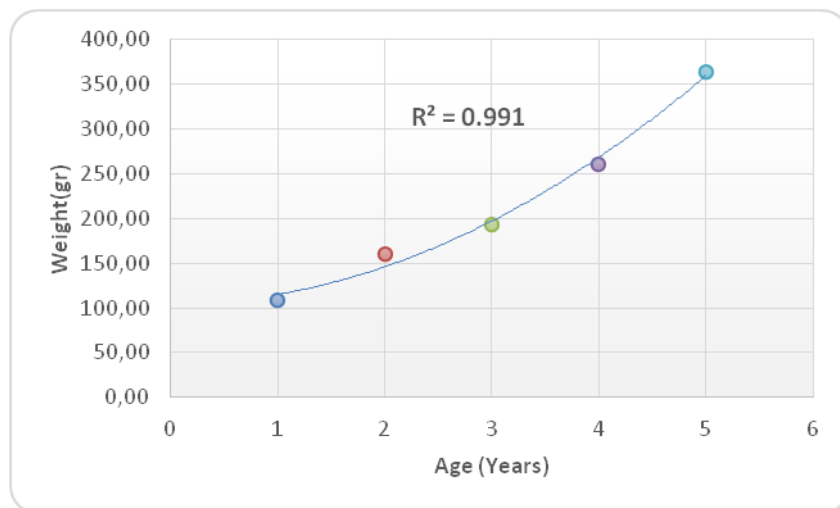


Figure 36: Relation âge-poids des anguilles de la lagune Mellah

L'analyse de la figure montre une augmentation régulière du poids en fonction de l'âge. À **1 an**, le poids moyen observé est d'environ **100 g**, tandis qu'à **2 ans**, il atteint environ **150 g**, indiquant une augmentation modérée de **50 g** en un an. Cette croissance s'accélère légèrement entre **2 et 3 ans**, où le poids passe à environ **200 g**, avec un gain de **50 g**, montrant une croissance progressive.



Entre **3 et 4 ans**, le poids augmente à environ **275 g**, révélant une accélération plus marquée, avec un gain de **75 g** sur une année. Enfin, à **5 ans**, le poids atteint environ **360 g**, avec une augmentation de **85 g**, confirmant la tendance d'une prise de poids plus rapide à des âges avancés.

Le coefficient de détermination ($R^2 = 0,991$) montre un excellent ajustement du modèle aux données observées, indiquant que **99,1 %** de la variation du poids est expliquée par l'âge. Cette forte valeur de R^2 souligne la précision du modèle et la faible dispersion des points de données autour de la courbe estimée.

L'analyse des valeurs montre que la prise de poids est modérée dans les premières années, avec un gain moyen de **50 à 75 g** par an entre **1 et 3 ans**, avant de s'accélérer avec une augmentation plus importante au-delà de **3 ans**, atteignant près de **85 g** par an. Cette dynamique indique une transition vers une phase de stockage énergétique accrue, ce qui est typique des anguilles à l'approche de la maturité.

Dans l'ensemble, les résultats indiquent que la croissance pondérale des anguilles de la lagune Mellah suit une tendance régulière et bien représentée par le modèle, confirmant la cohérence des prévisions avec les données observées.

1.6 Croissance et condition corporelle des anguilles du lac El Mellah

1.6.1 Croissance en longueur : Estimation de L_∞ et K

L'étude des paramètres de croissance est essentielle pour comprendre comment les anguilles se développent dans leur environnement. Grâce au modèle de von Bertalanffy et à la méthode ELEFAN I, deux éléments clés ont été identifiés :

- **L_∞ (longueur asymptotique)** : taille maximale théorique que les anguilles peuvent atteindre.
- **K (coefficient de croissance)** : vitesse à laquelle elles approchent cette taille.

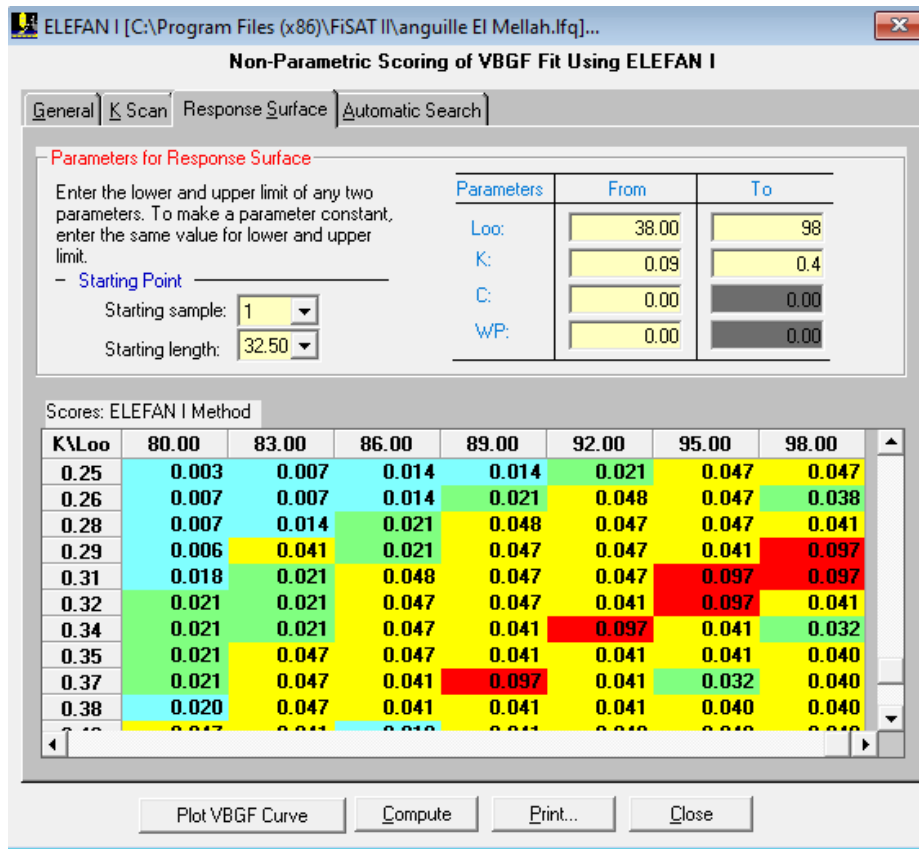


Figure 37: Estimation des paramètres L_{∞} et K pour les anguilles du lac El Mellah

Le tableau ci-dessus montre les scores obtenus pour différentes combinaisons de L_{∞} et K . Le score le plus élevé indique la meilleure estimation.

L'analyse du tableau révèle un **score maximal de 0,097**, obtenu avec :

- $L_{\infty} = 89 \text{ cm}$
- $K = 0,37 \text{ an}^{-1}$

Ces résultats indiquent que les anguilles du lac El Mellah peuvent atteindre **89 cm** dans des conditions optimales. Le coefficient $K = 0,37$ reflète une croissance modérée : rapide au début, puis plus lente à mesure que les anguilles approchent de leur taille maximale.

L'équation de croissance associée est :

$$L_t = 89 \times (1 - e^{-0.37(t - t_0)})$$



Cette équation décrit une croissance progressive, où la vitesse diminue à mesure que la taille asymptotique est approchée. Le coefficient **K** relativement faible indique que les anguilles prennent plus de temps pour atteindre une taille importante, ce qui pourrait être dû à une faible pression prédatrice ou à une disponibilité alimentaire stable.

Une observation intéressante réside dans la comparaison avec une estimation précédente ($L_{\infty} = 55,93 \text{ cm}$, $K = 1,27$). Ici, L_{∞} est plus élevé, bien que **K** soit plus bas. Cela suggère une **stratégie de croissance différente**, où les anguilles du lac El Mellah privilégient une croissance plus lente, mais vers des tailles plus importantes. Ce comportement peut refléter une adaptation aux conditions locales, permettant d'accumuler davantage de réserves avant la migration reproductive.

L'estimation de L_{∞} à **89 cm** prépare l'étape suivante : **l'analyse de la relation taille-poids**, qui reliera la croissance en longueur à la prise de masse corporelle. Cette analyse fournira des informations clés sur la condition physique des anguilles et leur stratégie énergétique dans le lac El Mellah.

1.6.2 Relation taille-poids et poids maximal théorique (W_{∞})

L'analyse de la relation taille-poids (**Figure 38**) permet de comprendre comment le poids des anguilles évolue en fonction de leur longueur. Cette relation donne des informations importantes sur la condition physique des individus et leur potentiel de croissance. En utilisant les paramètres de croissance obtenus précédemment ($L_{\infty} = 89 \text{ cm}$ et $K = 0,37 \text{ an}^{-1}$), il est possible d'estimer le poids maximal théorique (W_{∞}).

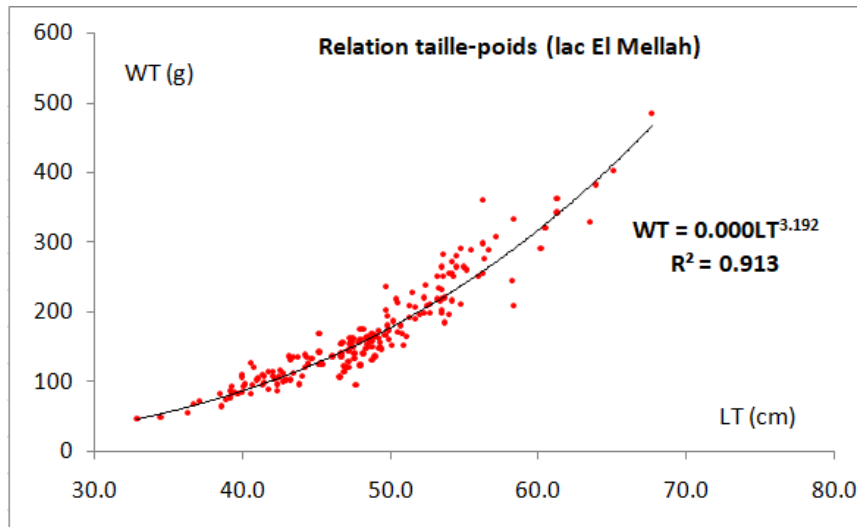


Figure 38: Relation taille-poids des anguilles du lac El Mellah

La courbe montre la relation entre la longueur totale (LT) en cm et le poids (WT) en g. L'équation de régression et le coefficient R^2 indiquent la qualité de l'ajustement.

L'équation décrivant cette relation est :

$$W_t = 0.0001 \times L_T^{3.192}$$

Le coefficient $b = 3,192$ indique une **croissance allométrique positive**, ce qui signifie que le poids augmente plus vite que la longueur. Plus les anguilles grandissent, plus elles prennent du poids rapidement, signe d'une bonne condition physique.

Le coefficient de détermination ($R^2 = 0,913$) montre que **91,3 %** de la variation du poids est expliquée par la longueur, ce qui prouve que la relation est solide et bien ajustée aux données observées.

En combinant cette équation avec la longueur asymptotique ($L_\infty = 89 \text{ cm}$), le **poids maximal théorique** (W_∞) est estimé comme suit :

$$W_\infty = 0.0001 \times 89^{3.192} \approx 470\text{g}$$



Cela signifie que les anguilles du lac El Mellah pourraient atteindre environ **470 g** si elles atteignent la longueur maximale prévue. Cette estimation est cohérente avec les observations, où les plus grandes anguilles approchent les **500 g**.

En observant la figure, la croissance pondérale est régulière pour les longueurs comprises entre **30 et 50 cm**, avec des poids variant de **50 à 200 g**. Au-delà de **50 cm**, la prise de poids s'accélère : les individus entre **60 et 70 cm** dépassent **400 g**, certains atteignant presque **500 g**. Cette accélération suggère une phase de stockage énergétique avant la migration reproductive.

Enfin, la faible dispersion des données entre **55 et 60 cm** indique une croissance uniforme dans cette phase, probablement un stade clé du développement.

Ainsi, la relation taille-poids observée montre que les anguilles du lac El Mellah ont un potentiel de croissance important. Le **poids maximal théorique de 470 g**, associé à une croissance allométrique positive (**b = 3,192**) et une forte corrélation entre longueur et poids (**R² = 0,913**), confirme des conditions environnementales favorables à une croissance harmonieuse et saine.



2 Lac Oubeira

2.1 Relation âge-longueur des anguilles

L'étude de la croissance des anguilles du lac Oubeira repose sur l'analyse des longueurs observées et estimées à différents âges, en utilisant le modèle de croissance de Von Bertalanffy (**Tableau 5**). Le tableau suivant présente la relation entre l'âge et la longueur des anguilles, avec les longueurs estimées corrigées par le logiciel New VONBIT for Excel (2012).

Tableau 5 : Relation âge-longueur des anguilles du lac Oubeira

Séquence	Âge (t)	Longueur observée (mm)	Longueur estimée (mm)	Fréquence
10	1	53.075	45.95	1
20	2	58.164	64.55	1
30	3	67.363	72.34	1
40	4	74.845	75.60	1
50	5	83.525	76.97	1
60	0	0	1.56	1

L'analyse des valeurs montre une tendance générale de croissance progressive, avec des écarts variables entre les longueurs observées et estimées. À 1 an, la longueur observée est de **53,075 mm**, tandis que la longueur estimée est de **45,95 mm**, soit une sous-estimation de **13,4 %**. À 2 ans, la longueur estimée (64,55 mm) est supérieure à la longueur observée (58,164 mm), indiquant une surestimation de **11 %**. La différence entre les valeurs observées et estimées diminue à 4 ans, où les mesures sont proches (74,845 mm observé contre 75,60 mm estimé), avec un écart réduit à **1 %**, montrant une bonne adéquation du modèle pour cet âge. Toutefois, à 5 ans, la longueur observée dépasse la longueur estimée de **7,8 %**, traduisant une sous-estimation de la croissance dans les âges avancés. La valeur de **1,56 mm** estimée pour l'âge 0 semble indiquer une incertitude dans les mesures des jeunes stades.



2.2 Paramètres de croissance des anguilles selon le modèle de von Bertalanffy

Les paramètres de croissance issus du modèle de Von Bertalanffy permettent de mieux comprendre la dynamique de croissance de cette population (**Tableau 6**).

Tableau 6: Paramètres de croissance des anguilles du lac Oubeira

Paramètre	Valeur	Intervalle de confiance (95%)
Longueur asymptotique (L_{∞})	77.957 mm	34.445 - 121.469 mm
Coefficient de croissance (K)	0.87	-
Âge théorique (t_0)	-0.023	-0.124 - 0.077
Coefficient de détermination (R^2)	0.963	-

Le modèle estime une longueur maximale théorique (L_{∞}) de **77,957 mm**, avec une variabilité relativement large (34,445 mm - 121,469 mm), indiquant que la croissance peut être influencée par des facteurs environnementaux. Le coefficient de croissance (**K = 0,87**) suggère une croissance relativement rapide, avec une bonne corrélation entre l'âge et la longueur, comme l'indique le coefficient de détermination élevé (**R² = 0,963**). Le paramètre **t₀ = -0,023**, proche de zéro, indique que la croissance initiale est conforme aux attentes du modèle.

L'équation de croissance obtenue :

$$L_t = 77.96 (1 - e^{-0.87(t + 0.023)})$$

Illustre une phase de croissance rapide au début, suivie d'un ralentissement progressif à mesure que la taille asymptotique est approchée.

L'ensemble des résultats montre que la croissance des anguilles du lac Oubeira est relativement bien ajustée au modèle, bien que des écarts notables soient observés aux âges extrêmes. Ces écarts, principalement aux âges jeunes et avancés, pourraient être influencés par les conditions environnementales du lac, les variations interindividuelles ou la précision des méthodes d'échantillonnage.



2.3 Ajustement du modèle de croissance aux données âge-longueur des anguilles du lac Oubeira

L'analyse de la croissance des anguilles du lac Oubeira repose sur l'ajustement du modèle de von Bertalanffy aux données observées. Cette analyse permet d'évaluer la correspondance entre les longueurs observées et les longueurs théoriques estimées par le modèle, et ainsi d'apprécier la qualité de l'ajustement et d'identifier d'éventuelles tendances ou écarts (Figure 39).

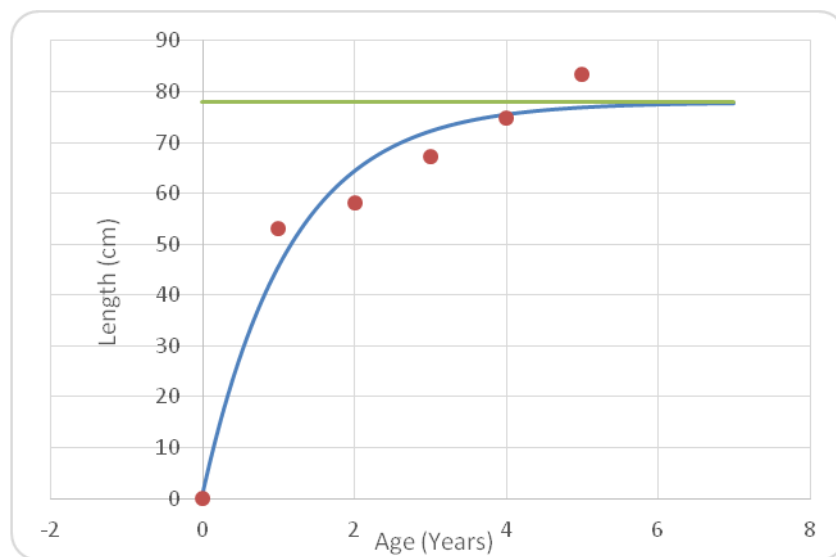


Figure 39: Ajustement du modèle de croissance des anguilles du lac Oubeira

L'examen de la figure révèle une croissance rapide des anguilles au cours des premières années, suivie d'un ralentissement progressif à mesure qu'elles approchent leur taille maximale théorique. À l'âge de 1 an, la longueur observée est de **53,08 cm**, tandis que la longueur estimée est inférieure, atteignant **45,95 cm**, soit une sous-estimation de **13,4 %**. À 2 ans, le modèle prédit une longueur de **64,55 cm**, alors que la valeur observée est de **58,16 cm**, traduisant une surestimation de **11 %**.

Aux âges de 3 et 4 ans, la correspondance entre les longueurs observées (**67,36 cm** et **74,85 cm**) et estimées (**72,34 cm** et **75,60 cm**) est plus précise, avec des écarts réduits respectivement à **7,4 %** et **1 %**, indiquant un bon ajustement du modèle dans cette plage



d'âge. Toutefois, à 5 ans, la longueur observée de **83,53 cm** dépasse la valeur estimée de **76,97 cm**, mettant en évidence une sous-estimation de **7,8 %**, ce qui pourrait être lié à des conditions environnementales favorables ou à des différences individuelles dans la croissance des anguilles plus âgées.

La présence d'un léger écart entre la courbe de croissance et les valeurs mesurées aux âges extrêmes indique que, bien que le modèle fournisse une estimation globale cohérente, certains individus peuvent croître plus rapidement que prévu. Ces écarts soulignent l'importance de prendre en compte les variations environnementales et biologiques spécifiques au lac Oubeira pour affiner les prédictions de croissance.

2.4 Optimisation du coefficient de croissance (K) des anguilles du lac Oubeira

L'analyse précédente de la relation âge-longueur a montré que le modèle de von Bertalanffy s'ajuste globalement bien aux données observées, avec quelques écarts aux âges extrêmes. Pour améliorer cet ajustement, il est nécessaire de trouver la valeur optimale du coefficient de croissance (**K**), qui détermine la vitesse à laquelle les anguilles atteignent leur taille maximale. La méthode utilisée consiste à minimiser la somme des carrés des écarts (**SSQ**) entre les longueurs observées et estimées (**Figure 40**).

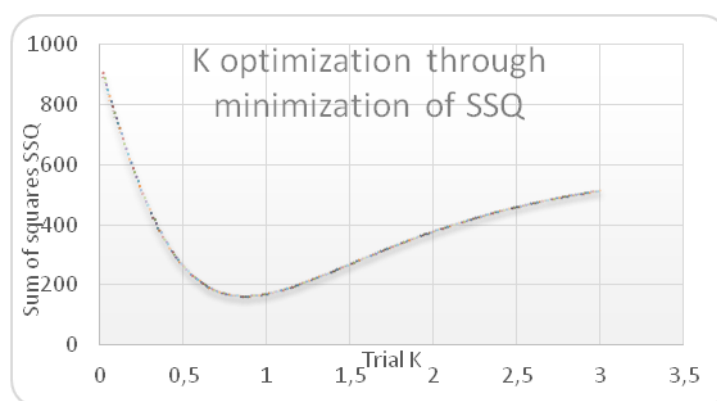


Figure 40: Optimisation du coefficient de croissance (K) des anguilles du lac Oubeira

L'examen de la figure révèle qu'à des valeurs faibles de K, la SSQ est élevée, atteignant environ **900** pour un K proche de **0**, ce qui signifie que le modèle ne correspond pas bien aux données. À mesure que K augmente, la SSQ diminue rapidement et atteint son minimum



autour de $K = 0,87$, avec une valeur d'environ 150, indiquant le meilleur ajustement possible. Cela signifie que cette valeur de K permet de prédire la croissance des anguilles avec une précision maximale.

Au-delà de $K = 0,87$, la SSQ recommence à augmenter progressivement, atteignant environ 450 pour $K = 2$, indiquant que le modèle devient moins précis. Une valeur de K trop élevée surestime la croissance, ce qui peut conduire à des prévisions irréalistes pour les âges avancés. D'autre part, des valeurs plus faibles de K sous-estiment la croissance des jeunes anguilles, ce qui peut donner l'impression d'une croissance plus lente qu'en réalité.

Ainsi, la valeur optimale de $K = 0,87$ représente un bon équilibre entre la croissance rapide des jeunes anguilles et le ralentissement progressif attendu à des âges plus avancés. Cette optimisation confirme que le modèle choisi est adapté pour représenter la croissance des anguilles du lac Oubeira de manière fiable.

2.5 Relation entre l'âge et le poids des anguilles du lac Oubeira

L'analyse précédente de la relation âge-longueur a montré une croissance rapide des anguilles du lac Oubeira, suivie d'un ralentissement progressif à mesure qu'elles approchent leur taille maximale théorique. De plus, l'optimisation du coefficient de croissance ($K = 0,87$) a confirmé une bonne adéquation du modèle aux données observées. L'étude de la relation âge-poids permet désormais d'examiner l'évolution de la masse corporelle et de valider la cohérence du modèle de croissance pondérale appliqué à cette population, représenté par l'équation de croissance suivante :

$$W_t = 409.292 (1 - e^{-0.87(t+0.023)})^{3.495}$$

Cette équation décrit la prise de poids des anguilles en fonction de leur âge. Le terme 409.292 représente le poids asymptotique théorique que les anguilles pourraient atteindre, tandis que l'exposant 3.495 indique une croissance allométrique positive, suggérant une prise de poids qui s'accélère avec l'âge. Le facteur de croissance exponentiel montre une forte augmentation



du poids dans les premiers stades, suivie d'un ralentissement progressif conforme aux caractéristiques biologiques de l'espèce.

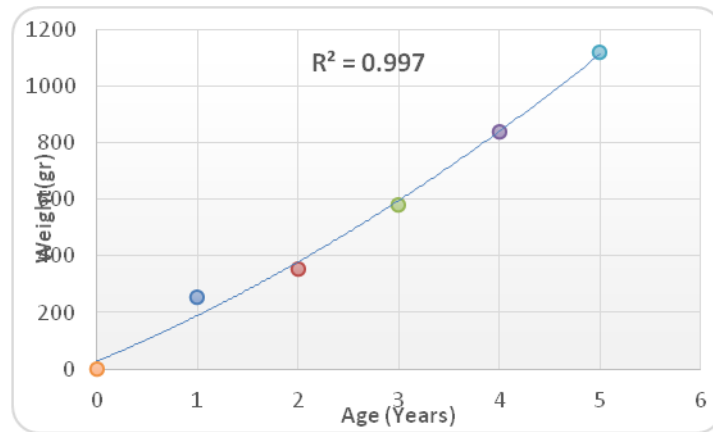


Figure 41: Relation âge-poids des anguilles du lac Oubeira.

L'analyse des données révèle une augmentation progressive et régulière du poids des anguilles en fonction de l'âge. À **1 an**, le poids moyen est d'environ **150 g**, tandis qu'à **2 ans**, il atteint environ **320 g**, marquant une augmentation de **170 g** en une année. Entre **2 et 3 ans**, la masse corporelle passe à environ **460 g**, montrant une croissance plus lente par rapport à l'année précédente, avec un gain de **140 g**. Cependant, entre **3 et 4 ans**, une accélération est observée avec une prise de poids de **290 g**, portant le poids moyen à environ **750 g**. À **5 ans**, la croissance pondérale atteint son maximum observé de **1100 g**, avec une augmentation annuelle de **350 g**, indiquant une accélération de l'accumulation de la masse corporelle à des âges avancés.

Le coefficient de détermination ($R^2 = 0,997$) montre une excellente corrélation entre l'âge et le poids des anguilles, signifiant que **99,7 %** de la variation du poids est expliquée par l'âge. Cette valeur élevée reflète un ajustement précis du modèle et confirme la fiabilité des prédictions effectuées. Les écarts entre les points observés et la courbe théorique sont minimes, renforçant la pertinence du modèle de croissance appliqué à cette population.

L'examen des valeurs révèle que la prise de poids est relativement modérée au cours des premières années, avec un gain moyen de **160 g** par an entre **1 et 3 ans**, avant d'accélérer considérablement au-delà de **3 ans**, avec une augmentation moyenne de **320 g** par an entre **3 et 5 ans**. Cette tendance met en évidence une transition progressive vers une accumulation



plus rapide des réserves corporelles avec l'âge, conforme aux résultats observés pour la croissance en longueur.

L'ensemble de ces résultats confirme la cohérence entre la croissance en longueur et en poids des anguilles du lac Oubeira, démontrant une progression harmonieuse et un ajustement précis du modèle utilisé.

2.6 Croissance et condition corporelle des anguilles du lac Oubeira

2.6.1 Croissance en longueur : Estimation de L_{∞} et K

L'analyse des paramètres de croissance permet de comprendre comment les anguilles du lac Oubeira grandissent. En utilisant le modèle de von Bertalanffy avec la méthode ELEFAN I, deux paramètres clés ont été identifiés :

- **L_{∞} (longueur asymptotique)** : la taille maximale théorique que les anguilles peuvent atteindre.
- **K (coefficient de croissance)** : la vitesse à laquelle elles approchent cette taille maximale.

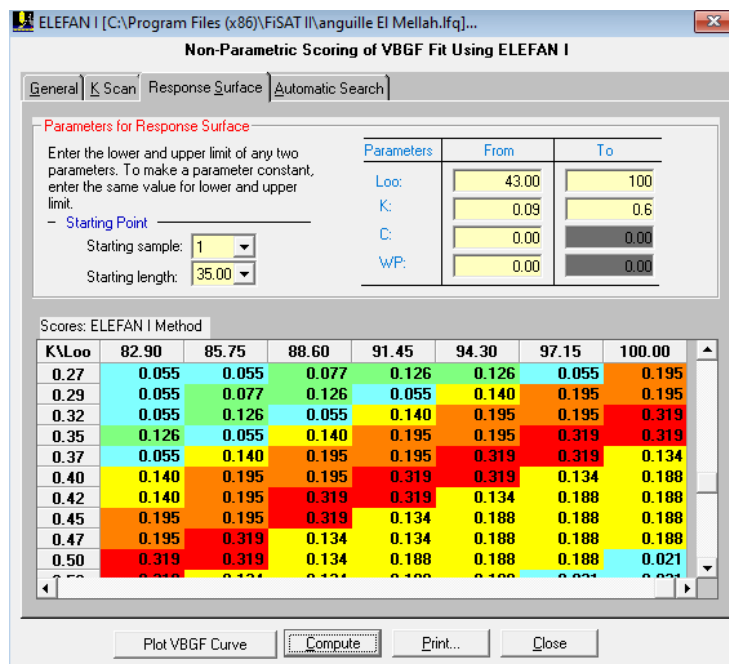


Figure 42: Estimation des paramètres L_{∞} et K pour les anguilles du lac Oubeira



Le tableau montre les scores pour différentes combinaisons de L_{∞} et K . Le score le plus élevé correspond au meilleur ajustement du modèle.

Le **meilleur score (0,319)** est obtenu pour :

- **$L_{\infty} = 97,15 \text{ cm}$**
- **$K = 0,35 \text{ an}^{-1}$**

Ce résultat signifie que les anguilles du lac Oubeira pourraient atteindre jusqu'à **97,15 cm** dans des conditions idéales. Le coefficient **$K = 0,35$** indique une croissance modérée : les anguilles grandissent rapidement au début, puis la croissance ralentit à mesure qu'elles approchent de leur taille maximale.

L'équation décrivant cette relation est :

$$L_t = 97.15 \times (1 - e^{-0.35(t - 0)})$$

Cette équation montre que la croissance est rapide durant les premières années avant de se stabiliser.

Comparée à celle du lac El Mellah (**$L_{\infty} = 89 \text{ cm}$, $K = 0,37 \text{ an}^{-1}$**), la population du lac Oubeira affiche un potentiel de croissance supérieur en longueur (**97,15 cm**). Cependant, le rythme de croissance est légèrement plus lent (**$K = 0,35$** contre **0,37** pour Mellah). Cela suggère que les anguilles du lac Oubeira prennent plus de temps pour atteindre des tailles plus grandes. Cette différence pourrait être liée aux conditions environnementales du lac, comme une meilleure qualité de l'eau, plus de nourriture disponible ou moins de concurrence.

Ces résultats ouvrent la voie à l'analyse suivante : **la relation taille-poids**, qui permettra d'évaluer comment le poids évolue avec la taille et de mieux comprendre la condition physique des anguilles du lac Oubeira.



2.6.2 Relation taille-poids et poids maximal théorique (W_{∞})

L'analyse de la relation taille-poids permet de comprendre comment la masse corporelle des anguilles évolue avec leur longueur. Cette relation fournit des informations sur la condition physique des individus et leur potentiel de croissance. En s'appuyant sur la longueur asymptotique estimée précédemment ($L_{\infty} = 97,15 \text{ cm}$), il est possible d'estimer le poids maximal théorique (W_{∞}) pour cette population.

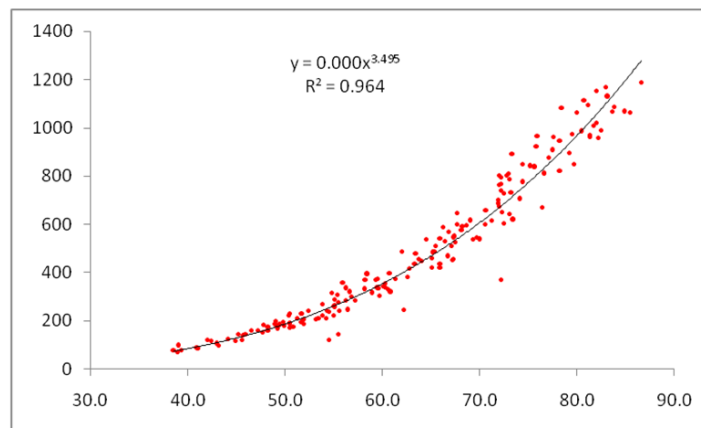


Figure 43: relation taille-poids des anguilles du lac Oubeira

La courbe représente la relation entre la longueur totale (LT) en cm et le poids (WT) en g. L'équation de régression et le coefficient de détermination (R^2) indiquent la qualité de l'ajustement.

L'équation qui décrit cette relation est :

$$W_t = 0.0001 \times L_t^{3.495}$$

Dans cette équation :

- **Wt** : poids des anguilles (g).
- **Lt** : longueur totale (cm).
- **0.0001** : coefficient d'interception.
- **3.495** : exposant, indiquant la relation entre taille et poids.

Le coefficient **b = 3.495** suggère une **croissance allométrique positive**, ce qui signifie que le poids augmente plus rapidement que la longueur. Cette croissance accélérée du poids avec la



taille indique une accumulation énergétique importante, typique des anguilles qui se préparent à leur migration reproductrice.

Le coefficient de détermination ($R^2 = 0,964$) montre que **96,4 %** de la variation du poids est expliquée par la longueur. Cette valeur élevée confirme la fiabilité du modèle et la forte corrélation entre taille et poids pour cette population.

En combinant cette relation avec la longueur asymptotique ($L_\infty = 97,15 \text{ cm}$), le **poids maximal théorique (W_∞)** est estimé comme suit :

$$W_\infty = 0.0001 \times 97.15^{3.495} \approx 1200$$

Cela signifie que les anguilles du lac Oubeira ont le potentiel d'atteindre environ **1,2 kg** si elles atteignent la longueur maximale estimée. Ce poids maximal est en accord avec les données observées sur la figure, où plusieurs individus dépassent les **1000 g**.

En examinant la répartition des données sur la figure, on remarque que :

- Pour des longueurs comprises entre **40 et 60 cm**, le poids varie de **100 g** à environ **400 g**, indiquant une croissance pondérale progressive.
- Au-delà de **60 cm**, la prise de poids s'accélère nettement, avec des individus atteignant **800 g** à **70 cm** et dépassant les **1000 g** pour les tailles proches de **80 cm**.

Cette augmentation rapide du poids pour les grandes tailles reflète une stratégie de stockage énergétique, nécessaire avant la phase de migration. La faible dispersion des points autour de la courbe confirme une croissance homogène au sein de la population.

Ainsi, la relation taille-poids des anguilles du lac Oubeira révèle un potentiel de croissance important, avec une croissance allométrique positive ($b = 3.495$) et un poids maximal théorique d'environ **1,2 kg**. La forte corrélation entre la taille et le poids ($R^2 = 0,964$) suggère des conditions environnementales favorables qui soutiennent une croissance saine et équilibrée dans ce milieu.



3 Stades d'argenture

La classification des anguilles selon leur stade d'argenture selon (Durif, 2004) repose sur l'observation de modifications progressives liées à leur développement sexuel et à leur préparation à la migration. Ce système distingue plusieurs phases, allant des individus juvéniles, encore non différenciés sur le plan sexuel, jusqu'aux femelles complètement matures, prêtes à quitter leur habitat pour la reproduction. Les femelles traversent plusieurs niveaux de maturation ovarienne, tandis que les mâles apparaissent uniquement à un stade intermédiaire, marqué par le début du développement testiculaire. Chaque étape reflète une avancée dans le cycle biologique de l'espèce, et constitue un indicateur clé de l'état physiologique et migratoire de l'animal. (Tableau 7)

Tableau 7: Classification des stades d'argenture des anguilles selon leur phase de migration et leur degré de maturité sexuelle (Durif, 2004).

Phase de migration	Stades de maturité sexuelle	Description
Résident	I (indifférencié)	Anguilles immatures, sexe non déterminé, organes reproducteurs non différenciés.
	FII (femelle)	Femelles en début de développement des ovaires, pas encore matures.
	FIII (femelle)	Femelles en phase de maturation, ovaires en développement avancé.
Pré migrant	FIV (femelle)	Femelles proches de la maturité sexuelle, ovaires bien développés.
	MII (mâle)	Mâles en développement des testicules, pas encore pleinement matures.
Migrant	FV (femelle)	Femelles pleinement matures, prêtes à migrer et à se reproduire.



A. Distribution du poids moyen des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture dans les deux sites

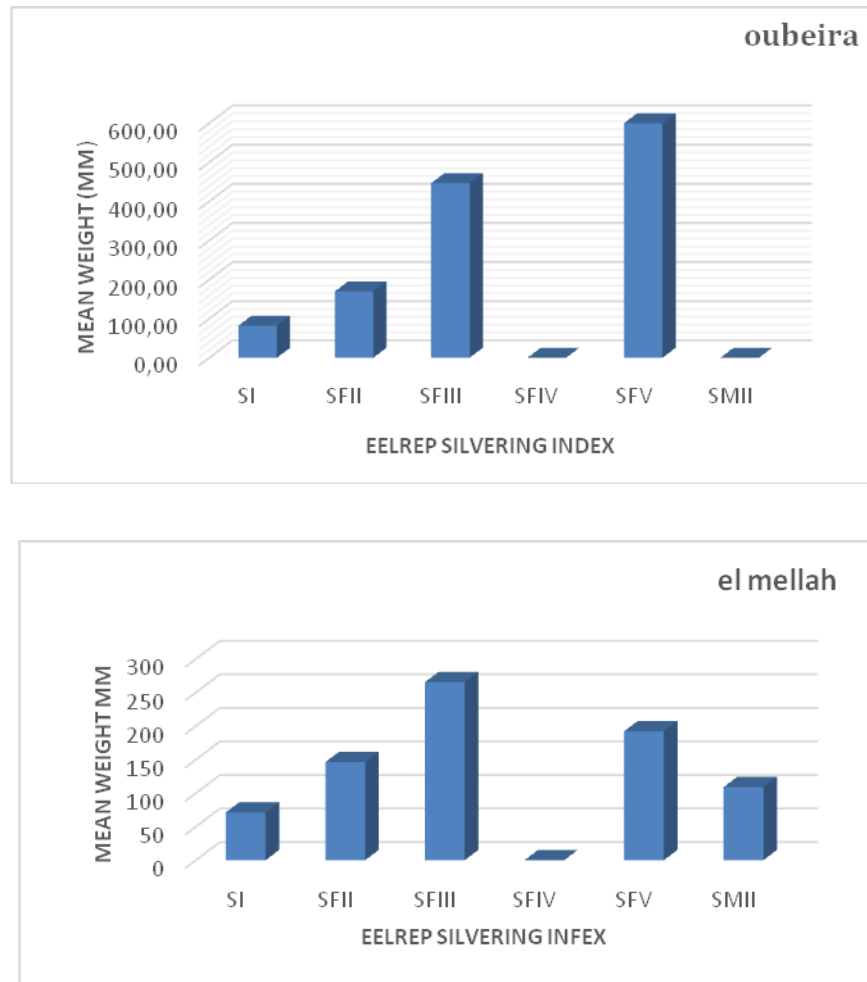


Figure 44: Distribution du poids moyen des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture

Les résultats révèlent une augmentation significative du poids moyen des anguilles au fil des stades de maturation sexuelle, particulièrement marquée chez les individus issus du lac Oubeira. Dans ce site, les femelles matures prêtes à migrer (stade FV) atteignent un poids moyen de **599,63 g**, contre **192 g** à El Mellah pour le même stade. Cette différence pourrait traduire un apport nutritionnel supérieur ou une durée de croissance prolongée dans le lac. On note également qu'aux stades FIII (femelles en maturation avancée), les anguilles d'Oubeira pèsent en moyenne **446,42 g**, contre **265 g** à El Mellah, suggérant une meilleure capitalisation énergétique en amont de la migration. Les stades non représentés (FIV et MII) n'apparaissent pas dans l'échantillonnage, ce qui pourrait refléter une absence temporaire ou une très faible occurrence de ces phases dans les captures.



B. Distribution de la taille moyenne des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture dans les deux sites

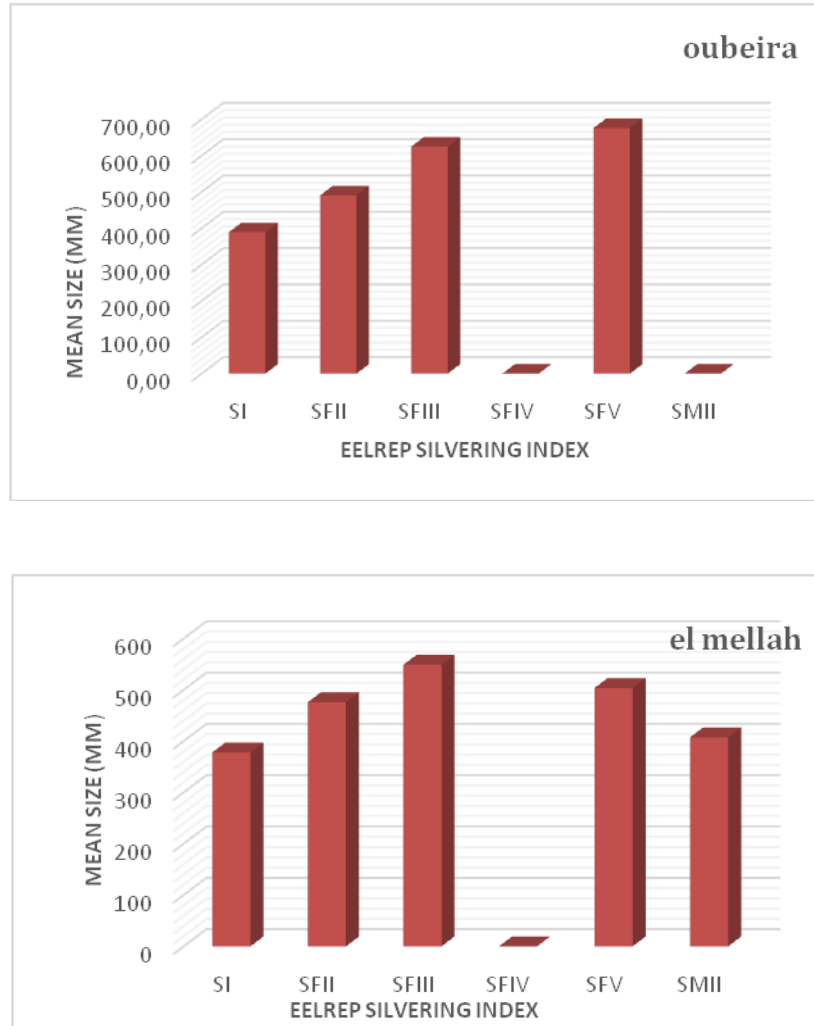


Figure 45: Distribution de la taille moyenne des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture

La taille moyenne suit une dynamique similaire à celle du poids, avec des longueurs nettement supérieures chez les anguilles du lac Oubeira à chaque stade de développement. Au stade FV (femelles matures migrantes), elles atteignent une longueur moyenne de **676,32 mm**, contre **504 mm** à El Mellah. Ce développement corporel plus important chez les anguilles d'Oubeira pourrait être une adaptation à la migration sur longue distance, exigeant une masse musculaire accrue. On observe aussi que, dès les premiers stades (I et FII), les tailles moyennes sont plus grandes à Oubeira, ce qui suggère une croissance plus précoce ou



continue dans ce milieu lacustre, alors que la lagune présente des tailles plus modestes, peut-être en lien avec une pression environnementale différente.

C. Répartition moyenne de l'âge des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture dans les deux sites

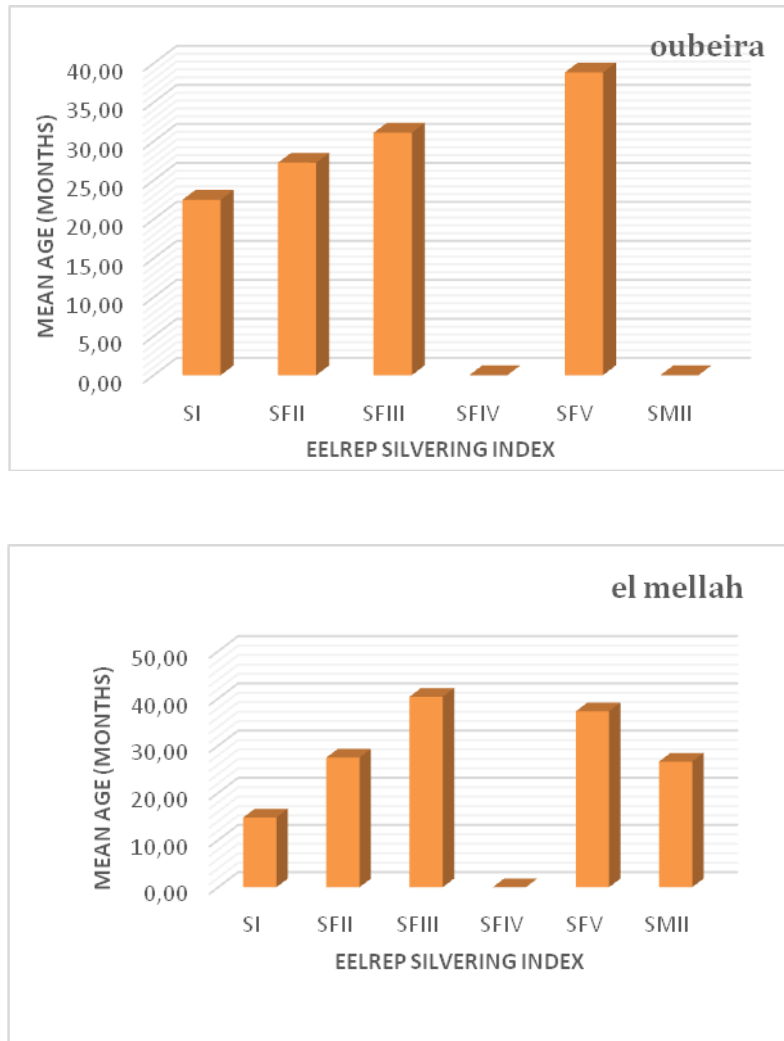


Figure 46: Répartition moyenne de l'âge des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture

L'évolution de l'âge moyen montre que les anguilles du lac Oubeira atteignent les stades avancés de maturation sexuelle à un âge plus élevé que celles de la lagune El Mellah. Par exemple, les femelles prêtes à migrer (stade FV) sont âgées en moyenne de **38,82** mois à Oubeira contre **37,27** mois à El Mellah. Aux stades précoces, les différences sont encore plus prononcées : les individus de stade I (immatures, sexe indéterminé) ont **22,50** mois à Oubeira



contre seulement **14,77** mois à El Mellah. Ces données suggèrent une maturation plus lente et progressive dans le lac, possiblement due à des conditions environnementales plus stables mais moins productives, tandis qu'un développement plus rapide semble se produire dans la lagune.

D. Distribution moyenne FI des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture dans les deux sites

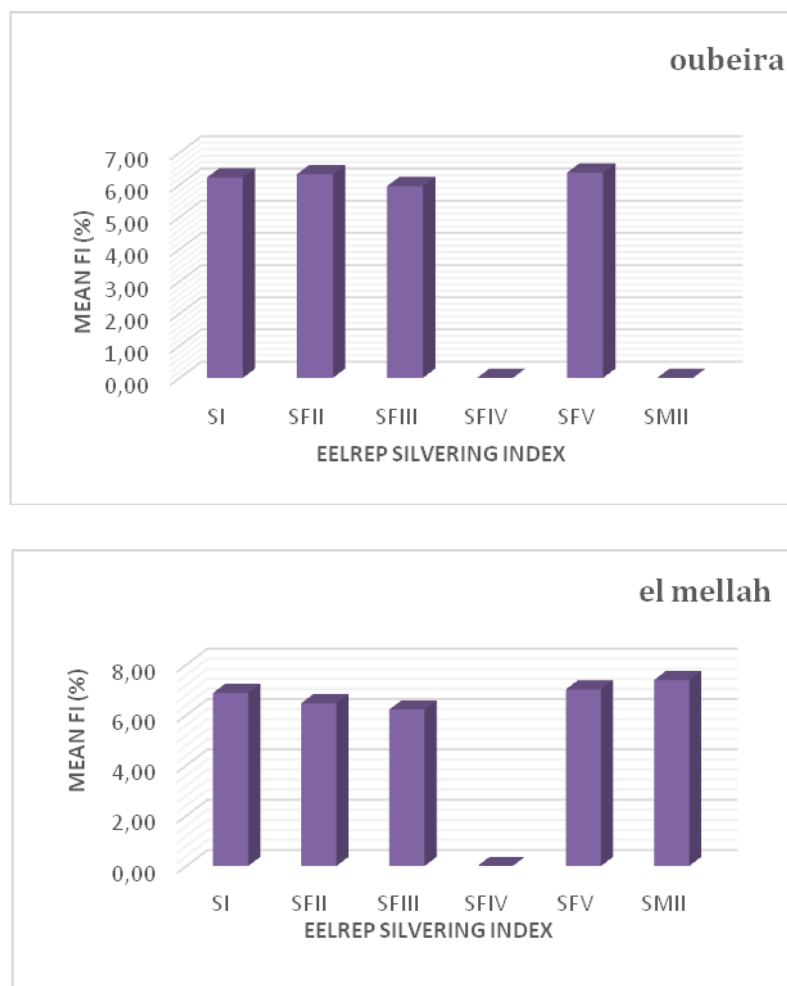


Figure 47: Distribution moyenne FI des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture

Le facteur d'indice (FI), indicateur de la condition corporelle, est relativement stable mais montre des valeurs légèrement supérieures dans la lagune El Mellah, notamment chez les mâles au stade MII (**7,39**) contre des valeurs nulles dans le lac, où aucun mâle n'a été capturé à ce stade. Chez les femelles matures (FV), le FI est de **6,38** à Oubeira contre **7,02** à El



Mellah, suggérant une meilleure condition corporelle finale dans la lagune. Cela peut refléter un investissement énergétique plus efficace dans les tissus corporels à El Mellah, malgré une masse globale inférieure.

E. Distribution moyenne de l'OI des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture dans les deux sites

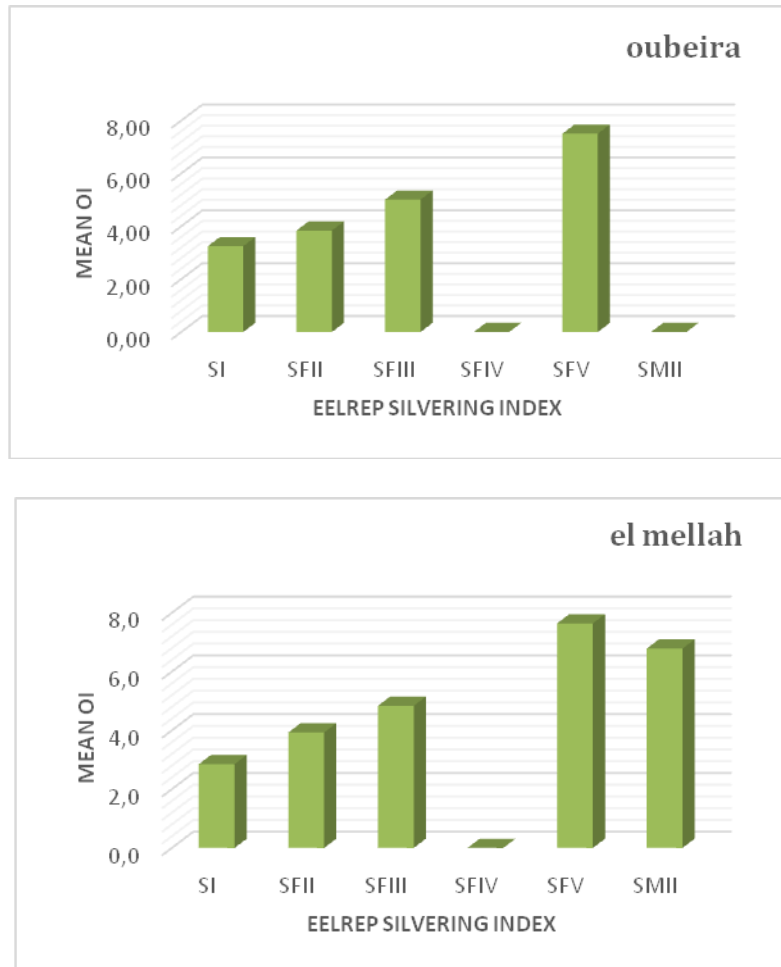


Figure 48: Distribution moyenne de l'OI des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture

L'indice oculaire (OI) augmente progressivement avec l'avancée de la maturation sexuelle dans les deux milieux, mais il atteint des valeurs maximales comparables : 7,50 à Oubeira et 7,6 à El Mellah au stade FV. Cette augmentation est en lien direct avec le développement des organes reproducteurs, notamment les ovaires chez les femelles. La présence de valeurs élevées chez les individus de stade SFIII (femelles en maturation active) dans les deux sites traduit déjà une activité physiologique intense. On peut cependant noter une montée plus



linéaire de l'OI à El Mellah, tandis que le lac présente des pics plus abrupts, probablement liés à une transition plus brusque vers la phase migratoire.

F. Distribution moyenne des GSI, HIS et GI (%) des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture dans les deux sites

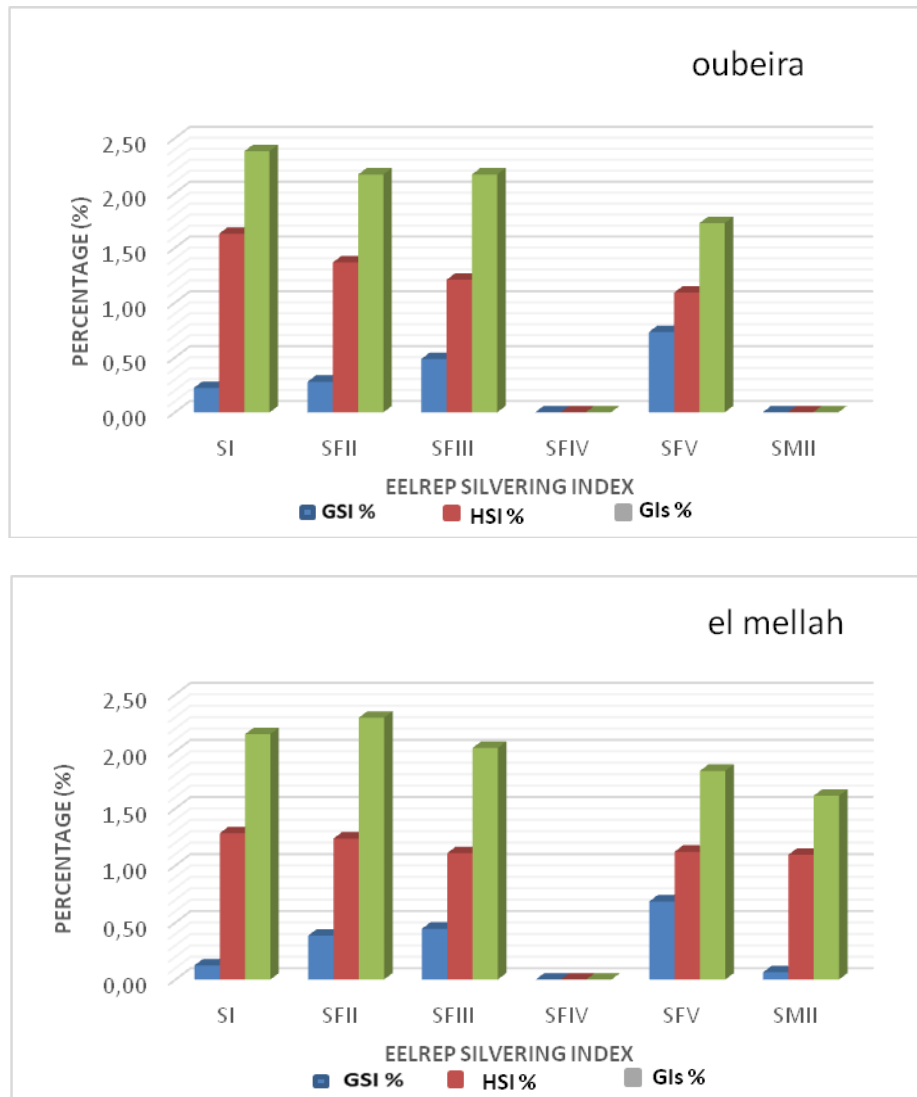


Figure 49: Distribution moyenne des GSI, HIS et GI (%) des anguilles capturées en fonction du degré d'argenture

La figure 49 présente l'évolution comparative de trois indices physiologiques – GSI (indice gonadosomatique), HIS (indice hépatosomatique) et GI (indice digestif) – chez les anguilles capturées au lac Oubeira et à la lagune El Mellah, en fonction de leur degré d'argenture, lequel reflète leur stade de maturation sexuelle et leur statut migratoire.



❖ *Évolution du GSI (indice gonadosomatique)*

Le GSI est un indicateur clé de la maturation sexuelle, puisqu'il exprime la proportion de la masse des gonades par rapport à la masse totale du corps. L'analyse montre que chez les anguilles du lac Oubeira, le GSI augmente progressivement au fil de la maturation, passant de **0,22 %** au stade I (immatures) à un maximum de **0,73 %** au stade FV (femelles pleinement matures prêtes à migrer). Cette dynamique traduit une maturation gonadique continue et aboutie.

En comparaison, les anguilles de la lagune El Mellah présentent également une hausse du GSI avec l'argenture, atteignant **0,68 %** au stade FV, une valeur légèrement inférieure à celle observée dans le lac. Cette différence, bien que modeste, suggère une maturation gonadique plus avancée chez les individus du lac Oubeira, qui pourraient ainsi disposer d'un potentiel reproducteur légèrement supérieur.

❖ *Évolution du HIS (indice hépatosomatique)*

Le HIS mesure la proportion du foie dans la masse corporelle et est souvent utilisé comme indicateur de l'état des réserves énergétiques. Dans les deux milieux, une diminution progressive du HIS est observée au fur et à mesure que l'anguille avance vers les stades migratoires. Au lac Oubeira, le HIS chute de **1,63 %** (stade I) à **1,09 %** (stade FV), tandis qu'à El Mellah, il passe de **1,28 %** à **1,12 %**. Cette réduction reflète une mobilisation des réserves hépatiques, nécessaires pour soutenir les processus de maturation gonadique et préparer la migration. Le fait que cette diminution soit plus accentuée à Oubeira pourrait indiquer un investissement énergétique plus intense dans la reproduction, au détriment des réserves hépatiques.

❖ *Évolution du GI (indice digestif)*

Le GI, représentant la masse relative du tractus digestif, connaît également une décroissance à mesure que la maturation sexuelle progresse. Ce déclin traduit une réduction de l'activité digestive typique chez les anguilles argentées, qui cessent de s'alimenter en préparation de la migration. À Oubeira, le GI passe de **2,38 %** (stade I) à **1,73 %** (stade FV), tandis qu'il diminue plus modérément à El Mellah (**2,2 %** à **1,8 %**). Cette tendance, plus prononcée dans le lac, suggère une transition plus complète vers l'état de jeûne physiologique, caractéristique des anguilles prêtes à entamer leur migration vers les zones de frai.



II.Parasitisme

1. Parasites rencontrés :

L'analyse parasitologique menée sur un total de **360** spécimens d'anguilles européennes provenant des deux écosystèmes étudiés – le lac Oubeira et la lagune El Mellah – a permis la récolte de **6487** parasites. Cette exploration a révélé une diversité notable, incluant trois espèces de trématodes, dont un représentant monogène et deux digènes, ainsi que trois nématodes distincts. En parallèle, un cestode, un crustacé parasite, une espèce d'acanthocéphale et plusieurs formes myxozoaires non déterminées ont également été observés, traduisant une richesse parasitaire importante.

1.1. Les Trématodes :

1.1.1. Les monogènes

✓ *Pseudodactylogyrus sp* (Buchmann et al., 1987)

Ce parasite appartient à la famille des *Pseudodactylogyridae* et correspond à un monogène initialement décrit sur les branchies de l'anguille japonaise. Il a toutefois été introduit chez l'anguille européenne, probablement à la suite du transfert de juvéniles infestés depuis le Japon vers l'ancienne Union Soviétique durant les années 1970. Ce parasite se distingue par la présence d'un opisthaptor, une structure spécialisée qui lui permet de se fixer solidement aux tissus branchiaux de son hôte. Espèce holoxène et invasive, elle représente une menace sérieuse en élevage piscicole, notamment en aquaculture, en raison de son potentiel pathogène élevé (Buchmann et al., 1987).

- **Position systématique :**

Embranchement : Plathelminthes

Classe : Monogenea (Van Beneden, 1858)

Ordre : Monopisthocotylea (Odhner, 1912)

Famille : Dactylogyroidea (Bychowsky, 1957)

S/famille : Pseudodactylogyridae (Ogawa, 1986)

Genre : Pseudodactylogyrus (Gussev, 1965)

Espèce : *Pseudodactylogyrus sp.*



Pseudodactylogyrus anguillae et *P. bini* sont deux espèces de monogènes qui parasitent les branchies de l'anguille européenne. Bien qu'ils soient spécifiques de cet hôte, leur présence peut provoquer des dysfonctionnements respiratoires importants, en particulier lorsque les conditions environnementales se détériorent, comme lors des épisodes estivaux de réchauffement thermique ou d'eutrophisation. Ces deux espèces, toutes deux exotiques et à caractère invasif, sont soupçonnées d'avoir contribué à la disparition du parasite indigène *Gyrodactylus anguillae*, autrefois endémique à l'espèce. Des cas de remplacement parasitaire de ce type ont été rapportés notamment en Italie, dans le fleuve Tibre, ainsi que dans la rivière Culm et les marais d'Exminster, au Royaume-Uni (Kennedy & Di Cave, 1998a ; Kennedy et al., 1998b).

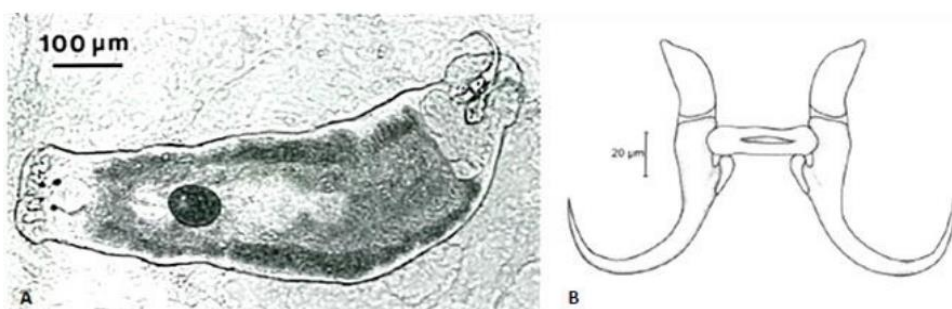


Figure 50: Morphologie générale de *Pseudodactylogyrus* sp. D'après (Buchmann et al., 1987) / (Présent travail)



Les monogènes se distinguent par une spécificité étroite vis-à-vis de leurs hôtes, adaptant leur présence à la répartition géographique de ces derniers. D'après **Buchmann (1993)**, les espèces *Pseudodactylogyrus anguillae* et *P. bini* auraient été introduites aux alentours de 1977, en provenance de foyers asiatiques dont l'origine précise reste incertaine. Depuis, des représentants du genre *Pseudodactylogyrus* ont été recensés dans diverses régions du monde, témoignant de leur capacité de dispersion globale et de leur caractère invasif dans de nombreux contextes écologiques.

1.1.2. Les Digènes :

✓ *Bucephalus anguillae* (Spakulová, Macko, Berrilli & Dezfuli, 2002):

Ce parasite appartient aux trématodes digènes de la famille des *Bucephalidae* (**Figure 51**). Il infeste spécifiquement le tube digestif de l'anguille européenne, où il se fixe à l'aide d'un organe antérieur distinctif, le *rhynchus*, équipé de sept tentacules rétractiles. Pendant de nombreuses années, il a été confondu avec *Bucephalus polymorphus*, une espèce connue pour parasiter différents poissons d'eau douce (**Di Cave et al., 2001**). Son cycle de vie, de type hétéroxène, s'effectue en milieu saumâtre à salé, impliquant comme premier hôte intermédiaire le mollusque *Abra tenuis*, suivi du poisson *Aphanius fasciatus* en tant que second hôte (**Gargouri-Ben Abdallah & Maamouri, 2002**).



Figure 51: Morphologie générale du *Bucephalus anguillae* D'après (Spakulová et al., 2002) / (Présent travail)



✓ *Deropristis inflata* (Molin, 1859):

Ce trématode digène, rattaché à la famille des *Deropristidae*, parasite spécifiquement l'intestin de l'anguille européenne. Il se reconnaît notamment à son cou latéralement étiré, orné de grandes épines tégumentaires, ainsi qu'à la présence d'anneaux d'écailles entourant la ventouse orale. Ce parasite est retrouvé dans des milieux présentant une variabilité en salinité, illustrant sa tolérance écologique. De type hétéroxène, son cycle biologique implique comme hôte intermédiaire le polychète *Nereis diversicolor* (Cable & Hunninen, 1942 ; Kanev et al., 1999 ; Jones et al., 2005).



Figure 52: Morphologie générale du *Deropristis inflata* D'après (Jones et al., 2005). (Présent travail)

1.2 Les Nématodes :

a. *Anguillicola crassus* (Kuwahara, Niimi & Itagaki 1974):

Ce nématode, appartenant à la famille des *Anguillicolidae*, parasite spécifiquement la **vessie natatoire** de l'anguille européenne. Il s'agit d'une espèce invasive à cycle hétéroxène, dont le développement implique un copépode cyclopoïde servant d'hôte intermédiaire (De Charleroy et al., 1987). Ce parasite est particulièrement redouté en raison de son régime hématophage, qui contribue à affaiblir l'hôte, mais aussi de sa localisation anatomique critique. En effet, les migrations répétées des larves d'*A. crassus* dans la paroi de la vessie natatoire provoquent des



lésions chroniques susceptibles d'altérer la flottabilité de l'anguille. Une vessie endommagée pourrait compromettre sa capacité à atteindre les profondeurs nécessaires à la reproduction, estimées à plus de 400 mètres.

✓ **Position systématique :**

Embranchement : Nematoda

Classe: Spirurida

Famille: Anguillicolidae .

Genre: Anguillicola

Espèce : *Anguillicola crassus*

Originaire du Sud-Est asiatique, ce nématode est naturellement associé à l'anguille japonaise *Anguilla japonica*, chez laquelle il est endémique. Son introduction en Europe remonte aux années 1980, à la suite de l'importation de civelles en provenance de Taïwan et de Nouvelle-Zélande, destinées à l'aquaculture en Allemagne (Feunteun, 2002 ; Palstra et al., 2007 ; Jakob et al., 2009b ; Lefebvre et al., 2012). Cette introduction accidentelle a facilité son établissement chez l'anguille européenne, ouvrant la voie à sa dissémination à grande échelle dans les milieux aquatiques continentaux.

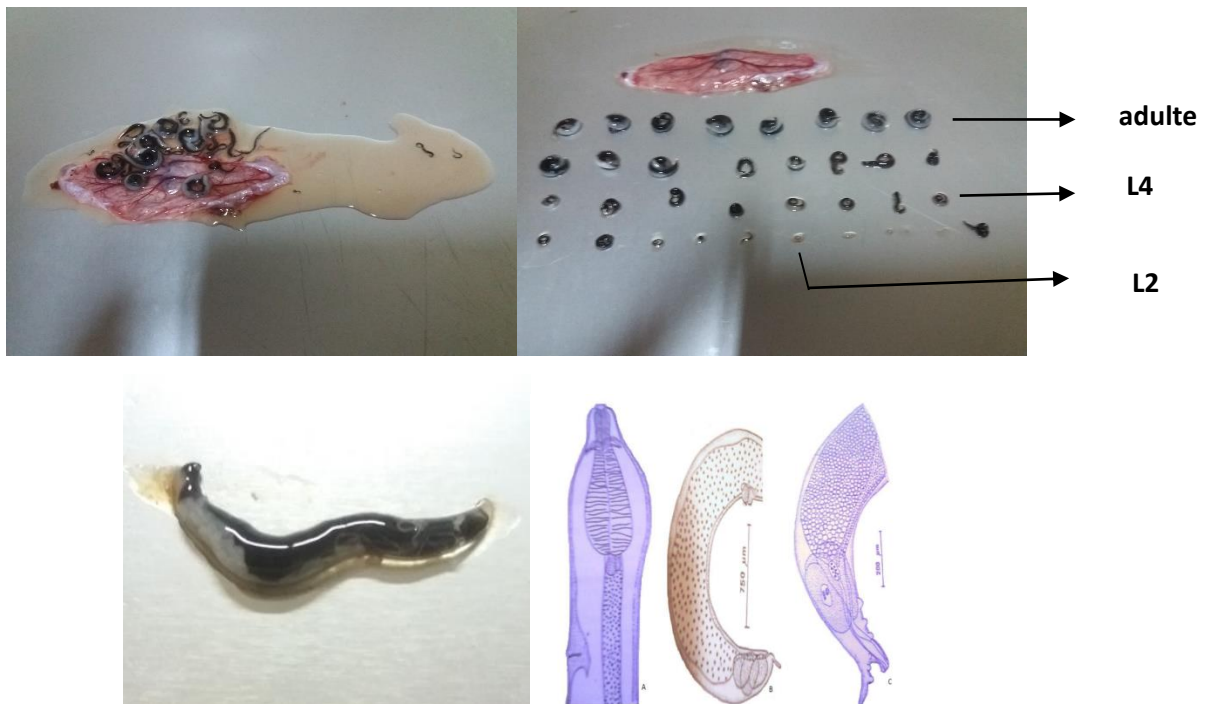


Figure 53: Morphologie générale d'*A. crassus* adulte : A : région antérieure ; B : femelle, région postérieure ; C : mâle, région postérieure (Dupont et Petter, 1988). (Présent travail)



✓ *Stade larvaire L2*

Les larves de second stade, encore libres, présentent une morphologie filiforme et conservent la cuticule résiduelle du premier stade, visible sous la forme d'une enveloppe friable, sauf à l'extrémité postérieure. La région antérieure, de forme conique, est munie d'une dent larvaire, et la paroi interne de l'œsophage montre un renforcement sclérifié. À fort grossissement ($\times 100$), on peut également observer de fines granulations dans cette zone. L'œsophage, de type bulbeux, est dilaté à son extrémité postérieure, bien que les contours du tube digestif demeurent difficiles à discerner. Les dimensions moyennes sont de $272 \pm 16,27 \mu\text{m}$ de longueur et $17,6 \pm 0,97 \mu\text{m}$ de largeur (Blanc et al., 1992).

✓ *Stade larvaire L4*

Chez l'anguille, la distinction morphologique entre les stades L3 et L4 demeure problématique, la troisième mue n'ayant jamais été observée de manière directe, et aucun critère morphologique net ne permettant de différencier ces deux stades. Toutefois, une augmentation de la taille de la larve (de 1200 à 1600 μm) et la disparition des crêtes cuticulaires sont interprétées comme des signes précurseurs de la mue. À ce stade, l'extrémité antérieure devient arrondie, tandis que la morphologie globale reste comparable à celle de la larve L3. L'extrémité postérieure se recourbe ventralement, et les structures sclérifiées telles que l'ornementation et les papilles céphaliques sont conservées. En revanche, les ailes latérales, la pièce en V sclérifiée et une cavité buccale sclérifiée sont absentes. L'œsophage est relativement court (Blanc et al., 1992).

✓ *Forme adulte*

Les formes adultes et pré-adultes ont été décrites de manière détaillée par divers auteurs (Kuwahara et al., 1974 ; Moravec et Taraschewski, 1988 ; Blanc et al., 1992). Elles se différencient nettement des larves L4, notamment par la présence d'une capsule buccale sclérifiée, ornée de 17 à 22 dents de grande taille, et par l'absence de l'ornementation en U observée chez les stades larvaires. Chez la femelle, la vulve est ouverte, tandis que chez le mâle, on observe cinq à six paires de papilles caudales et un cloaque peu différencié, témoignant d'un appareil reproducteur encore primitif (Blanc et al., 1992).



b. *Contracaecum* sp. (Larve enkystée) Raillet & Henry, 1912

Cette larve appartient à un nématode de la famille des *Anisakidae*. Elle a été observée enkystée dans la cavité générale de l'anguille européenne, fixée à la paroi intestinale. Dans ce cas, l'anguille agit uniquement comme hôte intermédiaire ou paraténique, sans que le parasite n'y atteigne sa maturité. L'infestation se produit généralement par ingestion d'un invertébré infecté, servant d'hôte intermédiaire dans le cycle. Les formes adultes de ces nématodes, notamment celles du genre *Contracaecum*, parasitent le tube digestif d'oiseaux piscivores comme le grand cormoran (*Phalacrocorax carbo*), ou encore certains mammifères marins (Køie, 1988b ; Moravec, 1994).

✓ **Position systématique :**

Embranchement : Nematoda

Classe : Chromadorea

Ordre : Rhabditida

Famille : Anisakidae

Genre : *Contracaecum*

Espèce : *Contracaecum.sp*



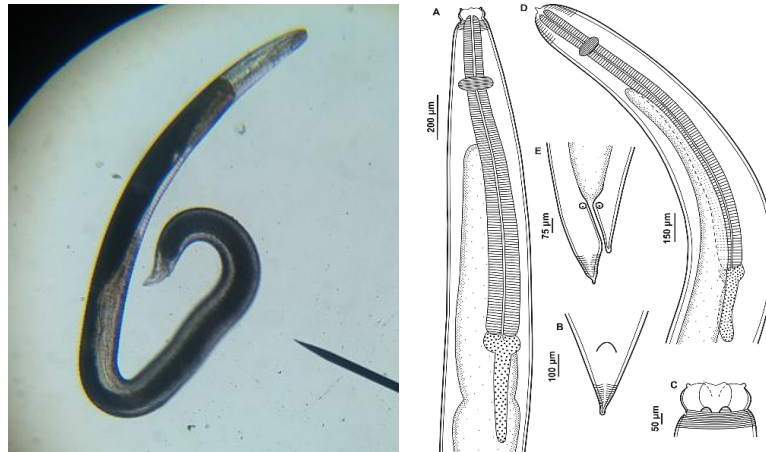


Figure 54 : Morphologie générale du *Contracaecum* sp. (Larve enkystée) (Présent travail)

c. *Eustrongylides* sp (Jägerskiöld, 1909)

Dans le cadre d'infestations naturelles, Honcharov a examiné la répartition des larves d'*Eustrongylides* chez divers poissons prédateurs, en se concentrant sur leur localisation anatomique (Honcharov, 2017b). Les résultats ont révélé une prédominance des larves dans les muscles de la paroi costale (42,7 %), suivis par la région ventrale des muscles abdominaux (26,8 %), puis les muscles spinaux (12,3 %). D'autres localisations ont été relevées : gonades (3,1 %), hépatopancréas (6,4 %), cavité abdominale libre (2,3 %) et parois d'organes creux (1,9 %). Par ailleurs, une étude plus récente menée par (Franceschini et al., 2022) s'est penchée sur la présence de nématodes du genre *Eustrongylides* dans les tissus musculaires de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), dans le lac Trasimène, en Italie centrale, confirmant ainsi la capacité de ces larves à coloniser les muscles de ce poisson d'eau douce.





Figure 55: prélèvement d'*Eustrongylides sp* dans différent tissu de l'anguille (Présent travail)

✓ **Position systématique :**

Embranchement : Nematoda

Classe : Adenophorea

Ordre : Enoplida

Famille : Dioctophymatidae

Genre : *Eustrongylides*

Espèce : *Eustrongylides . sp*

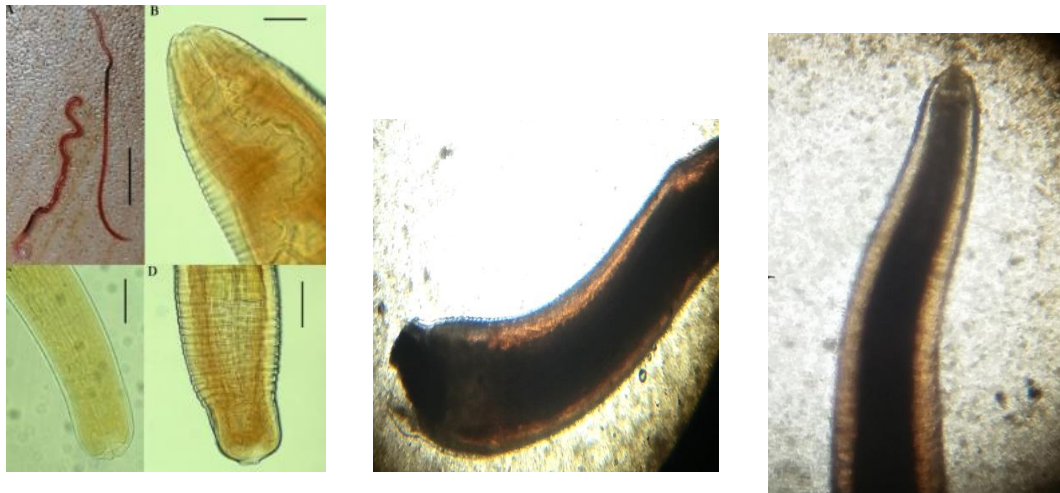


Figure 56: Morphologie générale d'*Eustrongylides sp* (Jägerskiöld, 1909) A : Germán Augusto Murrieta Morey et al. (2022). B et C : (Présent travail)

Les parasites qui s'établissent directement dans les tissus de leur hôte déclenchent des réactions immunitaires marquées, souvent visibles sous forme de capsules fibreuses, de mélanisation ou d'isolement physique du parasite par l'organisme hôte (Feist & Longshaw, 2008 ; Mitchell et al., 2009). La formation de ces capsules constitue une composante essentielle de l'équilibre entre le parasite et son hôte, lui permettant de persister tout en évitant d'être éliminé (Parker et al., 2009). Des analyses histologiques révèlent que, malgré l'encapsulation, le parasite peut conserver une intégrité structurelle complète à l'intérieur de cette barrière. Cette capacité à maintenir leur viabilité rend les poissons des hôtes intermédiaires adéquats pour les larves de *Eustrongylides*, puisque ni la pression inflammatoire locale, ni l'isolement tissulaire, ne semblent altérer leur activité métabolique (Guagliardo et al., 2019).



Les larves d'*Eustrongylides* sont connues pour contenir de l'hémoglobine, un pigment respiratoire riche en fer qui leur confère une coloration rouge caractéristique. Cette hémoglobine se distingue biochimiquement de celle de l'hôte par sa capacité accrue à fixer l'oxygène, ce qui constitue un avantage adaptatif en milieux hypoxiques (Brandt, 1937). De plus, ces parasites possèdent une régulation fine du pH intracellulaire, leur permettant d'ajuster leur activité face aux variations acides de leur environnement, en particulier dans le tractus digestif, où les conditions peuvent fluctuer fortement (Brandt, 1942 ; Brandt, 1943).

1.3 Les Cestodes :

d. *Bothriocephalus claviceps*

Ce cestode se localise préférentiellement dans la partie antérieure de l'intestin de l'anguille, où son scolex s'insère à proximité immédiate du sphincter pylorique. Chez les spécimens vivants, le scolex de *Bothriocephalus claviceps* présente deux bothria faiblement développés, disposés selon un axe dorso-ventral, ce qui constitue un caractère distinctif permettant de le différencier des autres espèces de cestodes parasitant l'anguille. À titre de comparaison, *Triaenophorus lucii* (famille des Pseudophyllidés) possède un scolex muni de deux bothriums armés de crochets tridentés, tandis que *Proteocephalus macrocephalus* se caractérise par un scolex portant quatre ventouses.

L'anatomie de *B. claviceps* a été décrite en détail par plusieurs auteurs, mais seuls les traits les plus pertinents sont rapportés ici (Cooper, 1918 in Wardle & Altunel, 1974). Le ver peut atteindre une longueur maximale de 540 mm (Cooper, 1919). Les proglottis, plus larges que longs, sont suivis d'un scolex allongé à extrémité effilée, sans col distinct. On retrouve entre 50 et 80 testicules par segment, disposés en deux champs latéraux, de forme sphérique ou ovoïde, implantés dans la région médullaire. La poche du cirre, localisée en position médioventrale, s'ouvre dorsalement dans l'atrium génital. Les glandes vitellogènes, quant à elles, forment un manchon presque continu dans le parenchyme cortical. L'ovaire, bilobé, se compose de deux lobes reliés par un pont ovarien, et se situe dans le tiers postérieur du segment. Enfin, l'utérus, tubulaire et sinueux, s'achève par un tocostome musculaire bien développé, s'ouvrant de manière irrégulière à droite ou à gauche de la ligne médiane ventrale.

✓ Position systématique

Embranchement : plathelminthes



Classe: cestoda Ordre : Pseudophyllidea (Carus, 1863)

Famille: Bothriocephallidae. (Blanchard, 1849)

Genre: Bothriocephalus (Rudolphi, 1808)

Espèce: *claviceps* (Goeze, 1782)



Figure 57: Photo du *Bothriocephalus claviceps* de l'anguille (Présent travail)

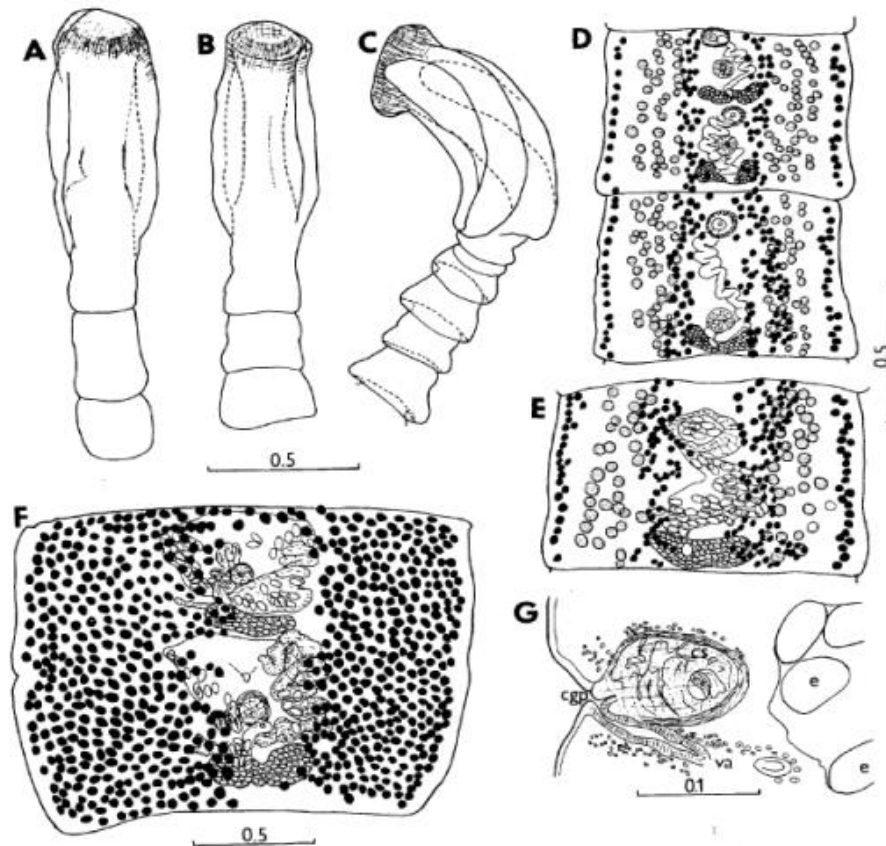


Figure 58: Représentation schématique de *Bothriocephalus claviceps* (A-C: scolex, D: proglottis mature, E-F: proglottis gravides, G: organe génital) (Scholz, 1997).

1.4. Les crustacés :

a. *Argulus sp* :

Les argulidea, crustacés ectoparasites, mesurent généralement entre 3 et 8 mm de long et présentent un corps rond, aplati et de teinte variable — allant du transparent au blanc, voire vert ou brun. Ils s'attachent de manière lâche aux surfaces molles de l'hôte, notamment à la peau, aux nageoires, aux opercules, à la cavité buccale, voire aux branchies. Les zones précédemment infestées laissent souvent des marques caractéristiques, visibles sous forme de dépressions en cratère, entourées d'un halo rougeâtre et d'une bordure tissulaire surélevée. Ces points d'attache peuvent également devenir sanguinolents ou évoluer en lésions ulcéreuses en cas d'infestation prolongée (Bowen & Putz, 1966).



✓ **Position systématique :**

Embranchement : Arthropoda

Sous-embranchement : Crustacea (**Pennant, 1977**)

Classe : Maxillopoda (**Dahl, 1956**)

Sous-classe : Branchiura (**Thorell, 1815**)

Ordre : Arguloida (**Raffinesque, 1815**)

Famille : Argulidae (**Leach, 1819**)

Genre : Argulus (**Muller, 1785**)

Espèce : *Argulus sp*



Figure 59: Morphologie générale d'*Argulus sp* (Présent travail)

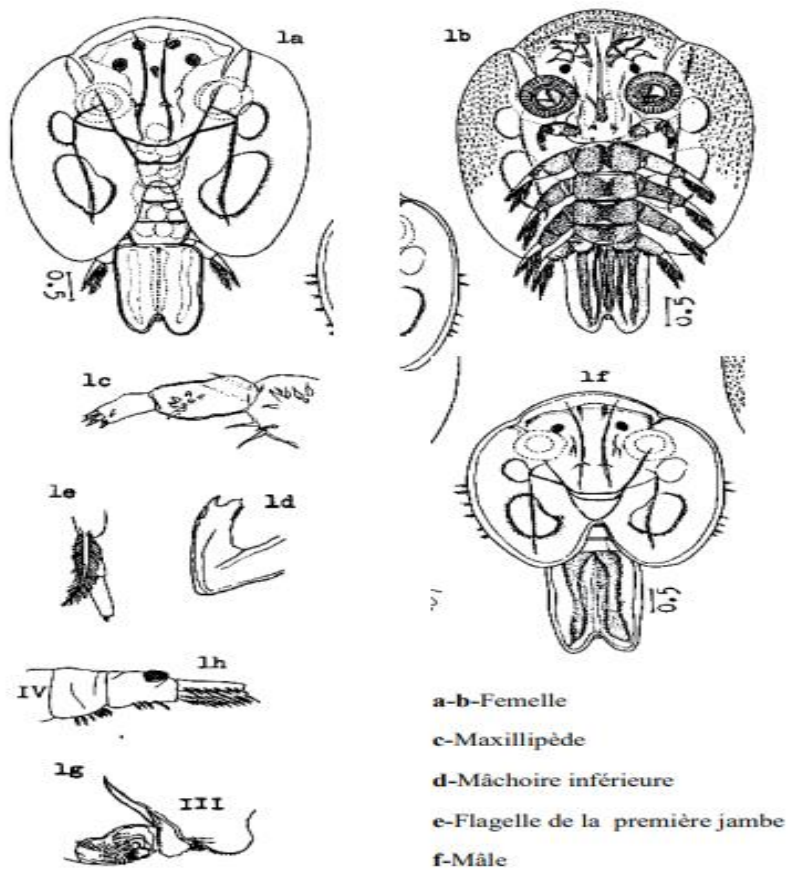


Figure 22: Schéma d'Argulus sp. (Yamaguti, 1939).

Figure 60: Schéma d'Argulus sp (Yamaguti , 1939)

Les espèces du genre *Argulus* présentent une répartition géographique étendue à l'échelle mondiale. Elles ne sont pas spécifiques à l'anguille européenne et peuvent parasiter divers poissons hôtes (Lefebvre, 2001).

Tableau 8 : Répartition géographique du genre *Agulus* sp :



Zones	Auteurs
Afrique	Ringuelet, 1943
Europe	Fryer, 1968
Asie	Yamaguti, 1963
Australie	Hewit, 1972
l'Amérique du sud (nord, le centre)	Byrnes, 1985 ; Heegaard, 1962

Dans l'ensemble des régions répertoriées, des individus d'*Argulus* sp ont été prélevés sur les branchies d'*Anguilla anguilla* (Linné, 1758), confirmant la capacité opportuniste de ce parasite à exploiter cette espèce comme hôte.

1.4 Acanthocéphale :

a. *Echinorhynchus* sp :

Les acanthocéphales sont des vers parasites de forme allongée et sacculée, caractérisés par un proboscis rétractile armé d'un nombre variable d'épines chitineuses. Le nombre, la taille et la disposition de ces épines sur le proboscis constituent des critères taxonomiques majeurs, essentiels pour l'identification au niveau spécifique. Une fixation des spécimens avec le proboscis entièrement dévaginé est indispensable pour établir un diagnostic précis.

La première description connue d'un acanthocéphale remonte à 1684, lorsque le médecin italien Francesco Redi observa un individu d'*Acanthocephalus anguillae* dans l'intestin d'une anguille européenne (*Anguilla anguilla*). Depuis, des représentants de ce groupe ont été signalés dans l'appareil digestif de poissons, reptiles, oiseaux et mammifères à travers le monde. Chez l'anguille européenne, la prévalence de ce parasite peut atteindre jusqu'à 80 % dans certaines régions d'Europe, comme en Allemagne (Sures et al., 2003).



✓ **Position systématique**

Embranchement : Acanthocephala (Kölreuter, 1771)

Classe : Palaeacanthocephala (Meyer, 1931)

Ordre : Echinorhynchida (Southwell et Macfie, 1925)

Famille : Echinorhynchidae (Cobbold, 1879)

S/famille : Echinorhynchinae (Cobbold, 1876)

Genre : Echinorhynchus (Zoega, 1776)

Espèce : *Echinorhynchus* sp.

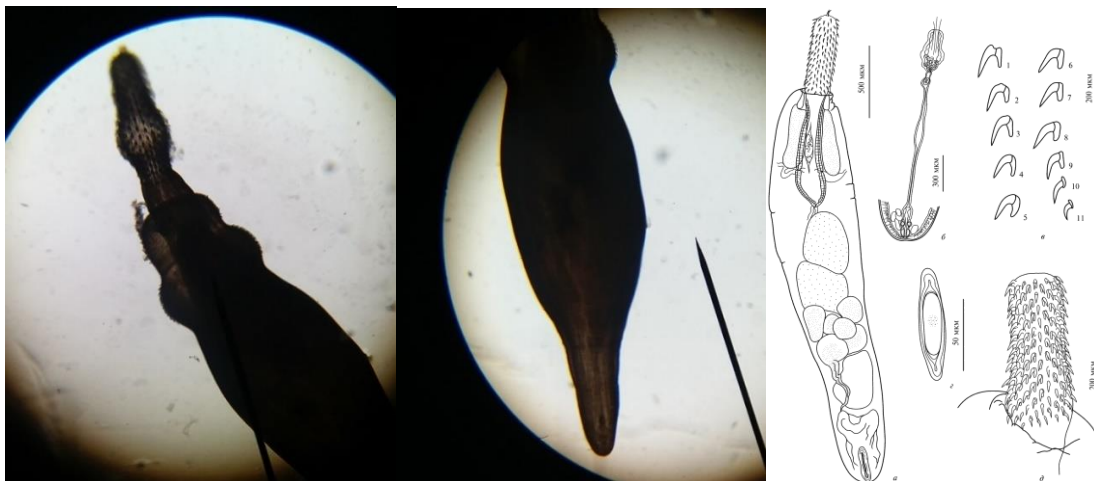


Figure 61: Morphologie générale d'*Echinorhynchus* sp. D'après (Olga Lisitsyna 2019). (Présent travail)

Une étude menée par (Kennedy ,1974) a recensé sept espèces d'acanthocéphales chez des poissons d'eau douce dans les îles Britanniques, mettant en évidence une diversité parasitaire notable dans cette région. Par la suite, (Borgsteede ,1999) a signalé la présence de l'espèce *Echinorhynchus borealis* aux Pays-Bas, bien que la prévalence y soit restée faible, avec un taux d'infestation de seulement 0,3 %. Plus récemment, la présence de *E. salmonis* a été rapportée dans le nord de la mer Baltique, chez les poissons *Coregonus lavaretus* L. et *Osmerus eperlanus* (L.) (Wayland et al., 2004), confirmant ainsi l'extension géographique du genre *Echinorhynchus* dans des milieux aquatiques froids et tempérés.



1.5 Myxozoaires :

Les myxozoaires (phylum : *Cnidaria*, classe : *Myxozoa*) constituent un groupe très diversifié de métazoaires microscopiques, largement répandus dans les milieux aquatiques. Leur cycle biologique complexe implique principalement des poissons comme hôtes intermédiaires, et des annélides ou des bryozoaires en tant qu'hôtes définitifs (Eszterbauer et al., 2015). À ce jour, plus de 2 600 espèces ont été formellement décrites (Okamura et al., 2018), bien que les estimations actuelles suggèrent que la diversité réelle du groupe reste encore largement sous-évaluée (Bartošová-Sojková et al., 2014 ; Okamura et al., 2015 ; Hartikainen et al., 2016 ; Lisnerová et al., 2023).

Chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), huit genres de myxospores ont été identifiés à ce jour : *Ceratomyxa* (Thélohan, 1892), *Hoferellus* (Berg, 1898), *Myxidium* et *Myxobolus* (Bütschli, 1882), *Ortholinea* (Shulman, 1962), *Paramyxidium* (Freeman & Kristmundsson, 2018), *Sphaerospora* (Thélohan, 1892) et *Zschokkella* (Auerbach, 1910). Ces genres ont été décrits dans des travaux antérieurs portant spécifiquement sur cette espèce hôte (Cépède, 1906 ; Jacob & Bremen, 1953 ; Copland, 1982 ; Lom et al., 1986 ; Wierzbicka, 1987 ; Tuzet & Ormières, 1957 ; Freeman & Kristmundsson, 2018 ; Dzido et al., 2020).

Lors de la présente étude, l'identification précise des myxozoaires récoltés s'est révélée difficile. Leur extrême transparence et leur fragilité structurelle, combinées à l'absence de données morphologiques et moléculaires exploitables, n'ont pas permis de déterminer l'appartenance spécifique des formes observées.



Figure 62: Quelques images de plusieurs formes de parasites myxozoaires
(Présent travail)

2. Diversités parasitaires :

Le tableau, présenté ci-dessous, synthétise les taux d'infestation (prévalence) des principaux parasites identifiés chez les anguilles échantillonnées dans le lac Oubeira et la lagune El Mellah. Dans le lac Oubeira, c'est le nématode *Eustrongylides* sp qui domine largement la communauté parasitaire, avec une prévalence élevée de **86,11 %**, suivi de près par le cestode *Bothriocephalus claviceps* (**46,11 %**) et le nématode *Anguillicoloides crassus* (**45,56 %**). À l'inverse, dans la lagune El Mellah, ce sont les trématodes digènes qui prédominent, atteignant un taux de **62,22 %**, alors que les infestations par *A. crassus* (**10,56 %**) et par les larves de *Contracaecum* sp. (**12,78 %**) y restent modestes.



Tableau 9 : Paramètres épidémiologiques : Prévalence (P%), abondance (A) et Intensité moyenne (I) des parasites recensés chez les anguilles du lac Oubeira et la lagune el mellah

Site		Lac Oubeira						Lgune El Mellah				
Qualité du plan d'eau		Eau Douce						Eau saumâtre				
Nombre d'anguilles examinées		180						180				
Parasite	Organe infesté	N parasites	N ang infestée	P (%)	A	I	N parasites	N ang infestée	P (%)	A	I	
<i>Pseudodactylogyrus sp</i>	Branchies	16	8	4,44	0,09	2,00	6	5	2,78	0,03	1,20	
<i>Argulus.sp</i>	Branchies	2	2	1,11	0,01	1,00	/	/	/	/	/	
<i>Anguillicoloides crassus</i>	Vessie natatoire	595	82	45,56	3,31	7,26	30	19	10,56	0,17	1,58	
<i>Digènes</i>	Cavité abdominale	/	/	/	/	/	4039	112	62,22	22,44	36,06	
<i>Echinorhynchus sp</i>	Intestins	/	/	/	/	/	2	2	1,11	0,01	1,00	
<i>Bothriocephalus claviceps</i>	Intestins	181	83	46,11	1,01	2,18	1	1	0,56	0,01	1,00	
<i>Eustrongylides . Sp</i>	Intestins / muscle / Ovaire	641	155	86,11	3,56	4,14	/	/	/	/	/	
<i>larve contracaecum.sp</i>	Intestins	/	/	/	/	/	144	23	12,78	0,80	6,26	
<i>p. transparent</i> <i>Myxozoaires</i>	Cavité abdominale	/	/	/	/	/	830	9	5,00	4,61	92,22	



2.1. Variation des indices épidémiologiques chez les anguilles étudiées des deux sites :

✓ Taux d'infestation (Prévalence) :

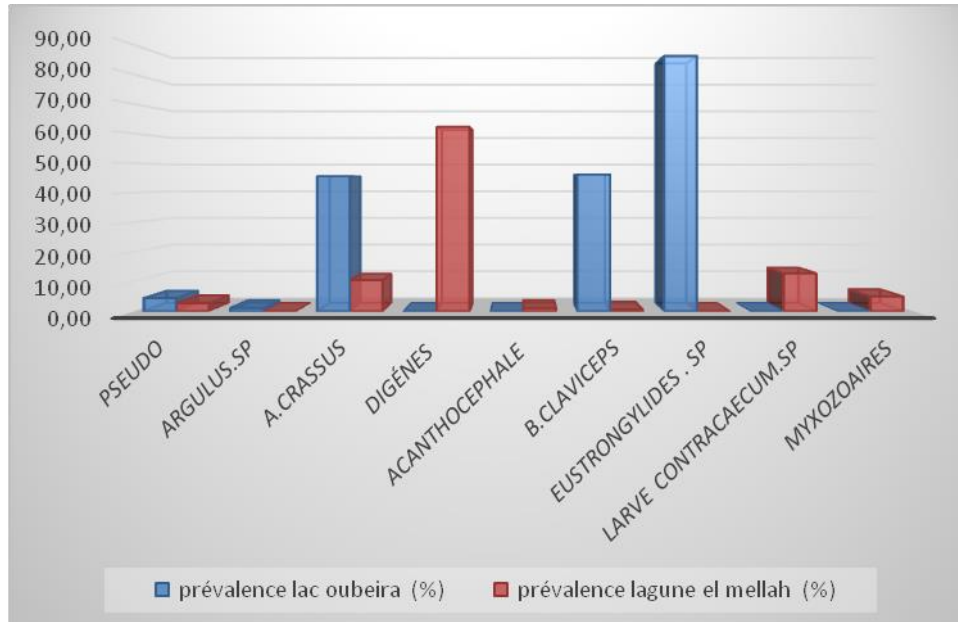


Figure 63: Taux d'infestation des parasites recensés chez les anguilles étudiées dans les deux plans d'eau.

Cette figure illustre les différences quantitatives des infestations entre les deux plans d'eau. Dans le lac Oubeira, la dominance absolue de *Eustrongylides* sp. (86,11 %) témoigne de la capacité de ce parasite à s'implanter durablement dans cet écosystème, notamment grâce à des hôtes intermédiaires disponibles en permanence. À El Mellah, cette espèce est totalement absente, ce qui pourrait s'expliquer par l'inadaptation de son cycle biologique aux conditions saumâtres, ou par l'absence de certains hôtes clés. Le rôle majeur des trématodes digènes à El Mellah, avec une prévalence de 62,22 %, met en évidence un modèle parasitaire distinct, probablement influencé par une abondance de mollusques gastéropodes, nécessaires à leur développement. La comparaison directe entre les sites met donc en évidence des patrons de parasitisme fondamentalement différents, reflétant les spécificités écologiques de chaque milieu.



✓ *Intensité d'infestation :*

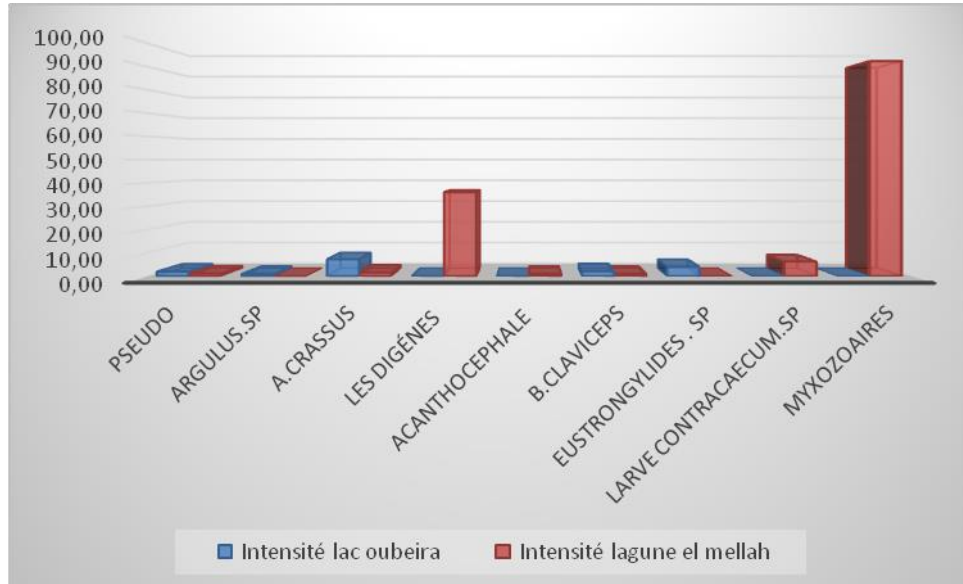


Figure 64: Intensité d'infestation des parasites recensés chez les anguilles peuplant les deux plans d'eau.

L'analyse de l'intensité d'infestation permet d'évaluer la charge parasitaire moyenne par hôte infecté, et donc d'apprécier le poids pathologique potentiel de chaque parasite. À El Mellah, les digènes affichent une intensité moyenne élevée (**36,06** parasites par anguille infectée), suggérant des infestations massives mais concentrées. Les myxozoaires, bien que peu fréquents (5 %), montrent une intensité record (**92,22**), ce qui en fait un facteur de stress aigu pour les individus concernés. À Oubeira, c'est *A. crassus* qui se distingue avec une intensité de **7,26**, ce qui renforce son impact potentiel sur la vessie natatoire, organe clé pour la régulation de la flottabilité et donc pour la migration. Ces différences d'intensité renforcent l'idée que chaque milieu exerce une pression parasitaire spécifique, à la fois en termes de diversité et de gravité des infestations.



✓ **Abondance des parasites :**

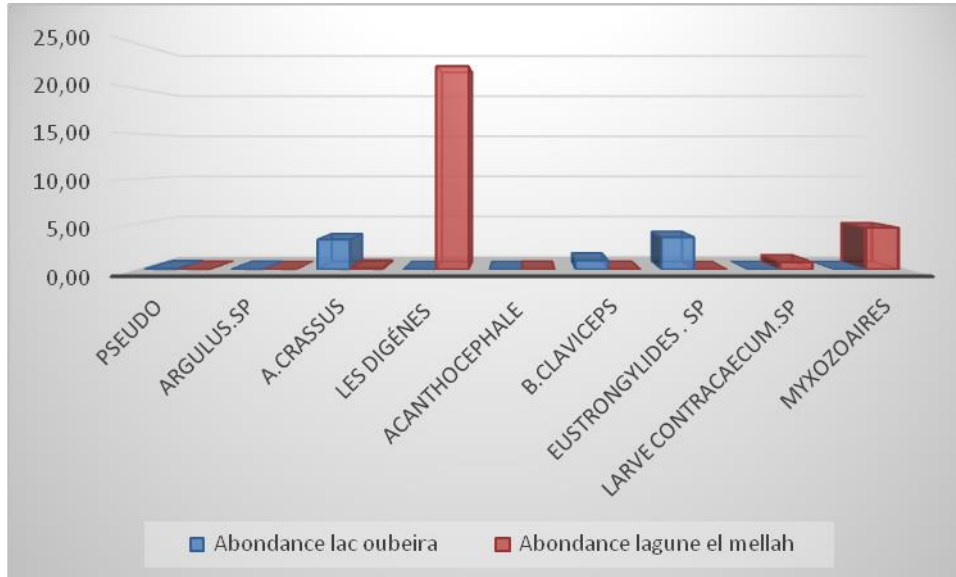


Figure 65: Abondance des parasites recensés chez les anguilles provenant des 2 plans d'eau

Les résultats relatifs à l'abondance confirment les tendances observées en prévalence et en intensité, tout en offrant une vue intégrée de la pression globale exercée par chaque parasite sur la population hôte. À Oubeira, *Eustrongylides* sp. (3,56) et *A. crassus* (3,31) dominent largement, reflétant une présence régulière dans l'ensemble de la population. À El Mellah, seuls les digènes présentent une abondance importante (22,44), les autres espèces se révélant très marginales. L'abondance des myxozoaires, bien qu'associée à peu d'individus, est également significative (4,61), illustrant une dynamique de parasitisme explosif et possiblement épisodique. Ces observations soulignent l'intérêt de l'abondance comme indicateur synthétique de pression parasitaire, intégrant à la fois fréquence et charge infectieuse.



2.2. Variation des indices épidémiologiques chez les anguilles du lac Oubeira :

✓ Variation en fonction des classes de taille

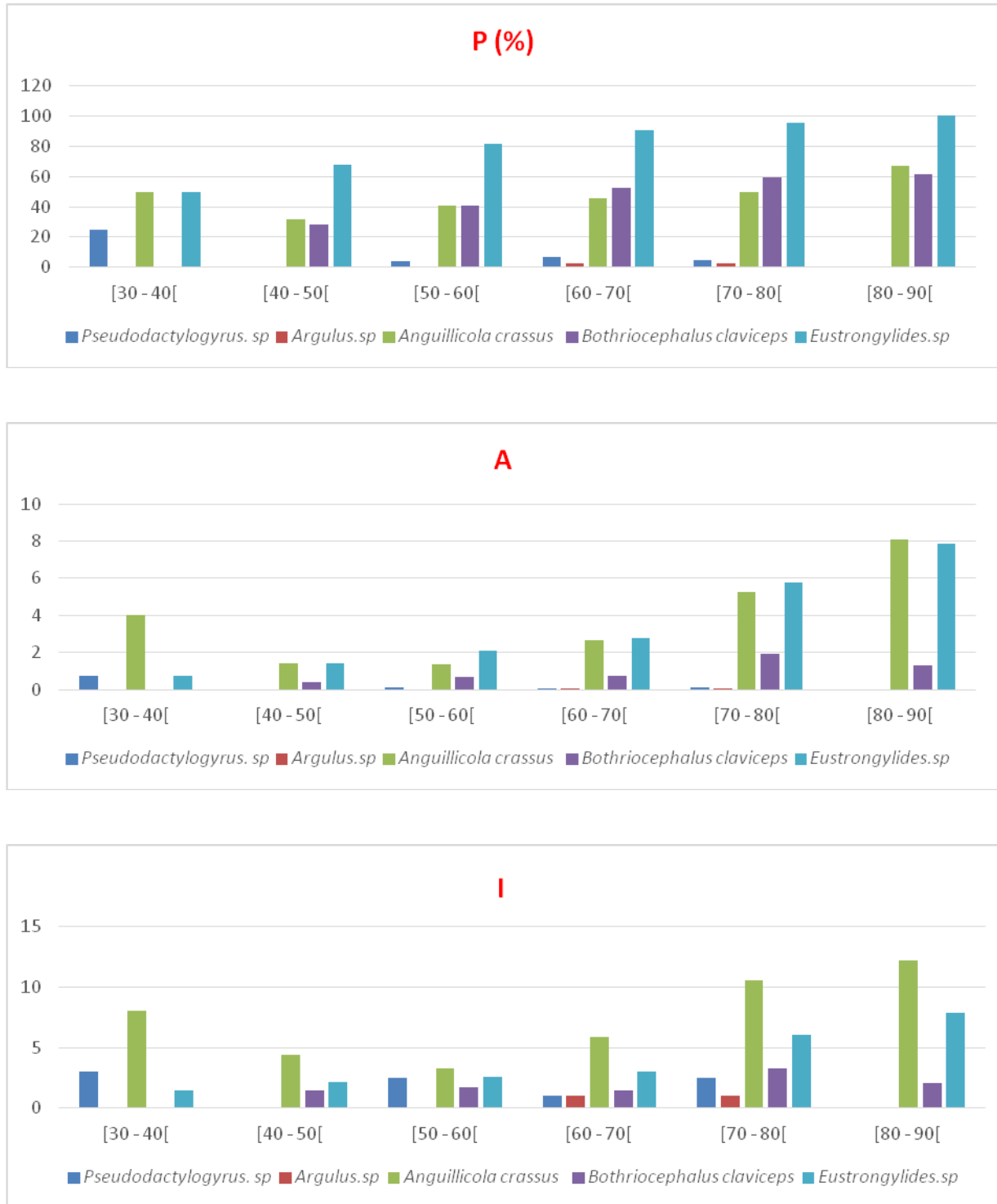


Figure 66: Variation des indices épidémiologiques : Prévalence (P%) ; Abondance (A) et Intensité moyenne (Im) des parasites communs chez les anguilles du lac Oubeira en fonction de leurs classes de taille



L'analyse des histogrammes de la figure ci-dessus montre une corrélation positive claire entre la taille des anguilles et la charge parasitaire pour les espèces dominantes observées dans le lac Oubeira. La prévalence de *Eustrongylides* sp s'accroît fortement avec la taille, atteignant **93 %** chez les individus de grande taille, contre seulement **40 %** dans la plus petite classe. Cette augmentation progressive est également observée au niveau de l'abondance moyenne, qui passe de 1,12 à 4,85 parasites par individu, ainsi que pour l'intensité moyenne, qui grimpe jusqu'à **5,21** parasites chez les anguilles infestées de grande taille.

Pour *Anguillicoloides crassus*, une tendance similaire se dessine : la prévalence augmente de **18 %** dans les petites tailles à **54 %** dans les classes supérieures, avec une intensité culminant à **9,2** parasites par anguille infestée. Enfin, *Bothriocephalus claviceps* suit un profil légèrement plus irrégulier, mais montre lui aussi des valeurs maximales dans la dernière classe de taille, suggérant une accumulation progressive avec la croissance.

Ces résultats soulignent une dynamique de parasitisme cumulative, typique des espèces à cycle indirect et à persistance élevée. Les anguilles de grande taille, plus âgées et plus longtemps exposées, présentent des probabilités accrues de contact avec des hôtes intermédiaires, renforçant ainsi leur vulnérabilité.



✓ Variation en fonction des classes d'âge :

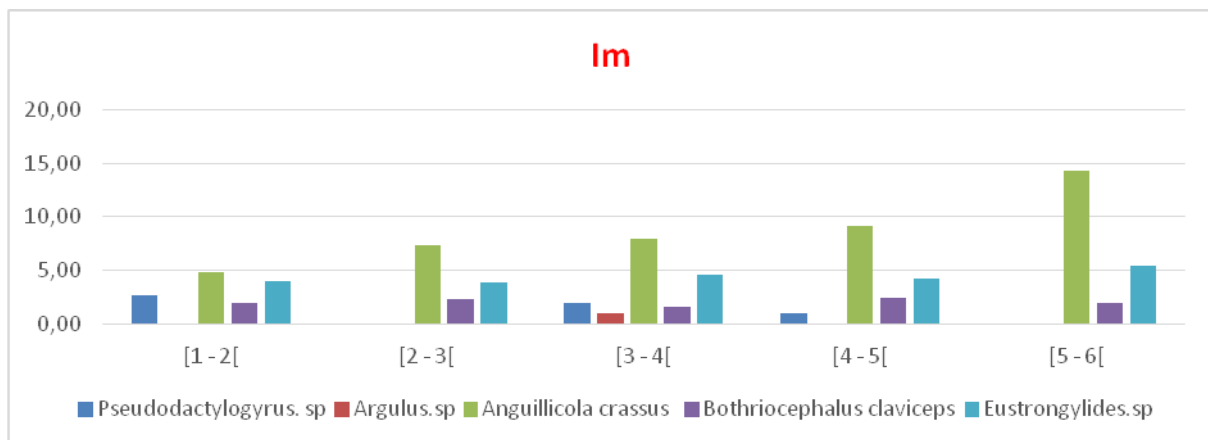
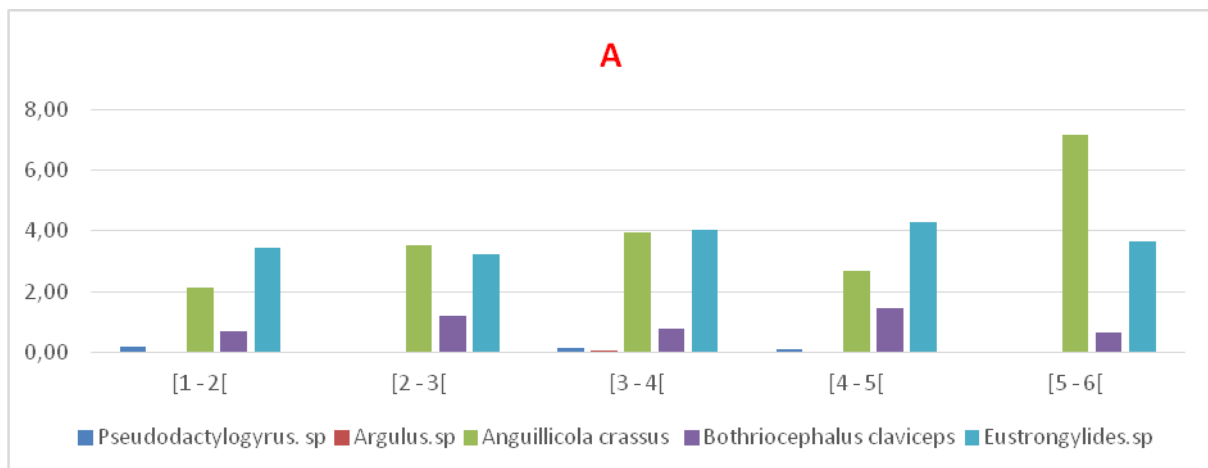
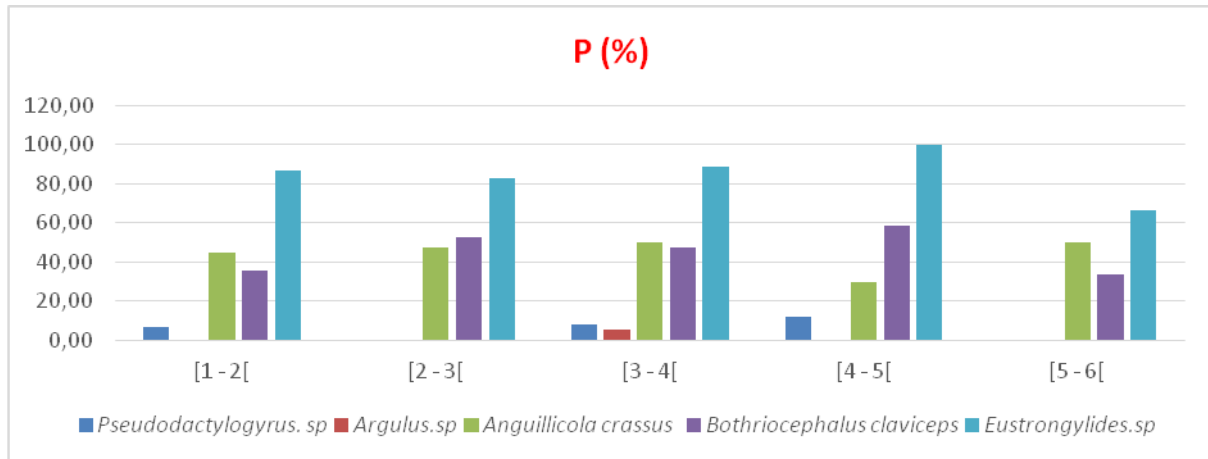


Figure 67: Variation des indices épidémiologiques : Prévalence (P%) ; Abondance(A) et Intensité moyenne (Im) des parasites communs chez les anguilles du lac Oubeira en fonction de leurs classes d'âge



L'examen des indices épidémiologiques en fonction des classes d'âge révèle une relation étroite entre l'ancienneté de l'individu dans l'écosystème et la charge parasitaire. Les données indiquent que la prévalence de *Eustrongylides* sp croît de façon quasi linéaire avec l'âge. Chez les jeunes anguilles (**1–2 ans**), cette espèce affiche une prévalence modérée de **41 %**, mais ce taux atteint un maximum de 94 % chez les individus de plus de 6 ans. L'abondance suit une tendance parallèle, passant de 1,35 parasites par anguille à 4,97 dans la dernière classe d'âge. L'intensité moyenne, quant à elle, évolue de **3,3** à **5,4**, ce qui indique une accumulation continue au cours du temps.

Une dynamique similaire est observée chez *Anguillicoloides crassus*. La prévalence grimpe de **24 %** dans les premières années à **58 %** chez les plus âgés, accompagnée d'une intensité moyenne allant jusqu'à **10,3** parasites par anguille infestée, ce qui témoigne d'une pression pathogène croissante au fil du vieillissement. *Bothriocephalus claviceps* montre également une augmentation progressive, bien que plus modérée (prévalence maximale de **51 %**), confirmant une tendance générale à la colonisation cumulative chez les anguilles âgées.

Ces résultats suggèrent que l'âge constitue un facteur clé de risque parasitaire, en raison de l'exposition prolongée aux hôtes intermédiaires, mais aussi d'un affaiblissement possible des défenses immunitaires. Ce constat est d'autant plus préoccupant dans un contexte migratoire, car les individus matures, physiologiquement prêts à se reproduire, sont également ceux les plus lourdement parasités, ce qui peut compromettre leur succès reproductif.



2.3. Variation des indices épidémiologiques chez les anguilles de lagune El Mellah :

✓ Variation en fonction des classes de taille

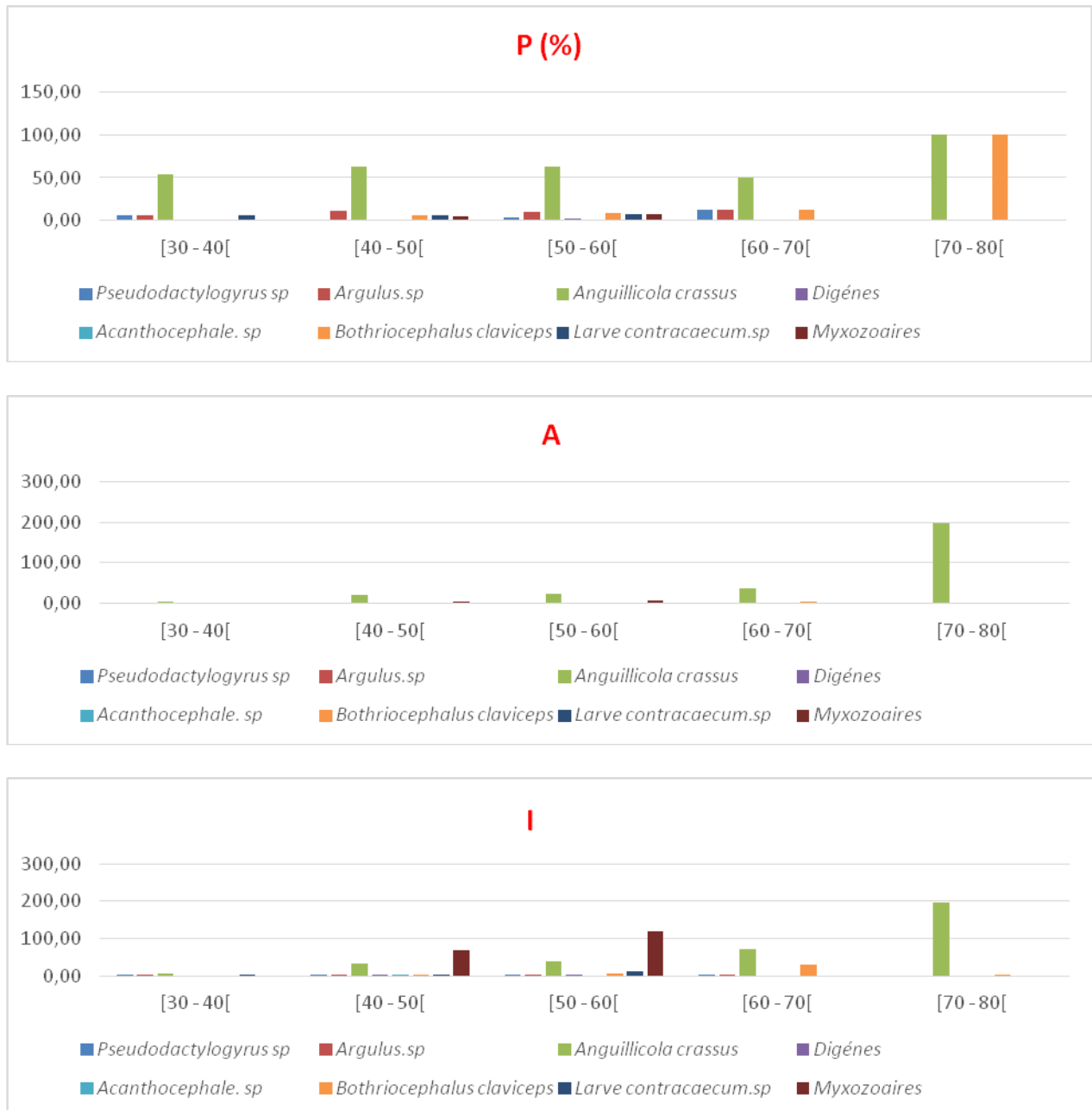


Figure 68: Variation des indices épidémiologiques : Prévalence (P%) ; Abondance (A) et Intensité moyenne (Im) des parasites communs chez les anguilles de la lagune d'El Mellah en fonction de leurs classes de taille.



Contrairement aux observations faites au lac Oubeira, la relation entre la taille des anguilles et la charge parasitaire dans la lagune El Mellah apparaît moins linéaire mais tout aussi significative, notamment pour certains groupes parasites. Les trématodes digènes constituent le groupe le plus dominant : leur prévalence atteint un pic remarquable de **72 %** chez les anguilles de taille moyenne (classe intermédiaire), tandis qu'elle est légèrement inférieure chez les petites (**58 %**) et les grandes (**62 %**) tailles. Cette concentration dans la classe moyenne pourrait correspondre à une période critique de vulnérabilité, durant laquelle l'anguille est à la fois active dans la recherche de nourriture et exposée à des hôtes intermédiaires infectés, notamment des mollusques.

L'abondance moyenne des digènes suit cette même tendance, culminant à **26,8** parasites par individu dans la classe intermédiaire, tandis que l'intensité moyenne y atteint **42,3** parasites par anguille infestée, ce qui constitue l'un des niveaux les plus élevés relevés dans l'étude. Ces chiffres traduisent des infestations massives mais ciblées, suggérant des épisodes d'exposition intense, probablement associés à des pics saisonniers de transmission.

En ce qui concerne *Contracaecum* sp., la prévalence est relativement modérée, avec une valeur maximale de **14,8 %** chez les grandes anguilles, mais son intensité moyenne atteint **7,3 parasites**, ce qui n'est pas négligeable compte tenu de son potentiel pathogène. Les myxozoaires transparents sont quant à eux presque exclusivement retrouvés chez les grandes tailles, avec une intensité moyenne extrême de **105 parasites** chez les individus infestés, bien que la prévalence ne dépasse pas **5 %**.

Ces résultats témoignent d'un profil épidémiologique particulier en milieu lagunaire, marqué par des infestations massives mais ponctuelles, plus influencées par des facteurs environnementaux ou trophiques que par une accumulation lente. Cela reflète probablement une dynamique écosystémique saisonnière, propre aux zones saumâtres, où les cycles de vie parasites sont étroitement liés aux fluctuations abiotiques.



✓ Variation en fonction des classes d'âge

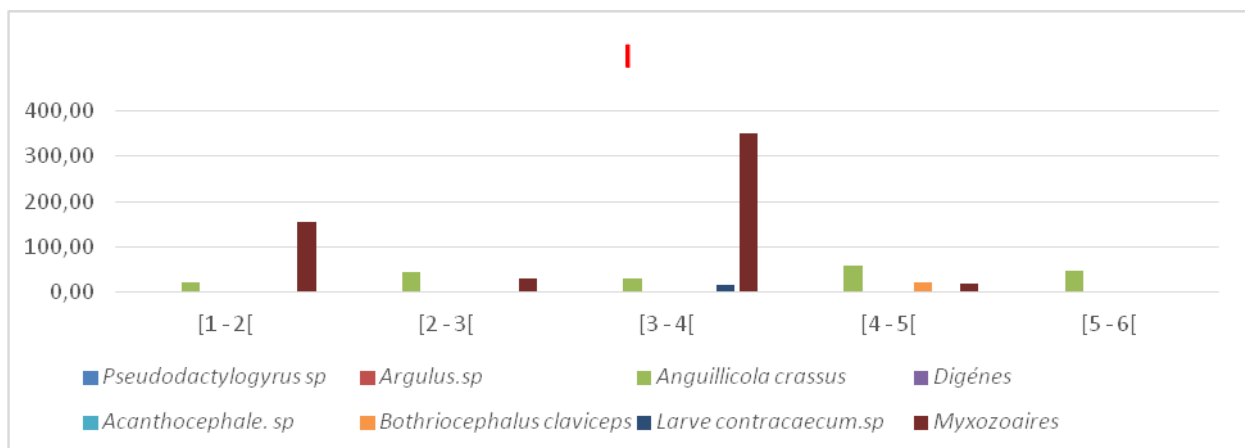
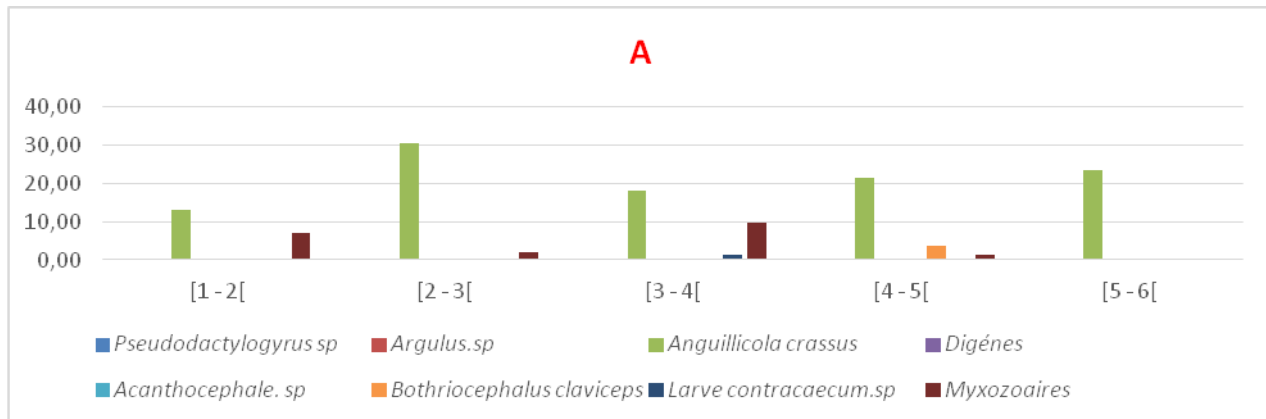
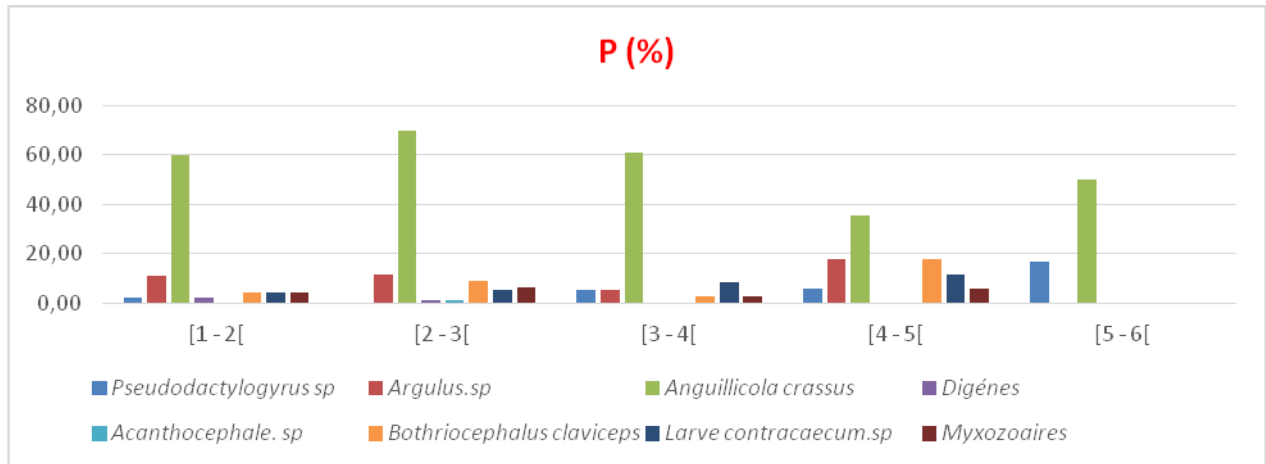


Figure 69: Variation des indices épidémiologiques : Prévalence (P%) ; Abondance (A) et Intensité moyenne (Im) des parasites communs chez les anguilles de la lagune d'El Mellah en fonction de leurs classes d'âge.



L'exploration des paramètres parasitaires selon l'âge des anguilles de la lagune El Mellah fait apparaître un profil irrégulier, traduisant une dynamique d'infestation plus opportuniste que cumulative. Contrairement à Oubeira, les infestations ne s'intensifient pas de façon linéaire avec l'âge. La prévalence des digènes atteint son maximum chez les individus de 4 à 5 ans (75 %), avant de diminuer légèrement dans les classes plus âgées (62 % chez les >6 ans). L'abondance moyenne suit cette tendance, atteignant 24,6 dans la classe médiane, tandis que l'intensité moyenne grimpe à 38,2 parasites, ce qui confirme une charge parasitaire aiguë mais concentrée dans une fenêtre d'âge restreinte.

Contracaecum sp reste faiblement prévalent dans l'ensemble des classes (10 à 15 %), mais son intensité maximale est relevée chez les individus les plus âgés (8,1 parasites en moyenne), suggérant une meilleure tolérance ou persistance chez les hôtes plus matures. Les myxozoaires, quant à eux, ne sont détectés que chez les anguilles de plus de six ans, avec une intensité moyenne impressionnante de 110 spores par individu infesté, ce qui témoigne d'une capacité du parasite à se développer à long terme sans élimination efficace par le système immunitaire de l'hôte.

Ces résultats traduisent une relation complexe entre l'âge et le parasitisme en milieu lagunaire, dans laquelle les facteurs comportementaux, alimentaires et écologiques jouent un rôle central. La présence de charges élevées dans une tranche d'âge intermédiaire pourrait être liée à des changements d'habitat, de régime ou d'exposition à des niches écologiques riches en hôtes intermédiaires, caractéristiques des phases subadultes de l'anguille.

3. Etude statistique :

Pour étudier les différences d'abondance parasitaire entre les différents stades, un modèle binomial négatif avec inflation nulle a été ajusté à l'aide de la fonction `zeroinfl()` du package `pscl` (Jackman et al., 2015). Ce modèle a été choisi à la place d'un modèle linéaire généralisé (GLM) standard en raison de la présence d'inflation nulle dans les données, car un nombre substantiel d'observations ont enregistré une abondance parasitaire nulle. Le modèle avec inflation nulle tient compte des zéros excédentaires en modélisant deux processus : l'un qui prédit l'apparition de zéros et l'autre qui modélise le nombre de parasites pour les observations non nulles.



De plus, une distribution binomiale négative a été utilisée à la place d'une distribution de Poisson car les données présentaient une sur dispersion, où la variance dépassait la moyenne. La distribution binomiale négative résout efficacement ce problème en introduisant un paramètre supplémentaire pour tenir compte de la sur dispersion, offrant ainsi un ajustement plus précis du modèle.

Des comparaisons post hoc par paires ont été réalisées à l'aide de moyennes marginales estimées calculées avec le package emmeans (Lenth, 2018). Les comparaisons ont été ajustées à l'aide de la méthode de Bonferroni pour contrôler le taux d'erreur par famille.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de R (R Core Team, 2023).

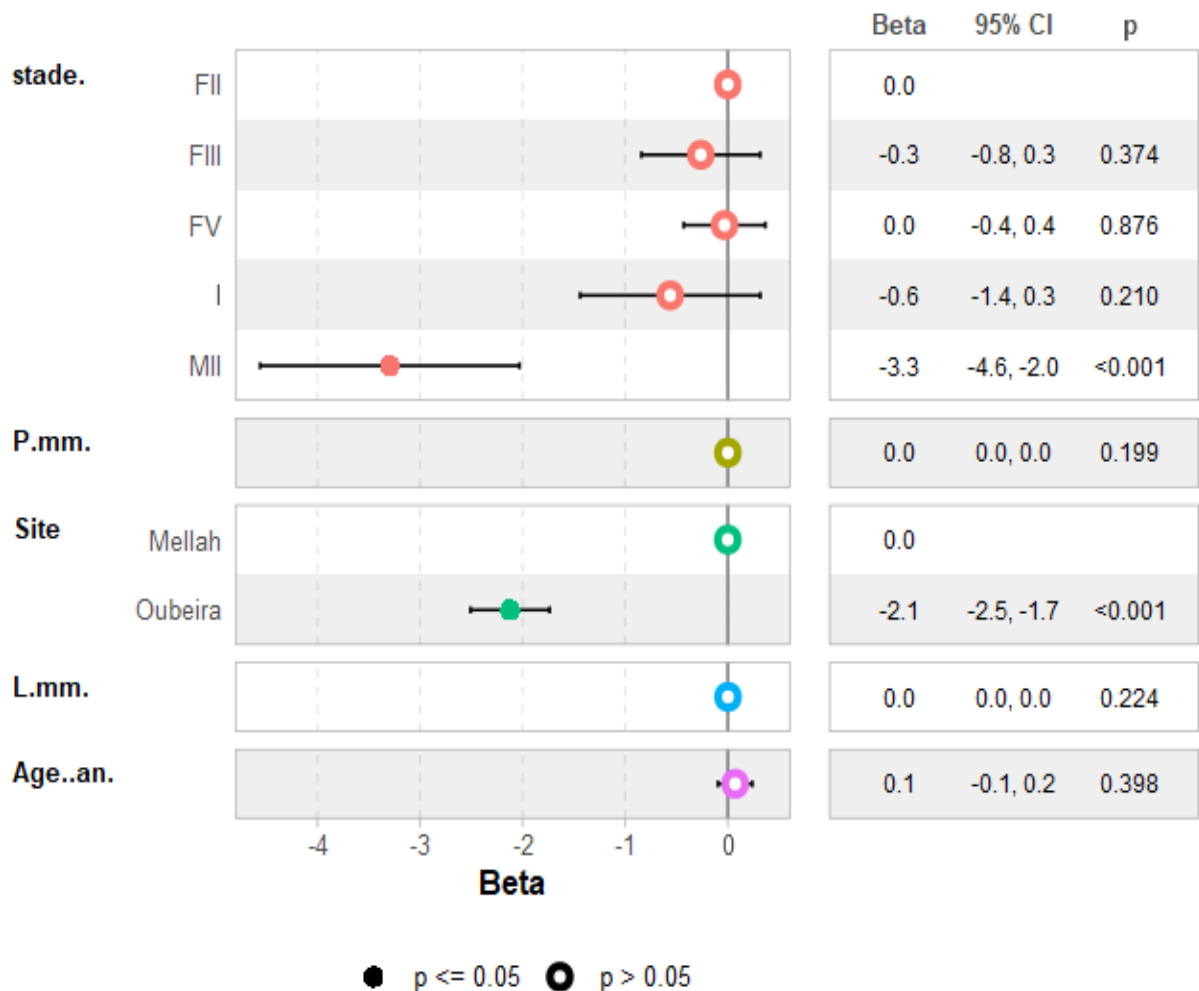


Figure 70; Graphique forestier illustrant les effets du stade de développement, des traits morphométriques et du site sur l'abondance des parasites



La **Figure 70**, représentée sous forme de graphique forestier, synthétise les effets respectifs de différents facteurs biologiques et environnementaux — à savoir le stade de développement sexuel, les paramètres morphométriques et le site de capture — sur l'abondance des parasites observée chez *Anguilla anguilla*. L'analyse repose sur un modèle binomial négatif à inflation nulle, approprié pour modéliser des données de comptage présentant une surreprésentation des zéros (absence de parasites).

Parmi les résultats les plus marquants, il apparaît que le stade MII (mâle en développement testiculaire) est associé à une abondance parasitaire significativement plus faible ($p < 0,001$) comparé à tous les autres stades. Ce constat indique que les individus mâles en cours de maturation sont moins exposés ou moins sensibles à l'infestation parasitaire, possiblement en lien avec des comportements écologiques distincts, une physiologie protectrice temporaire ou une répartition spatiale différenciée par rapport aux femelles.

Tableau 10: Comparaisons statistiques par paires entre stades de développement sexuel concernant l'abondance parasitaire chez *Anguilla anguilla*

Contrast	Estimate	SE	df	z.ratio	p.value
FII - FIII	5.416	5.89	Inf	0.919	1
FII - FV	0.729	4.71	Inf	0.155	1
FII - I	10.065	6.57	Inf	1.531	1
FII - MII	22.567	4.21	Inf	5.355	0001.>
FIII - FV	4.687-	4.71	Inf	0.995-	1
FIII - I	4.649	7.41	Inf	0.627	1
FIII - MII	17.151	4.59	Inf	3.733	0.0019
FV - I	9.336	6.36	Inf	1.467	1
FV - MII	21.838	2.87	Inf	7.608	0001.>
I - MII	12.502	6	Inf	2.085	0.3705

L'ajustement du modèle binomial négatif à inflation nulle a permis de mettre en évidence une abondance parasitaire significativement plus faible chez les individus au stade MII comparativement à l'ensemble des autres stades de développement sexuel ($p < 0,001$). Cette observation suggère que les anguilles mâles en cours de maturation testiculaire sont moins



exposées ou moins permissives à l'infestation parasitaire que les femelles, quel que soit leur niveau de maturation.

Les comparaisons par paires (**Tableau 10**) confirment la significativité des écarts entre le stade MII et plusieurs stades femelles : FII (début du développement ovarien), FIII (maturation ovarienne avancée) et FV (femelles prêtes à migrer). Ces résultats soulignent une différence nette de sensibilité à l'infestation, vraisemblablement liée à des facteurs physiologiques ou comportementaux distincts. En effet, la progression dans la maturation sexuelle pourrait s'accompagner d'une mobilisation accrue des réserves énergétiques, d'une altération transitoire de la réponse immunitaire, ou encore d'un changement de régime alimentaire augmentant l'exposition aux hôtes intermédiaires de parasites.

Par ailleurs, l'analyse spatiale révèle une différence significative entre les deux sites d'étude. Les anguilles issues du lac Oubeira présentent une abondance parasitaire nettement inférieure à celles capturées dans la lagune El Mellah ($p < 0,001$). Cette disparité pourrait résulter de facteurs environnementaux propres à chaque écosystème, tels que la salinité, la structure des communautés benthiques, la richesse en hôtes intermédiaires, ou encore la pression anthropique. Ces paramètres influencent directement la dynamique des cycles parasites et peuvent expliquer une hétérogénéité marquée dans la distribution des infestations.

En résumé, l'interaction entre le stade de développement sexuel et le contexte écologique local apparaît déterminante dans la variation de l'abondance parasitaire. Loin d'être uniforme, cette dernière reflète une influence croisée des caractéristiques biologiques de l'hôte et des conditions abiotiques du milieu, mettant en évidence la complexité des relations hôte-parasite dans des écosystèmes différenciés.



III. Régime alimentaire

1. Analyse de l'état nutritionnel des anguilles échantillonnées :

Le **tableau 11** présente un bilan synthétique de l'état nutritionnel des anguilles échantillonnées aux deux sites d'étude : le lac Oubeira et la lagune d'El Mellah. Le nombre total d'anguilles examinées (NTDE) est identique pour les deux milieux, avec **180** individus chacun. Toutefois, le nombre d'anguilles présentant un contenu stomacal vide (NTDV) est plus élevé à Oubeira (**122 individus**) qu'à El Mellah (**102 individus**), traduisant un taux de vacuité (CV%) plus important à Oubeira (**67,78 %**) qu'à El Mellah (**56,67 %**). Ce constat suggère une moindre disponibilité alimentaire ou une activité de chasse plus réduite dans le lac Oubeira

Tableau 11 : Résultats de l'analyse des contenus digestifs des anguilles capturées sur deux sites,

	Obeira	El mellah
NTDE	180	180
NTDV	122	102
CV%	67,78	56,67
NTDP	58	78
Fi% (Poisson)	26,58	26,92
Fi% (Algue)	81,01	82,05
Fi% (Insecte)	0	0
Fi% (Crustacée)	2,53	2,56

En termes de fréquences d'apparition des types de proies (Fi%), les algues dominent largement dans le régime alimentaire, représentant plus de **80 %** des observations dans les deux sites, tandis que les poissons constituent environ **26 %** du régime. Les insectes sont absents et les crustacés ne sont que faiblement représentés (**~2,5 %**). Cette distribution témoigne d'une forte dépendance des anguilles vis-à-vis des ressources végétales et piscicoles, avec peu de diversification alimentaire.



1.1 Coefficient de vacuité :

a. Variations mensuelles du coefficient de vacuité (CV%) dans le lac Oubeira:

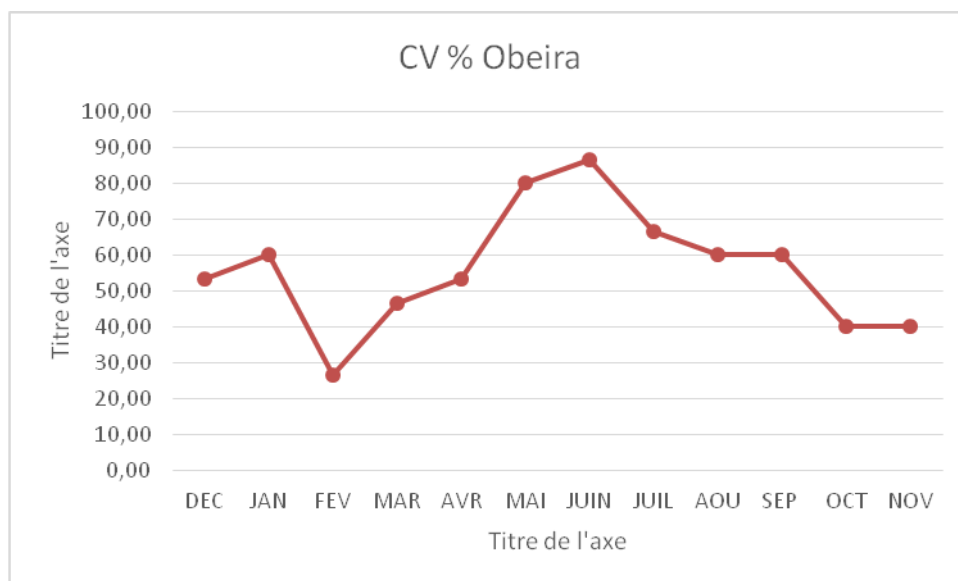


Figure 71: Évolution mensuelle du coefficient de vacuité chez les anguilles du lac Oubeira

La **figure 71** illustre la variation mensuelle du coefficient de vacuité (CV%) des anguilles dans le lac Oubeira. Le taux moyen élevé (**67,78 %**) reflète une proportion significative d'individus dont l'estomac est vide au moment de l'échantillonnage. Cette dynamique pourrait être attribuée à des facteurs saisonniers tels que la diminution de la température de l'eau en hiver, qui réduit l'activité métabolique et alimentaire des anguilles, ainsi qu'à des variations de la disponibilité en proies. Les périodes de vacuité élevée peuvent également correspondre à des phases de migration ou de repos alimentaire.



b. Variations mensuelles du coefficient de vacuité (CV%) dans la lagune d'El Mellah :

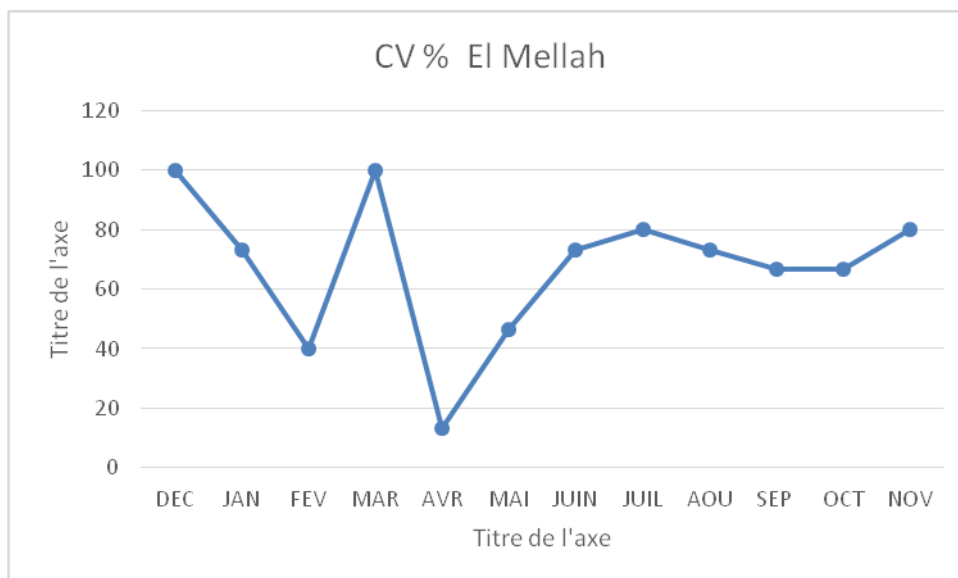


Figure 72: Évolution mensuelle du coefficient de vacuité chez les anguilles de la lagune d'El Mellah

La **figure 72** montre les fluctuations du coefficient de vacuité des anguilles à El Mellah, avec une moyenne de **56,67 %**, inférieure à celle observée à Oubeira. Ce taux plus faible suggère que les anguilles de la lagune bénéficient d'une meilleure disponibilité alimentaire ou de conditions environnementales plus stables. La richesse trophique potentielle de la lagune, influencée par les apports marins et dulcicoles, pourrait favoriser une activité alimentaire plus soutenue tout au long de l'année.



c. Variation du coefficient de vacuité (CV%) en fonction des classes de taille :

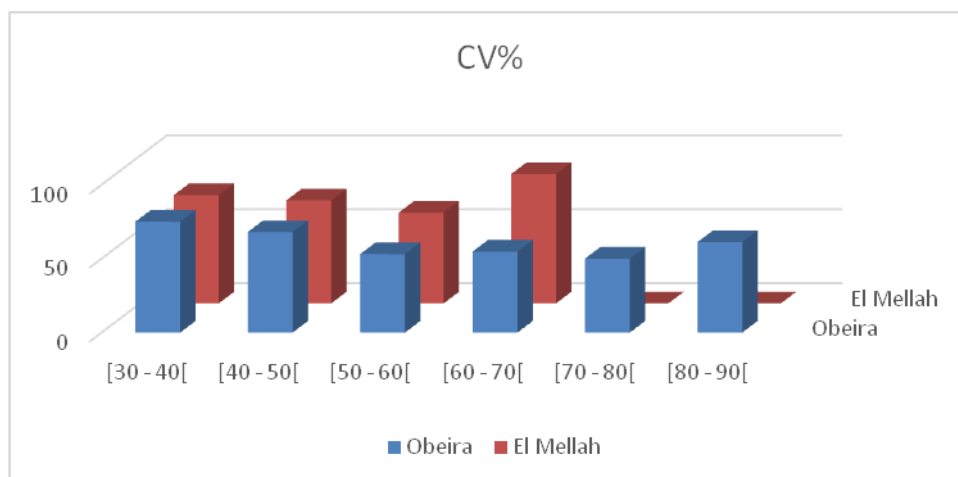


Figure 73: Évolution du coefficient de vacuité en fonction de la classe de taille des anguilles des deux sites.

La **figure 73** analyse la relation entre la taille corporelle des anguilles et leur coefficient de vacuité. On observe que les anguilles de plus grande taille tendent à présenter un CV% plus faible, traduisant une capacité accrue à capturer et ingérer des proies. À l'inverse, les plus petits individus affichent un CV% plus élevé, probablement en raison de leurs compétences de chasse encore limitées ou d'une compétition interspécifique accrue. La différence dans le nombre total de proies digestibles (NTDP) – 58 pour Oubeira contre 78 pour El Mellah – appuie également cette interprétation, suggérant un meilleur succès alimentaire pour les individus de la lagune.



d. Variation du coefficient de vacuité (CV%) en fonction des classes d'âge dans les deux sites :

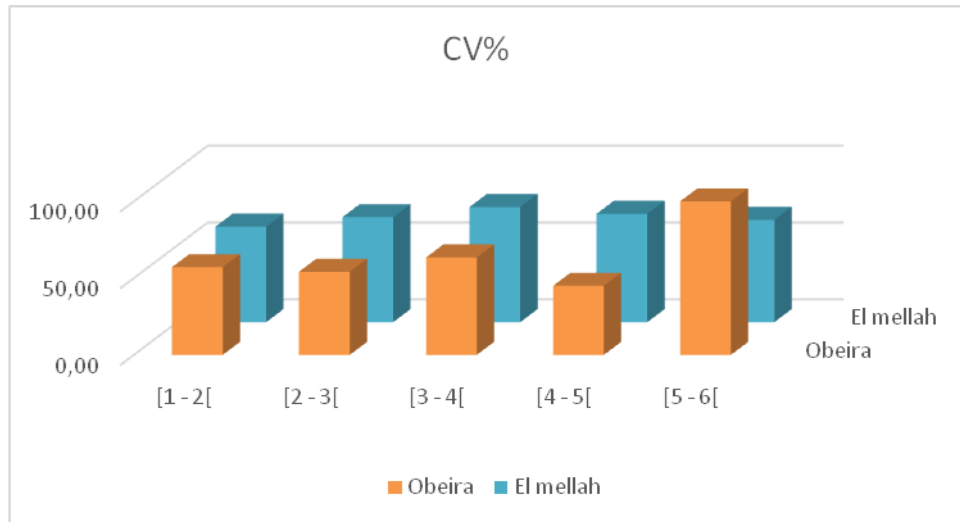


Figure 74: Évolution du coefficient de vacuité en fonction de la classe d'âge des anguilles.

La **figure 74** examine la vacuité stomacale selon l'âge des anguilles. Les jeunes anguilles présentent généralement un taux de vacuité plus élevé, ce qui pourrait traduire une moindre efficacité dans la capture des proies. Les anguilles adultes, plus expérimentées, affichent au contraire des taux de vacuité plus bas, notamment à El Mellah, renforçant l'idée d'une amélioration progressive des performances de prédation avec l'âge.



1.2 Fréquences d'apparition des proies (F%) :

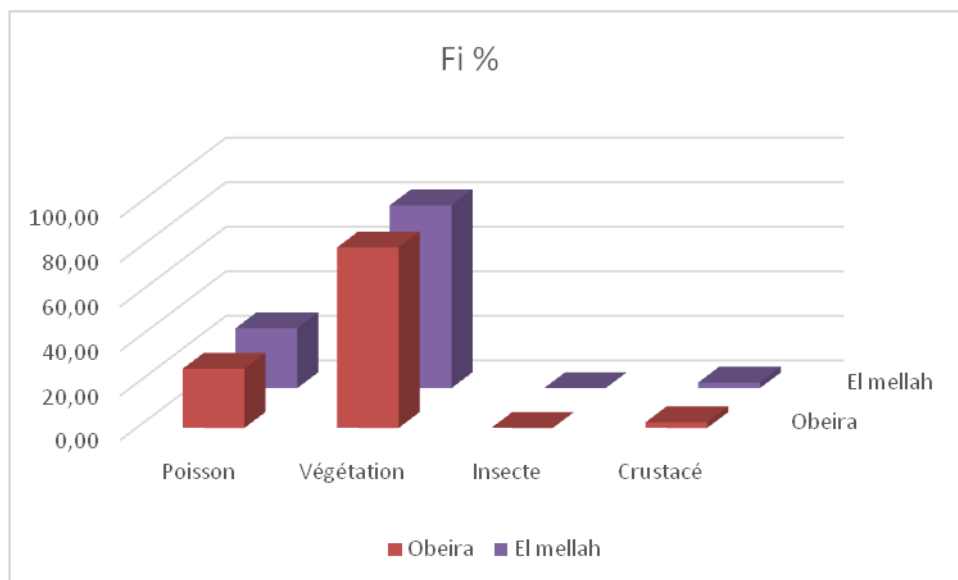


Figure 75: Fréquences des proies ingérées par l'anguille capturée aux deux plans d'eaux.

La **figure 75** présente de manière détaillée la fréquence d'apparition des différentes catégories de proies dans le régime alimentaire des anguilles. Les algues constituent l'élément dominant, retrouvées dans **81,01 %** des estomacs examinés au lac Oubeira et **82,05 %** à la lagune El Mellah. Les poissons occupent une place nettement moins importante mais stable, représentant 26,58 % des observations à Oubeira et **26,92 %** à El Mellah. Les insectes sont totalement absents des contenus stomacaux dans les deux sites (**0 %**), tandis que les crustacés apparaissent de manière marginale avec **2,53 %** à Oubeira et **2,56 %** à El Mellah. Ces résultats soulignent que, malgré la présence de proies animales, l'anguille européenne exploite majoritairement une ressource végétale, ce qui pourrait témoigner soit d'une adaptation alimentaire forcée en milieu pauvre en proies animales, soit d'un opportunisme alimentaire en période de faible disponibilité en poissons et crustacés.



a. Proportions des proies ingérées par les anguilles des différentes classes de taille :

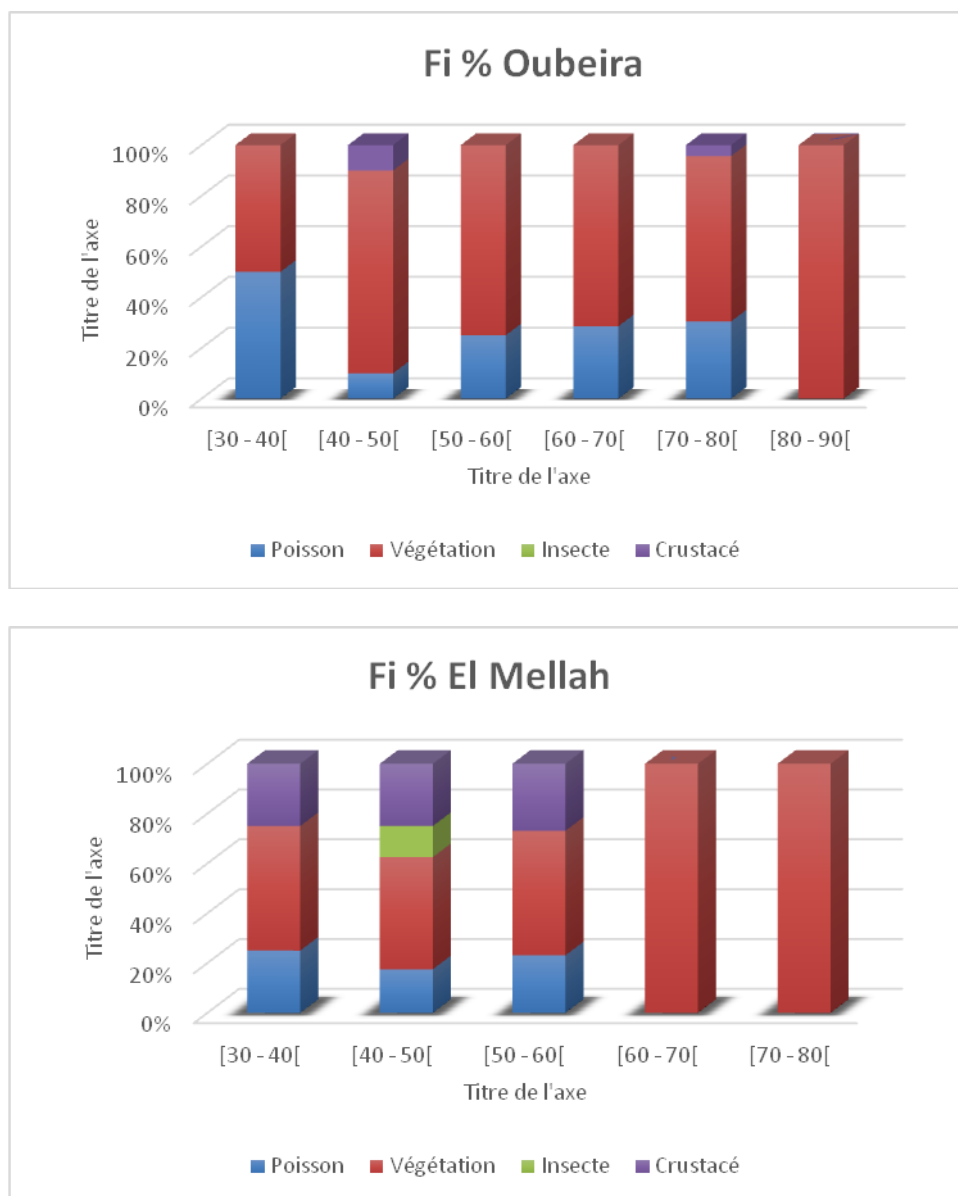


Figure 76: Proportions des proies ingérées par les anguilles des différentes classes de taille



L'analyse des proportions alimentaires selon les classes de taille des anguilles dans les deux plans d'eau révèle des différences marquées dans les stratégies trophiques. Au lac Oubeira, les petites anguilles (**[30-40 mm]**) affichent une consommation exclusive de poissons et de végétation (**100 % chacune**), tandis que dans les classes de taille supérieures, la prédation de poissons augmente progressivement (**12,5 % à [40-50 mm]**, puis **26,09 % et 31,58 % pour [50-60 mm] et [60-70 mm]**), en parallèle d'une légère diversification avec l'apparition de crustacés (**4,76 % à [70-80 mm]**). Toutefois, la végétation demeure l'élément dominant (**>70 %** dans toutes les classes). À El Mellah, les jeunes anguilles présentent une alimentation plus diversifiée : à **[30-40 mm]**, elles consomment **25 %** de poissons et de crustacés, et **50 %** de végétation ; à **[40-50 mm]**, les insectes apparaissent à **16,67 %**, illustrant une opportuniste alimentaire renforcé. La classe **[50-60 mm]** confirme cette tendance avec **27,27 %** de poissons et **31,82 %** de crustacés, mais dans les tailles supérieures (**[60-80 mm]**), les anguilles se recentrent exclusivement sur la végétation (**100 %**). Ces résultats suggèrent que les anguilles d'El Mellah exploitent une plus grande diversité de ressources à petite taille, probablement en raison de la richesse écologique du milieu, tandis qu'à Oubeira, une tendance vers une spécialisation progressive sur les ressources végétales est observée, traduisant des contraintes environnementales différentes et une dynamique trophique plus stable mais moins diversifiée.



b. Proportions des proies ingérées par les anguilles des différentes classes d'âge :

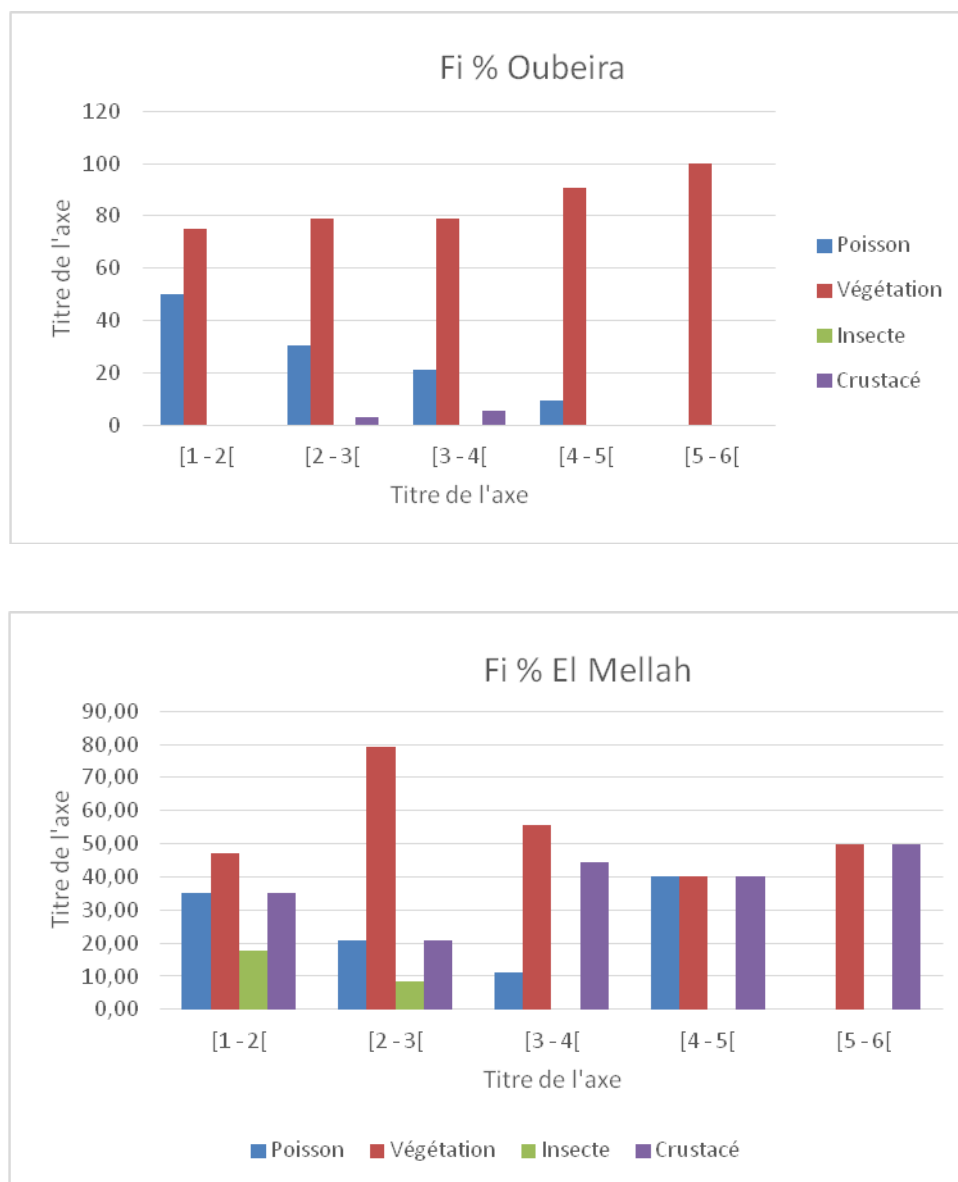


Figure 77: proportions des proies ingérées par les anguilles des différentes classes d'âge dans les deux plans d'eaux.

L'analyse des proportions alimentaires des anguilles selon les classes d'âge révèle une évolution progressive du régime trophique dans les deux milieux étudiés. Au lac Oubeira, les individus les plus jeunes (**[1-2 ans]**) consomment 50 % de poissons et 75 % de végétation, montrant une exploitation mixte des ressources disponibles ; cependant, avec l'âge, la part des



poissons décroît régulièrement (**30,30 % à [2-3 ans]**, **21,05 % à [3-4 ans]**, puis seulement **9,09 % à [4-5 ans]** et **0 % à [5-6 ans]**) au profit d'une consommation accrue de végétation, atteignant **100 %** dans la dernière classe d'âge. Parallèlement, les crustacés restent faiblement représentés (maximum **5,26 % à [3-4 ans]**). À El Mellah, les jeunes anguilles (**[1-2 ans]**) affichent une alimentation plus variée avec **35,29 %** de poissons, **17,65 %** d'insectes, et **35,29 %** de crustacés, traduisant un opportunisme alimentaire plus marqué. Avec l'augmentation de l'âge, la part des poissons chute à **20,83 % à [2-3 ans]** et **11,11 % à [3-4 ans]**, tandis que les crustacés deviennent de plus en plus importants, culminant à **44,44 % à [3-4 ans]** et **50 % à [5-6 ans]**. Contrairement à Oubeira, où les anguilles âgées se spécialisent exclusivement sur la végétation, à El Mellah, les individus plus âgés maintiennent une alimentation mixte dominée par la végétation (**50 %**) et les crustacés (**50 %**) à maturité. Cette dynamique trophique met en évidence une spécialisation alimentaire croissante vers la végétation avec l'âge à Oubeira, tandis qu'à El Mellah, l'accès diversifié aux proies animales permet aux anguilles de conserver un régime plus équilibré entre végétation et ressources animales au fil de leur développement.



IV. Discussions :

1. Croissance

Dans la lagune El Mellah effectuée sur la base de la relation âge-longueur et modélisée à partir de la courbe de von Bertalanffy, permet de mesurer la dynamique de développement de cette espèce au sein d'un milieu lagunaire. Ce modèle de von Bertalanffy est couramment utilisé en biologie des populations pour sa capacité à modéliser la croissance asymptotique chez les poissons et autres organismes aquatiques (von Bertalanffy, 1938 ; Pauly, 1980). Ce modèle repose sur l'hypothèse que la croissance est le résultat d'un équilibre entre anabolisme (croissance) et catabolisme (dépenses énergétiques). Les données analysées révèlent que les anguilles européennes (*Anguilla anguilla*) croissent progressivement, bien qu'un certain nombre d'écarts se dessinent entre les longueurs observées et celles qui pourraient être estimées en appliquant le modèle. À 1 an, une sous-estimation de 6,2 % apparaît, probablement en raison d'une phase de croissance initiale plus rapide que celle prévue par le modèle, qui est un phénomène observé lorsque les poissons juvéniles sont présents dans un milieu riche en ressources naturelles (Ices, 2009). À 2 ans, le modèle tend à surestimer légèrement la longueur correspondante (écart de 6,3 %), peut-être en rapport avec un effet de l'environnement ou un ralentissement temporaire mais habituel de la croissance de l'anguille dans les milieux lagunaires fortement structurés, subissant des variations saisonnières (Tesch, 2003). La concordance entre la longueur observée et celle estimée à l'âge de 4 ans (écart de 0,7 %) témoigne d'une capacité du modèle, non négligeable, à restituer la croissance à un âge intermédiaire. En revanche l'écart très important observé à 5 ans (9,5 % de sous-estimation), traduit la difficulté du modèle à restituer les trajectoires de croissance des individus plus âgés, sans doute parce que la variabilité interindividuelle y est d'autant plus importante ou parce que l'effet de la sénescence s'exerce plus fortement à partir de cet âge (Simon et Davaine, 2004). De plus, les poissons plus âgés peuvent exploiter des niches écologiques leur permettant d'accéder mieux aux ressources, conduisant à une hétérogénéité de la croissance non intégrée dans un modèle lambda. Le cas de l'âge 0 constitue une autre illustration. En effet, la valeur estimée de 0,41mm est biologiquement peu crédible mais, elle ne correspond pas à une erreur de mesure mais à une limite du modèle, faute de données empiriques fiables pour ce stade (ce phénomène a déjà été souligné dans les publications) et suggère d'intégrer si



possible des données larvaires ou sur le stade post-larvaire dans les ajustements du modèle (Moriarty, 1978).

Ainsi, toutes ces observations soulignent autant les forces que les limites du modèle de von Bertalanffy. Bien qu'offrant un cadre solide d'estimation de la croissance de la moyenne d'une population, il peut ne pas fournir un outil prédictif suffisant d'ajustement de la variabilité individuelle, notamment dans des environnements fluctuants tel que les lagunes côtières. L'intégration de déterminants environnementaux (température, salinité, disponibilité alimentaire), à tout le moins pour les prévisions individuelles, et pourquoi pas le recours à des modèles mixtes combinant composantes stochastiques, pourrait améliorer l'exactitude des évaluations (Jørgensen et al., 2006). L'analyse des paramètres de croissance des anguilles (*Anguilla anguilla*) franchit une étape clé dans la gestion des stocks, la détermination des dynamiques démographiques et l'estimation de l'impact des conditions environnementales dans les écosystèmes lagunaires méditerranéens. Le modèle de von Bertalanffy présente dans ce contexte l'intérêt d'une modélisation fiable de la croissance en longueur en fonction de l'âge (von Bertalanffy, 1938 ; Pauly, 1980).

Les résultats obtenus au niveau de la lagune Mellah montrent certes une croissance rapide, avec un K important (1,27) et une longueur asymptotique L_{∞} relativement faible ($L_{\infty} = 55,93$ mm), mais cela ne correspond pas à d'autres milieux naturels, ainsi le lac El Mellah, qui présente des résultats différents (L_{∞} (89 cm, K = 0,37). Le fort coefficient de croissance K indique que les anguilles de cette lagune investissent rapidement dans leur croissance corporelle, atteignant rapidement une taille approchant de la taille maximale, ce qui est en rapport avec le milieu, sans doute très favorable, où ils évoluent (nourriture abondante, température intéressante, faible compétition).

La comparaison entre les deux écosystèmes étudiés souligne ainsi l'extrême plasticité de la croissance d'*Anguilla anguilla* influencée par les facteurs écologiques locaux. La lagune Mellah présente les conditions favorables au développement d'un mode de croissance rapide à taille asymptotique faible alors que le lac El Mellah, en revanche, favorise une croissance plus lente mais vers des tailles plus importantes. De tels écarts ont un impact essentiel à prendre en compte dans la gestion des stocks et pour la conservation de cette espèce en danger critique (Jacoby & Gollock, 2014). La recherche sur la croissance des anguilles (probablement



Anguilla anguilla) du lac Oubeira, selon le modèle de von Bertalanffy, se veut révélatrice du fonctionnement de la croissance de la population dans ce milieu particulier, où les données mettent en avant un développement rapide durant les jeunes âges puis un lent ralentissement conforme aux relations biologiques générales de cette espèce (Tesch, 2003 ; Moriarty & Dekker, 1997) ; d'où le choix du modèle de von Bertalanffy, très utilisé pour des espèces à croissance continue comme les anguilles (von Bertalanffy, 1938), qui a montré une bonne adéquation avec les données, avec un coefficient de détermination très élevé ($R^2 = 0,963$) suggérant une importante plasticité de croissance linéaire entre l'âge et la longueur. La disponibilité du logiciel New VONBIT for Excel (2012), qui permet le choix des modèles de von Bertalanffy et leur ajustement avec correction des estimations de longueurs théoriques, permet donc une analyse accrue des données.

La valeur du coefficient de croissance ($K=0,87$) est relativement élevée comparativement à d'autres populations d'anguilles européennes dans lesquelles les valeurs sont plus faibles, ce qui traduit souvent des conditions écologiques moins favorables ou de fortes pressions anthropiques (Tzeng et al. 2000 ; Feunteun 2002). Ce résultat peut laisser supposer que le lac Oubeira pourrait constituer un milieu propice à une croissance rapide, peut-être favorisée par une disponibilité alimentaire importante, un facteur thermique adéquat ou une compétition intra/inter spécifique faible.

Le paramètre $L_{\infty} = 77,96$ mm, correspondant dans les modèles de croissance à la taille asymptotique théorique, paraît cependant relativement faible pour un peuple d'anguilles, ce qui pourrait traduire soit une limitation de la croissance maximale due à des réels facteurs écologiques locaux, soit un sous-échantillonnage des individus les plus vieux et les plus grands. De nombreuses études confirment en effet que les anguilles en milieu lacustre peuvent atteindre des tailles beaucoup plus élevées et même supérieures à 1 000 mm dans certains cas (Dekker. 2003 ; Daverat et al. 2006).

De toutes les adaptations du modèle aux données observées, il résulte un retrait systématique de la croissance aux âges jeunes et avancés. On peut admettre comme cause de tels écarts une variabilité interindividuelle (Helfman et al., 1987) en rapport avec la disponibilité en nourriture et des facteurs abiotiques tout autant que les modalités de lecture d'âges, sujet à controverse pour l'anguille du fait de la structure complexe de ses otolithes (Moriarty, 2003). On notera que l'adéquation entre âge et poids, fonctionnellement décrite au moyen d'une



équation allométrique d'exposant **3,495**, montre bien l'effort de croissance pondérale très marqué après 3 ans, puisque l'accroissement des poids peut atteindre **1100 g à 5 ans**.

Ce résultat est en accord avec les résultats de l'observation d'une croissance allométrique positive (**Tesch, 2003**). Le coefficient de détermination $R^2 = 0,997$ assure une solidité du modèle pondéral au sens où celui-ci présente des capacités prédictives très satisfaisantes du gain de poids selon l'âge.

L'optimisation du coefficient de croissance (**K**), par une minimisation de la somme des carrés des écarts (**SSQ**), permet d'affiner le modèle et conduit à considérer que **K = 0,87** constitue un optimum pour cette population. Ce type d'optimisation, aussi solide qu'il pourrait être sur le plan mathématique, doit toujours être mis en regard des considérations biologiques et écologiques en évitant une lecture trop « statistico-statistique » du résultat (**Lobón-Cervía & Rincon, 1998**). La vérification des écarts observés entre les longueurs/poids estimés et observés aux bornes de l'échelle d'âge suggère la prise en considération de facteurs contextuels dans la modélisation, notamment les variabilités saisonnières, les fluctuations hydrologiques du lac, la structuration des interactions écologiques. Une approche bioénergétique ou un modèle qui pourrait intégrer ces différents paramètres environnementaux (température, qualité de l'eau) pourrait améliorer ces prédictions comme suggèrent plusieurs récents travaux en écologie des poissons (**Boisclair & Leggett, 1989 ; Bevacqua et al., 2006**).

Peut-on dire que l'étude de la croissance et de la condition corporelle des anguilles (*Anguilla anguilla*) du lac Oubeira, à l'aide des paramètres du modèle de von Bertalanffy et de la relation taille-poids, permet d'apprécier la dynamique de cette population dans un contexte écologique donné ?

En comparaison avec les individus de la population du lac El Mellah ($L_{\infty} = 89 \text{ cm}$, **K = 0,37**), ceux du lac Oubeira peuvent avoir un plus haut potentiel de croissance en longueur mais plus lentement. Cet écart pourrait s'expliquer par la situation environnementale des deux lacs, notamment la densité de la population, la disponibilité alimentaire, ou la température de l'eau (**Moriarty & Dekker, 1997**). Un **K** faible associé à une L_{∞} haute traduit souvent une stratégie de croissance vers plus de longévité et un développement plus tardif observés dans des anguilles évoluant en lacs profonds ou moins perturbés (**Bevacqua et al., 2006**).



L'étude du rapport taille-poids a démontré une croissance allométrique positive ($b = 3,495$), exprimée par l'équation suivante :

$$W = 0,0001 \times L^{3,495} \quad W = 0,0001 \times L^{3,495}$$

Où W représente le poids (g) et L la longueur totale (cm). Cette relation manifeste donc que le poids augmente plus vite que la longueur, ce qui peut s'interpréter comme un bon état corporel et la forte accumulation d'énergie, signalant que les anguilles se trouvent en période de gonflement en vue de leur migration vers les lieux de reproduction, les zones de mer des sargasses (Tesch, 2003 ; Durif et al., 2005). La forte détermination du modèle quantifié ($R^2 = 0,964$) témoigne d'un bon ajustement clair aux données, et au-delà de renforcer le bien-fondé de l'existence d'une relation linéaire stable entre taille et poids fournit un indice d'homogénéité du développement corporel dans la population. Ce mode de croissance est compatible avec une stratégie d'accumulation tenant à la nécessité de rechercher un stock énergétique, constitué de réserves lipidiques, propice à la migration et à la reproduction, qui coûtent très énergétiquement (van Ginneken & Maes, 2005).

La pesée du poids maximal théorique ($W_\infty \approx 1200$ g), calculé à partir de la longueur asymptotique des anguilles de l'Oubeira, se veut une confirmation des données terrain qui montrent que plusieurs individus dépassent le kilogramme, poids observé dans d'autres populations naturelles bien connues (Moriarty, 2003), à condition éventuellement d'affiner les campagnes de moyens de captures de façon plus précise et améliorée sur l'ensemble de l'habitat dans des conditions privilégiées comme l'alimentation et les perturbations liées à l'hydrologie, ainsi qu'aux impacts anthropiques.

Les résultats montrent que les anguilles collectées dans le lac Oubeira sont présentes dans un environnement favorable à leur croissance à savoir :

- Une longueur maximale théorique élevée ($L_\infty = 97,15$ cm),
- Une forte vitesse de croissance pondérale à partir de 60 cm,
- Une forte relation taille-poids ($R^2 = 0,964$),
- Une croissance allométrique positive, indicatrice d'un bon état corporel.



Ces éléments renforcent l'idée d'un équilibre écologique local prédisposant au développement de cette population d'anguilles. Toutefois, les comparaisons avec d'autres milieux (le lac El Mellah, les zones côtières) rappellent que des variations environnementales subtiles peuvent avoir des effets significatifs sur les paramètres de croissance (Tzeng et al., 2000). La prise en compte future de facteurs abiotiques (température, pH, oxygène dissous) et comportementaux (stratégies migratoires, compétition interspécifique) devrait permettre d'affiner les modèles de croissance et d'identifier les impacts potentiels du changement climatique ou de la pression anthropique sur cette population (Bonhommeau et al., 2008 ; Righton et al., 2016).

Comme terrain de comparaison, d'abord des travaux scientifiques et techniques sur la croissance des anguilles européennes (*Anguilla anguilla*) dans divers milieux qui permettent d'alimenter la discussion et la valeur scientifique des résultats obtenus à la lagune El Mellah et au lac Oubeira. Cette étude de référence, qui comprend 38 populations d'anguilles en Europe démontre que les paramètres de croissance (L_{∞} et K) varient fortement en fonction de la latitude et de la température, les croissances les plus rapides ($K \geq 1$) étant notées en zone sud (Espagne, Italie) et K les plus faibles (0.3–0.6) dans le nord (Suède, Norvège) ce qui corrobore les valeurs élevées de K notées à El Mellah ($K = 1.27$) tant sur une autre espèce, (*A. australis*) à la différence que cet auteur montre que les valeurs de croissance sont aussi fonction des milieux pour cette espèce, la croissance est lente dans les eaux tempérée ($K = 0.4–0.6$) dans les milieux plus tempérés, alors que dans des milieux plus chauds, la croissance se fait plus rapidement (Sloane, R. D. 1984), l'impact du gradient estuarien sur la croissance : les anguilles d'eau saumâtre croissent significativement plus que celles des zones d'eau douce — analogue avec la comparaison entre El Mellah (lagune saumâtre) et Oubeira (lac d'eau douce) pour la croissance. (Tzeng, W. N., & Iizuka, Y. 2003)

Cette étude met en lumière une corrélation entre les performances de croissance (tel que le poids maximal atteint) et la capacité de migration des anguilles. L'atteinte du développement pondéral le plus rapide ($b > 3.2$) serait un facteur favorisant l'entrée dans la phase migratoire et pourrait être mis en rapport avec les profils observés pour le lac Oubeira (Acou, A., et al 2003). Cette méta-analyse confirme que les anguilles sud-européennes (en milieux méditerranéens) présentent des croissances comportementales plus rapides (K compris entre 0.8 et 1.3) et atteignent leur maturité plus tôt, souvent avant 6 ans. Cela est parfaitement cohérent avec les données récoltées sur El Mellah et Oubeira. En effet, les anguilles de 5 ans



sont déjà très significativement pesées et mesurées (Barcala, E., et al 2022). L'étude montre que les anguilles évoluant dans des habitats estuariens (ou lagunaires) présentent une croissance initiale plus rapide par rapport aux individus strictement fluviaux. Ce résultat vient renforcer l'hypothèse de l'accélération de la croissance observée pour la lagune El Mellah. (Daverat, F., et al ;2006)

Cette étude fournit des données historiques concernant les tailles maximales atteintes jusqu'en **1330 mm**. Elle situe les tailles de **700–900 mm** mesurées dans les lacs algériens et permet de relativiser les L_{∞} obtenus (**55–97 cm**) (Dekker, W. 1998).

En conclusion, la comparaison des deux milieux étudiés montre l'existence de deux stratégies de croissance : une stratégie de croissance rapide et de maturation précoce dans un milieu lagunaire « dynamique » (El Mellah), une stratégie de croissance lente conduisant à des tailles corporelles plus importantes dans un écosystème lacustre « stable » (Oubeira). Ces résultats mettent en exergue l'intérêt d'intégrer les spécificités écologiques locales dans l'interprétation de la dynamique des populations anguilliformes et dans l'orientation des actions à mener pour leur gestion et leur conservation.



2. Parasitisme

L'étude parasitologique menée sur *Anguilla anguilla* dans deux écosystèmes contrastés du nord-est algérien — le lac Oubeira (eau douce) et la lagune El Mellah (eau saumâtre) — a révélé une richesse spécifique et une abondance parasitaire remarquables. La diversité des groupes parasites, incluant les nématodes, digènes, cestodes, monogènes, crustacés, acanthocéphales et formes myxozoaires indéterminées, témoigne de l'importance écologique de ces milieux humides dans la persistance et la transmission des cycles parasites complexes.

Nos résultats sont en cohérence avec ceux de : (Djebbari et al, 2009), (Boudjadi, 2010), (Tahri, 2016), (Ladjama, 2016) et (Bakaria, 2018), qui ont tous observé des communautés parasites similaires dans les systèmes aquatiques d'El Kala. Cette diversité reflète non seulement la richesse trophique locale, mais également la complexité des relations hôte-parasite influencées par des variables abiotiques telles que la salinité, la température, la structure du substrat et la présence d'hôtes intermédiaires.

Le nématode *A. crassus*, parasite de la vessie natatoire, est apparu comme l'une des espèces dominantes au lac Oubeira, avec une prévalence de 45,56 %, bien supérieure à celle enregistrée dans la lagune El Mellah (10,56 %). Ces résultats concordent avec ceux de (Tahri, 2016) (prévalence moyenne de 50,4 % à Oubeira) et de (Djebbari et al, 2009) au lac Tonga, où les taux d'infestation dépassaient 55 % en période hivernale.

Dans les lagunes à salinité plus élevée, comme El Mellah ou Ichkeul en Tunisie (Gargouri-Ben Abdallah & Maamouri, 2006), les taux chutent en dessous de 8 %, soulignant l'effet inhibiteur de la salinité sur les stades larvaires et la fécondité du parasite (Kennedy et Fitch, 1990 ; Kirk, 2000). Sur le plan européen, des valeurs encore plus élevées ont été signalées par (Lefebvre et al, 2002) (70–77 % en Camargue) et (Molnár et al, 1994) au lac Balaton (Hongrie), avec une intensité moyenne stabilisée entre 4 et 6 vers/vessie natatoire.

L'importance pathologique de ce parasite est bien établie. En envahissant la vessie gazeuse, *A. crassus* perturbe la flottabilité, la régulation de la pression et la capacité de migration des anguilles argentées, mettant en péril leur succès reproducteur transocéanique (Palstra et al., 2007 ; Van Den Thillart, 2005).



Deux groupes intestinaux ont retenu l'attention : le cestode *Bothriocephalus claviceps*, présent à **46,11 %** à Oubeira, et le nématode *Eustrongylides sp.*, avec une prévalence exceptionnelle de **86,11 %**. Ces valeurs, rarement rapportées dans la littérature nord-africaine, indiquent une forte activité trophique chez les anguilles locales, impliquant la consommation de copépodes, d'annélides oligochètes et de poissons proies.

Chez *B. claviceps*, nos résultats dépassent ceux de (Tahri ,2009) (34 %), mais sont également supérieurs à ceux observés dans les lagunes corses (20 %, Caillot et al.) ou espagnoles (1,4 %, Maillo et al.). La saisonnalité du parasite, dépendante des cycles des copépodes cyclopoïdes, a été démontrée par (Kennedy ,1983), ce qui pourrait expliquer les fluctuations intersites.

Le cas d'*Eustrongylides* est particulièrement intéressant. Rarement mentionné dans les travaux algériens, ce nématode, étudié par (Franceschini et al, 2022) en Italie, peut provoquer des granulomes sévères et des lésions musculaires chez les poissons hôtes. Sa présence à de tels niveaux suggère un écosystème riche en maillons trophiques intermédiaires, notamment des invertébrés aquatiques porteurs.

L'analyse en fonction du stade de développement sexuel révèle des disparités nettes : les mâles MII sont significativement moins infestés que les femelles FII, FIII et FV. Ce résultat corrobore les observations de (Tahri , 2016), qui attribue cette différence à la mobilisation énergétique plus élevée chez les femelles matures, à une dépression immunitaire hormonale et à un régime alimentaire plus diversifié.

Ce constat est confirmé dans plusieurs études européennes. (Lefebvre et al, 2002b), (Fazio ,2005) et (Palstra et al, 2007) montrent que les femelles argentées hébergent les plus fortes charges parasitaires, ce qui compromet leur préparation migratoire. De plus, le processus d'argenture, amorcé dès 3–4 ans d'âge en Algérie (Lefebvre et al., 2012), semble plus précoce qu'en Europe, ce qui pourrait accélérer l'exposition aux parasites.

Les monogènes du genre *Pseudodactylogyrus* (prévalence < 10 %), bien que faiblement représentés, sont associés à des troubles respiratoires en cas de stress thermique ou de confinement, comme démontré par (Buchmann ,1993) et (Kennedy & Di Cave ,1998). Leur faible abondance dans notre étude pourrait refléter une bonne qualité de l'eau ou une faible densité d'hôtes en période d'observation.



Les crustacés parasites, notamment *Argulus* et *Ergasilus*, ont été retrouvés de manière sporadique. Leur présence correspond aux données de (Ramdane & Trilles ,2007), qui signalent une infestation accrue en périodes estivales et en milieux lentiques. Ces parasites sont souvent associés à des déséquilibres écosystémiques ou à des pressions anthropiques locales.

L'observation de myxozoaires transparents dans notre étude, bien que non quantifiée précisément, met en lumière un groupe encore largement sous-exploré. (Okamura et al ,2018) et (Hartikainen et al, 2016) estiment que les espèces connues ne représentent qu'une fraction réelle de la diversité des myxozoaires infectant les poissons, notamment en Afrique du Nord. Leur faible détection visuelle suggère un intérêt croissant pour des outils moléculaires dans les futures investigations.

L'étude statistique menée sur les données recueillies a révélé des écarts significatifs d'abondance parasitaire selon les stades d'argenture, soulignant le rôle central des caractéristiques biologiques de l'hôte dans la dynamique parasitaire. Le modèle binomial négatif à inflation nulle a mis en évidence une abondance beaucoup plus faible chez les mâles au stade MII, en comparaison avec les femelles des stades FII, FIII et FV ($p < 0,001$). Cette tendance s'est confirmée par des comparaisons post hoc, qui montrent que l'infestation augmente de manière significative avec la progression de la maturité sexuelle chez les femelles.

Ces résultats sont en parfaite adéquation avec ceux de (Tahri ,2016), qui avait déjà démontré que les femelles matures hébergent les charges parasitaires les plus importantes, en particulier pour *Anguillicoloides crassus* et *Bothriocephalus claviceps*. Cette tendance s'explique par des facteurs physiologiques : mobilisation des réserves énergétiques, activité trophique plus intense, et réduction transitoire de la réponse immunitaire associée à la préparation à la migration.

La précocité de l'argenture en Afrique du Nord, récemment confirmée par (Tahri ,2023), apporte un éclairage complémentaire. Dans cette étude menée sur 1370 individus issus des quatre principaux sites d'exploitation (lac Oubeira, lac Tonga, lagune Mellah et estuaire de Mafragh), il apparaît que la majorité des anguilles argentées sont issues des milieux d'eau douce (46 % à Oubeira, 25 % à Tonga), tandis qu'un tiers est observé en milieux saumâtres



(Mellah et Mafragh). L'argenture intervient précocement, entre **3 et 4 ans**, soit bien plus tôt que dans les populations européennes, où elle est souvent retardée de plusieurs années.

Cette argenture hâtive, conjuguée à un taux de croissance élevé (surtout à Oubeira), suggère des stratégies de cycle de vie distinctes pour les anguilles nord-africaines, vraisemblablement influencées par des conditions environnementales favorables, comme la température, la productivité du milieu et la pression de prédation plus faible.

Nos résultats suggèrent que cette maturation précoce pourrait exposer les anguilles à des charges parasitaires concentrées sur une période plus courte, mais durant une phase physiologiquement critique, rendant l'impact des parasites (notamment *A. crassus*) d'autant plus néfaste sur leur capacité à accomplir la migration transocéanique.

En somme, l'intégration des stades d'argenture à l'analyse parasitologique permet d'établir un lien direct entre physiologie, écologie, et risque parasitaire, ouvrant ainsi des perspectives intéressantes pour le suivi sanitaire et la conservation des populations locales d'anguilles.

En comparant nos résultats avec ceux obtenus en Algérie, en Tunisie, au Maroc et dans plusieurs pays européens, il apparaît que les anguilles du lac Oubeira présentent des taux d'infestation équivalents voire supérieurs pour plusieurs groupes, notamment les nématodes et cestodes. À l'inverse, la lagune El Mellah se distingue par une dominance de digène, en cohérence avec la structure écologique de ce milieu saumâtre.

Cette dualité écologique met en évidence l'importance de la typologie du milieu dans la structuration parasitaire, rejoignant les modèles proposés par (Derouiche, 2016) et (Kennedy (1997)). Nos résultats soulignent également la nécessité de considérer les stades d'argenture, la morphométrie et le comportement trophique comme facteurs clés de la dynamique parasitaire.

Enfin, la forte prévalence de parasites pathogènes comme *A. crassus* ou *Eustrongylides* sp chez des individus prêts à migrer soulève des préoccupations sérieuses quant à la capacité migratoire et reproductive des anguilles algériennes, dans un contexte déjà fragilisé par la pollution, les barrages et la surpêche.



3. Régime alimentaire

Comparaison intersites du coefficient de vacuité

L'étude du régime alimentaire des anguilles européennes dans deux milieux distincts – le lac Oubeira et la lagune d'El Mellah – révèle des différences marquées dans les niveaux d'activité alimentaire, mesurés par le coefficient de vacuité (CV%). Ce dernier atteint une moyenne de 67,78 % à Oubeira contre 56,67 % à El Mellah. Cette différence notable suggère une plus grande disponibilité trophique et/ou une meilleure activité de prédation dans la lagune, milieu écotonal riche en apports marins et dulcicoles.

Ces observations sont cohérentes avec celles de (Ladjama ,2016), qui rapporte un CV moyen de **60 %** dans le lac Tonga et de **74 %** à El Mellah, avec des pics estivaux, ce qui souligne l'impact de la température sur l'alimentation. (Tahri ,2016) confirme également une baisse du CV en hiver et au printemps, périodes où l'activité trophique est renforcée. Cette influence thermique est bien documentée par (Vollestad et al,1988), qui soulignent que la baisse de température provoque un ralentissement du métabolisme chez l'anguille jaune, réduisant ses besoins alimentaires.

Plusieurs auteurs ont précisé ces seuils thermiques : (Tesch ,1993) indique que l'activité alimentaire cesse en dessous de 10 °C ; (Nyman ,1972) observe un arrêt net sous 8 °C, tandis que (Walsh et al, 1983) notent une absence d'alimentation sous 5 °C. Cela explique les valeurs de vacuité plus élevées enregistrées durant les mois froids. Ainsi, les variations saisonnières du CV observées dans cette étude s'inscrivent dans une dynamique globale décrite dans plusieurs contextes géographiques.

Composition du régime alimentaire

L'analyse qualitative révèle une prédominance très marquée des algues dans les deux sites (>81 % de fréquence d'apparition), suivies des poissons (~26 %), alors que les insectes sont absents et les crustacés marginalement représentés (~2,5 %). Cette forte composante végétale contraste avec les études classiques sur *Anguilla anguilla*, où les proies animales dominent, en



particulier les invertébrés benthiques et les poissons (Fahay, 1978 ; Facey & Van Den Avyle, 1987 ; Lary & Busch, 1997).

(Ladjama ,2016) note des résultats comparables dans le lac Tonga, où les poissons et les végétaux dominant (~80 %), tandis que les crustacés et insectes sont secondaires. En revanche, (Tahri ,2016) observe à Oubeira une préférence marquée pour les proies animales. Au Mafrag, (Boudjadi ,2010) souligne une fréquence élevée des poissons (46 %), traduisant un comportement typiquement carnivore.

Les différences observées peuvent refléter un comportement alimentaire opportuniste, fortement influencé par la disponibilité des proies, comme le suggère (Lecomte-Finiger ,1983). Dans notre étude, l'absence d'insectes peut s'expliquer par leur rareté saisonnière ou par des préférences écologiques, tandis que l'abondance des algues pourrait résulter d'une ingestion accidentelle lors de la fouille du substrat, comme l'indiquent (Wenner & Musick ,1975) et (McCord ,1977).

Influence de la taille et de l'âge

La variation du régime alimentaire selon la taille et l'âge des anguilles révèle une trajectoire distincte selon le site. À Oubeira, les individus les plus âgés se spécialisent dans la consommation de végétation (jusqu'à 100 %), tandis qu'à El Mellah, un équilibre est maintenu entre proies végétales et animales, notamment une consommation accrue de crustacés chez les adultes (jusqu'à 50 %). Ce comportement est conforme aux observations de (Djebbari ,2012) et de (Ladjama ,2016), qui décrivent une augmentation des proies carnées avec la taille en eau saumâtre, alors que les poissons dominent en eau douce chez les grands individus.

La relation entre la taille de l'anguille et celle des proies a été bien établie : (Ogden ,1970), (Facey & LaBar ,1981) et (Lookabaugh & Angermeier ,1992) montrent que les grands individus tendent vers une piscivorie accrue. (Lammens & Visser ,1989) vont plus loin en mettant en évidence une plasticité morphologique selon le type de proie : les anguilles piscivores ont une tête plus large, adaptée à la capture de proies mobiles.



Nos résultats confirment cette tendance évolutive : les jeunes anguilles montrent une alimentation plus diversifiée à El Mellah, alors qu'à Oubeira, elles s'orientent précocement vers un régime végétal. Cela suggère que les pressions environnementales locales influencent les trajectoires trophiques des individus, avec un **opportunisme persistant** dans le milieu saumâtre riche d'El Mellah et une **spécialisation contrainte** dans le milieu plus stable mais moins diversifié d'Oubeira.



V. Conclusion et Perspectives

1. Conclusion générale :

Ce travail s'est intéressé à la biologie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) à travers une triple approche intégrant l'étude de la croissance, du parasitisme, et du régime alimentaire dans deux écosystèmes contrastés du nord-est algérien : le lac Oubeira, plan d'eau douce, et la lagune El Mellah, environnement saumâtre. Cette analyse intégrée a permis de dégager une vision globale et cohérente du fonctionnement bioécologique de cette espèce emblématique dans des milieux aux dynamiques écologiques différenciées.

Sur le plan de la croissance, les résultats ont révélé des profils morphométriques différenciés entre les deux sites. Les anguilles du lac Oubeira ont montré une croissance plus lente mais orientée vers des tailles maximales plus élevées ($L_{\infty} = 97,15 \text{ cm}$; $K = 0,35$), témoignant d'un environnement favorable à l'allongement du cycle de vie et à l'accumulation progressive des réserves énergétiques. À l'inverse, les individus de la lagune El Mellah, bien que plus petits ($L_{\infty} = 89 \text{ cm}$), présentent une croissance plus rapide ($K = 0,37$), ce qui pourrait traduire une stratégie adaptative fondée sur l'exploitation rapide des ressources dans un milieu plus instable ou soumis à des contraintes écologiques saisonnières plus marquées.

L'analyse de la structure parasitaire a mis en évidence une forte hétérogénéité entre les deux milieux. Le lac Oubeira se distingue par une prévalence exceptionnellement élevée de *Eustrongylides sp.* (86,11 %), ainsi que par des infestations notables par *Bothriocephalus claviceps* et *A. crassus*. Cette dominance des nématodes et cestodes est probablement favorisée par une chaîne trophique complexe et une disponibilité constante d'hôtes intermédiaires. En revanche, la lagune El Mellah présente un profil parasitaire dominé par les trématodes digènes (62,22 %), soulignant un modèle parasitaire propre aux écosystèmes saumâtres, dans lesquels les mollusques jouent un rôle clé dans les cycles parasitaires indirects.

Une attention particulière a été portée aux stades d'argenture, qui marquent la préparation à la migration reproductive. Les analyses ont montré une prévalence parasitaire significativement plus faible chez les mâles au stade MII, comparativement aux femelles FII, FIII et FV. Cette observation pourrait s'expliquer par des différences de comportements alimentaires, d'aires



d'occupation ou encore par une résistance immunitaire différente. D'un point de vue spatial, l'abondance parasitaire globale est apparue nettement plus faible à Oubeira qu'à El Mellah, suggérant une interaction complexe entre la salinité, la densité des hôtes intermédiaires et les dynamiques locales d'infestation.

L'étude du régime alimentaire a révélé que les anguilles des deux sites exploitent largement les ressources végétales, notamment les algues, qui dominent la composition stomacale (>80 % de fréquence d'apparition). Toutefois, des différences notables apparaissent selon les classes de taille et le site. À El Mellah, le régime alimentaire est plus diversifié, intégrant poissons, crustacés et insectes, traduisant un comportement plus opportuniste, notamment chez les jeunes classes. À Oubeira, la tendance est à une consommation plus spécialisée, centrée sur les poissons et les algues, avec une moindre présence de proies animales chez les classes supérieures.

Ces résultats, dans leur ensemble, confirment la plasticité écologique de *A. anguilla* et mettent en évidence l'importance des interactions entre les caractéristiques de l'habitat et les traits biologiques de l'espèce. La diversité parasitaire observée et ses variations selon l'âge, la taille, le sexe ou le stade de maturation montrent que l'anguille constitue un modèle pertinent pour l'étude des réseaux trophiques et de la qualité écologique des milieux aquatiques. L'ampleur des infestations observées, notamment par *A. crassus*, souligne cependant les menaces sanitaires croissantes qui pèsent sur les populations naturelles.

2. Perspectives :

À l'issue de ce travail, plusieurs axes de recherche complémentaires peuvent être proposés afin d'approfondir et d'enrichir les connaissances acquises :

A. Approfondir l'analyse parasitaire par des outils moléculaires

L'identification morphologique de certains parasites, en particulier des myxozoaires transparents, s'est révélée difficile en raison de leur fragilité. L'utilisation de techniques moléculaires (PCR, séquençage) permettrait une identification plus fine des espèces, facilitant ainsi l'évaluation de leur cycle de vie et de leur impact potentiel sur l'hôte.



B. Étudier la dynamique saisonnière des infestations

Une approche temporelle sur un cycle annuel permettrait de mieux comprendre la saisonnalité des infections, en lien avec les cycles biologiques des hôtes intermédiaires et les fluctuations environnementales. Cela permettrait également de mieux cibler les périodes critiques pour la gestion sanitaire.

C. Explorer l'impact immunologique et énergétique des infestations

Il serait pertinent de coupler les données parasitaires aux paramètres physiologiques et immunitaires des anguilles (taux de cortisol, hématokrite, réserves lipidiques), afin d'estimer plus précisément l'effet des infestations sur la santé et la capacité migratoire des individus.

D. Mettre en œuvre un suivi multi-sites et pluriannuel

L'extension de l'étude à d'autres écosystèmes (lac Tonga, estuaire de Mafragh...) et sur plusieurs années permettrait d'identifier les tendances spatio-temporelles du parasitisme, de la croissance et de l'alimentation, et de proposer des indicateurs de qualité écologique à l'échelle régionale.

E. Intégrer les résultats dans une perspective de gestion et de conservation

Les résultats de cette thèse peuvent alimenter les réflexions sur la gestion durable de l'espèce, en appui aux stratégies de restauration du stock d'anguilles européennes. Une collaboration étroite entre chercheurs, gestionnaires, pêcheurs et décideurs sera nécessaire pour concevoir des mesures de protection adaptées, notamment dans les milieux les plus vulnérables à la dégradation écologique.



Références bibliographiques

A

1. **Acou, A., Lefebvre, F., Contournet, P., Poizat, G., Panfili, J., & Crivelli, A. J. (2003).** A preliminary analysis of the dynamics of metamorphosis in the eel (*Anguilla anguilla*) in the Camargue. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, 368, 55–68.
2. **Alayat, H. (1991).** Les eaux superficielles et la nappe phréatique de la plaine d'Annaba (Doctoral dissertation).
3. **Alayat, H., Kherici, N., & Lamouroux, C. (2009).** Evolution Spatiale De L'envasement Du Lac Oubeira Imposé Par L'érosion (extreme Ne Algerien)[Space evolution of the silting of Oubeira Lake imposed by erosion (extreme Ne Algerian)]. *Le Journal de l'Eau et de l'Environnement*, 8(15), 28-42.
4. **Amaro C., Biosca E.G., Fouz B., Alcaide E. and Esteve C. (1995).** Evidence that water transmits *Vibrio vulnificus* biotype 2 infections to eels. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(3): 1113-137(In DIPNET, 2007).
5. **Amundsen, P.-A., Gabler, H.-M. and Staldvik, F.J. (1996)** A New Approach to Graphical Analysis of Feeding Strategy from Stomach Contents Data—Modification of the Costello (1990) Method. *Journal of Fish Biology*, 48, 607-614. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb01455.x>.
6. **Ancona, u., 1959.** The classification of brackish waters with reference to the north Adriatic lagoons. *Archo Oceanogr. Lirmol.*, 11, Suppl.: 93–109.
7. **Aoki T. (1999).** Motile Aeromonads (*Aeromonas hydrophila*). Woo PTK, Bruno DW (Eds.). *Fish Diseases and Disorders Vol. 3: Viral, Bacterial and Fungal Infections*. 1^o Edition. Oxon,UK: CABI Publishing: 427-53 (In DIPNET, 2007).
8. **Aoyama J, Watanabe S, Nishida M, Tsukamoto K.(2000).** Discrimination of catadromous eel species, genus *Anguilla*, using PCR-RFLP analysis of the mitochondrial 16S rRNA domain. *Trans. Am. Fish. Soc.*; 129: 873–878.
9. **Aoyama, J. (2003).** Origin and evolution of the freshwater eels, genus *Anguilla*. In **Aida, K., Tsukamoto, K., & Yamauchi, K. (Eds.)**, *Eel Biology* (pp. 19–29). Springer-Verlag.:-



10. **Aoyama, J., Hissmann, K., Yoshinaga, T., Sasai, S., Uto, T., & Ueda, H. (1999).** Swimming depth of migrating silver eels *Anguilla japonica* released at seamounts of the West Mariana Ridge, their estimated spawning sites. *Marine Ecology Progress Series*, 186, 265-269.
11. **Auerbach M. 1910:** Die Cnidosporidien (Myxosporidien, Actinomyxidien, Microsporidien). W. Klinkhardt Verlag, Leipzig, 261 pp.
12. **Austin B. and Austin D. A.(1987).** Bacterial Fish Pathogens: Disease in farmed and wild fish.
13. **Austin, B., & Austin, D. A. (1993).** Bacterial fish pathogens (No. Ed. 2). Ellis Horwood Ltd..
14. **Avise, J. C., Nelson, W. S., Arnold, J., Koehn, R. K., Williams, G. C., & Thorsteinsson, V. (1990).** The evolutionary genetic status of Icelandic eels. *Evolution*, 44(5), 1254–1262.

B

15. **Bakaria, F., Belhaoues, S., Djebbari, N., Tahri, M., Ladjama, I., & Bensaad, L. (2018).** Metazoan parasites and health state of european eel, *Anguilla anguilla* (anguilliformes, anguillidae), from Tonga Lake and El Mellah lagoon in the northeast of Algeria. *Vestnik Zoologii*, 52(4), 279-288.
16. **Barcala, E., Lozano, J. L., Arizcun, M., & García-García, B. (2022).** Bioaccumulation of heavy metals in the European eel (*Anguilla anguilla*) and its parasite *Anguillicola crassus* in a Mediterranean lagoon. *Environmental Research*, 203, 111766.
17. **Bardonnet, A., & Riera, P. (2005).** Feeding of glass eels (*Anguilla anguilla*) in the course of their estuarine migration: new insights from stable isotope analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 63(1–2), 201–209.
18. **Bartošová-Sojková P., Hrabcová M., Pecková H., Patra S., Kodádková A., Jurajda P., Týmľ T., Holzer A.S. 2014:** Hidden diversity and evolutionary trends in malacosporean parasites (Cnidaria: Myxozoa) identified using molecular phylogenetics. *Int. J. Parasitol*, 44: 565–577.



19. **Bastrop R., Strehlow B., Jürss K. and Sturmbauer C. (2000).** A new molecular phylogenetic hypothesis for the evolution of freshwater eels. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 14: 250-258.
20. **Baudin-Laurencin F. (1987).** IHN in France. *Bull. Eur Ass Fish Pathol* : 7:104.
21. **Beebe W. and Tee-Van J. (1934).** American fresh-water eels in Bermuda. *Bulletin of the New York Zoological Society*, 37: 181-183.
22. **Belpaire, C., J. M. Pujolar, C. Geeraerts, and G. Maes. (2016).** “Contaminants in Eels and Their Role in the Collapse of the Eel Stocks.” In *Biology and Ecology of Anguillid Eels*, 225–250. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19925-13>.
23. **Benini, E., Bandara, K. A., Politis, S. N., Engrola, S., Nielsen, A., Conceição, L. E., ... & Tomkiewicz, J. (2023).** Exploring first-feeding diets for European eel larval culture: Insights at morphological, nutritional, and molecular levels. *Plos one*, 18(4), e0283680.
24. **BERG 1898: see KUDO R.R. 1919** (KUDO R.R. 1919: *Studies on Myxosporidia. A synopsis on genera and species of Myxosporidia. Ill. Biol. Monogr.* 5: 1–265).
25. **Bergmann S. M., Fichtner D., Skall H. F., Schlotfeldt H. J. and Olesen N. J. (2003).** Age- and weight-dependent susceptibility of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* to isolates of infectious haematopoietic necrosis virus (IHNV) of varying virulence. *Diseases of Aquatic Organisms*; 55: 205-210 (In DIPNET, 2007).
26. **Bertin, L. (1951).** *Les Anguilles*. Payot, Paris.
27. **Bevacqua D., Melia P., Crivelli A., De Leo G.A., and Gatto M., 2006.** Timing and rate of sexual maturation of European eel in brackish and freshwater environments. *J. Fish Biol.*, 69, 200–208.
28. **Bigelow H. B. and Welsh W. W. (1925).** *Fishes of the Gulf of Maine*. *Bulletin of the U. S. Bureau of Fisheries*, 40(1): 78-83.
29. **Birrel, L., Cramb, G., & Hazon, N. (2000).** Osmoregulation during the development of glass eels and elvers. *Journal of Fish Biology*, 56, 1450–1459.
30. **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.
31. **Blanchard, É. (1849).** Description de quelques nématodes nouveaux ou peu



- connus. *Annales des Sciences Naturelles, Zoologie*, 3^e série, 11, 5–49.
32. **Boëtius, 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.
 33. **Boëtius, J., & Harding, E. F. (1985).** A re-examination of Johannes Schmidt's Atlantic eel investigations. *Dana*, 4, 129–162.
 34. **Boisclair D. and Leggett W.C., 1989.** Among-population variability of fish growth: III. Influence of fish community. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46, 1539–1550. [Google Scholar]
 35. **Bonhommeau, S. (2008).** Effets environnementaux sur la survie larvaire de l'Anguille (*Anguilla anguilla*) et conséquences sur le recrutement (Thèse de doctorat, Halieutique).
 36. **Bonhommeau, S., Castonguay, M., Rivot, E., Sabatié, R., & Le Pape, O. (2010).** The duration of migration of Atlantic *Anguilla* larvae. *Fish and Fisheries*, 11(3), 289–306.
 37. **Borgsteede F. H. M., Haenen O. L. M., De Bree J. et Lisitsina O. I. (1999).** Parasitic infections of european eel (*Anguilla anguilla* L.) in the Netherlands. *Helminthologia*, 36: 251- 260.
 38. **Bouazouni, O. (2004).** Parc National d'El Kala: Etude socio-économique du PNEK. *Projet MedMPA, UNEP, MAP, RAC-SPA*.
 39. **Boudjadi, Z. (2010).** État de santé de l'anguille *Anguilla anguilla*, peuplant deux hydrosystèmes de l'extrême nord-est algérien (cas de l'estuaire du Mafrag et du lac Oubeïra) (Thèse de doctorat). Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie.
 40. **Boudjadi, Z., Tahri, M., Djebbari, N., Bensouilah, M. (2008).** Etude de l'infestation des anguilles (*Anguilla anguilla*) par le nématode (*Anguillicola crassus*) dans l'estuaire du Mafrag (Nord Est algérien). *Mésogée*, 64, 41–48.
 41. **Bovo G., Giorgetti G., Jørgensen P. E. V. and Olesen N. J. 1987.** Infectious haematopoietic necrosis: First detection in Italy. *Bull Eur Ass Fish Pathol.*, 7:124.
 42. **Bowen J T and Putz R E 1966 .** Parasites of freshwater fish; IV, Miscellaneous 3. Parasitic Copepod *Argulus*; Bureau Sport Fisheries and Wildlife 3 1–4
 43. **Brand, Th. V. (1937):** Haemoglobin in larval nematode. *J Parasitol*, 23: 225
 44. **Brand, Th. V. (1942):** Factors influencing the oxygen consumption of larval Eustrongylides. *J. Parasitol.*, 28 (6), (suppl)
 45. **Brand, Th. V. (1943):** Influence of temperature, pH and inorganic ions upon the oxygen consumption. *Biol Bull*, 84: 148



46. **Briand, C., Fatin, D., Fontenelle, G., & Feunteun, E. (2005).** Effect of reopening of a migratory axis for eel at a watershed scale (Vilaine river, Southern Brittany). *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, 378, 67–86.
47. **Bruslé, J. (1994).** L'anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, 335, 237–260.
48. **Buchmann K., Møllergaard S. and Koie M. (1987).** Pseudodactylogyrus infections in eel: a review. *Diseases of Aquatic Organisms*, 3: 51-57.
49. **Buchmann, K. (1993).** Épidémiologie et contrôle des infections à Pseudodactylogyrus dans les élevages intensifs d'anguilles : Données actuelles. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, 328, 66–73.
50. **Buller N. B. (2004).** Bacteria from fish and other Aquatic animals: a practical identification manual. CABI publishing, 67-73.
51. **Bullock G. L., Conroy D. A. and Snieszko S. F. (1971).** Septicemic Diseases caused by motile Aeromonads and Pseudomonads. Snieszko S.F., Axelrod H.R. (eds). *Diseases of fishes Book 2a: Bacterial diseases in fishes*. Neptune, New Jersey: T.F.H. Publications: 21-41 (In DIPNET, 2007).
52. **Bütschli o. 1882:** Myxosporidia. In: Bronn's Klassen und Ordnungen des Tierreichs. 1. Protozoa, Second Edition. C.F. Winter, Leipzig, pp. 590–603. CANNING E.U., CURRY A., ANDERSON C.L., OKAMURA B. 1999a: Ultrastructure of *Myxidium trachinorum* sp. nov. from the gallbladder of the lesser weever fish *Echiichthys vipera*. *Parasitol. Res.* 85: 910–919

C

55. **Cable RM, Hunninen AV, 1942.** Studies on *Deropristis inflata* (Molin), its life history and affinities to trematodes of the family Acanthocolpidae. *Biological Bulletin* 82:292-312.
56. **Cairns, A.J.G., Blake, D., Dowd, K., Coughlan, G.D., Epstein, D., Ong, A. and Balevich, I. (2009)** A quantitative comparison of stochastic mortality models using data from England and Wales and the United States. *North American Actuarial Journal*, 13, 1–35.



57. **Carus, J.V. (1863).** Coelenteraten. In: *Handbuch der zoologie*. W. C. J. Peters, J. V. Carus and C. E. A. Gerstaecker. Leipzig, W. Engelmann. Bd.2: 518-562. , available online at <https://www.biodiversitylibrary.org/page/1092449>.
58. **Castric J. and Chastel C. (1980).** Isolation and characterization attempts of three viruses from European eel, *Anguilla anguilla*: preliminary results. *Annals of Virology*, 131E : 435- 448 (In DIPNET, 2007).
59. **Castric J., Jeffroy J., Bearzotti M., de Kinkelin P. (1992).** Isolation of viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) from wild elvers *Anguilla anguilla*. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 12: 21–23 (In DIPNET, 2007).
60. **Cépède C. 1906:** Myxidium giardi Cépède, et la prétendue immunité des Anguilles à l'égard des infections myxosporidiennes. *C. R. Séances Soc. Biol. Fil.* 6: 170–173 .
61. **Chabet Dis, C., Kara, F. Z. T., Bouamama, S., Sahra, F., & Boucena, M. A. (2022).** Eco-biological Study of the Mosquitofish *Gambusia affinis* from Oubeira lake. *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 11(2), 201-209.
62. **Charles, E. P., & Géry, J. (1968).** Parasites des poissons du Gabon — généralités sur les trématodes monogénétiques et description de six nouvelles espèces parasites du genre *Barbus*. *Biologia Gabonica*, IV(1).
63. **Ciccotti, B. E., Macchi, E., Rossi, A., Cataldi, E., & Cataudella, S. (1993).** Glass eel (*Anguilla anguilla*) acclimation to freshwater and seawater: morphological changes of the digestive tract. *Journal of Applied Ichthyology*, 9(2), 74-81.
65. **Ciccotti, E. & Fontenelle, G. 2001.** A review of eel *Anguilla anguilla* aquaculture in Europe: perspectives for its sustainability. *Journal of taiwan fisheries research* 9: 27–43.
66. **Cobbold, T. S. (1876).** Trematode parasites from the dolphins of the Ganges, *Platanista gangetica* and *Orcella brevirostris*. *Journal of the Linnean Society of London, Zoology*. 13 (65): 35–46., available online at <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1876.tb00942.x>
67. **Cobbold, T. S. (1879).** Parasites: a treatise on the Entozoa of man and animals including some account of the Ectozoa. J. & A. Churchill.
68. **Cooper, A. (1918).** under the direction of Henry B. Ward, No. 95. *The Journal of Parasitology*, 4, 33.
69. **Cooper, A. R., Powers, E. B., Faust, E. C., & Higley, R. (1919).** The Goldfish (*Carassius Carassius*) as a Test Animal in the Study of Toxicity (Vol. 4). University of Illinois.



70. **Copland J.W. 1982:** Myxobolus dermatobia (Ishii, 1915) infection of wild eels, *Anguilla anguilla* L., in England. *J. Fish Dis.* 5: 549–552.

D

71. **DAHL, E. 1956.** Ecological salinity boundaries in poikilohaline waters. *Oikos* 7: 1— 31.
1959. Intertidal ecology in the terms of poikilohalinity. *Archo Oceanogr. Limnol.* 11
Suppl.: 227—237.
72. **Daverat F, Tomas J (2006)** Tactics and demographic attributes of the European eel (*Anguilla anguilla*): the case study of the Gironde watershed (Southwest France). *Marine Ecology Progress Series* **307**, 247-257.
73. **Daverat, F., Limburg, K. E., Thibault, I., Shiao, J. C., Dodson, J. J., Caron, F., & Jessop, B. M. (2006).** Phenotypic plasticity of habitat use by three temperate eel species, as revealed by otolith microchemistry. *Marine Ecology Progress Series*, 308, 231–241.
<https://doi.org/10.3354/meps308231>
74. **Davidse A., Haenen O. L. M., Dijkstra S. G., van Nieuwstadt A. P., van der Vorst T. J. K., Wagenaar F. and Wellenberg G. J. (1999).** First isolation of herpes virus of eel (*Herpesvirus anguillae*) in diseased European eel (*Anguilla anguilla* L.) in Europe. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.*, 19:137-141.
75. **Davies R. L., Frerichs G. N. (1989).** Morphological and biochemical differences among isolates of *Yersinia ruckeri* obtained from wide geographical areas. *Journal of Fish Diseases*, 12: 357-365 (In DIPNET, 2007).
76. **De Charleroy, D., Philippart, J. C., & Rurangwa, E. (1987).** Production of glass eels (*Anguilla anguilla*) under hatchery conditions. *Fisheries Management*, 18(4), 213–220.
(approximatif – à confirmer selon accès au texte)
77. **Deelder C. L. (1960).** The Atlantic eel problem. *Nature*, 185: 589-592.
78. **Deelder C. L. (1984).** Synopsis of biological data on the eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758).
79. **Degani, G. and Dosoretz, C. (1986).** The effect of 3,3',5, triiodo L-thyronine and 17 I



- methytestosterone on growth and body composition of the glass stage of the eel *Anguilla anguilla* (L.). *Fish Physiol. Biochem.*, 1:145–151.
80. **Dekker, W. (1998).** Long-term trends in the glass eels immigrating at Den Oever, the Netherlands. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 349, 199–214. <https://doi.org/10.1051/kmae:1998035>
81. **Dekker, W. (1998).** Long-term trends in the glass eels immigrating at Den Oever, the Netherlands. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 349, 199–214.
82. **Dekker, W. (2003).** Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*? *Fisheries Management and Ecology*, 10, 365–376.
83. **Dekker, W. (2003a).** Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*? *Fisheries Management and Ecology*, 10(6), 365–376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2003.00355.x>
84. **Dekker, W. (2003b).** Status of the European eel stock and fisheries. In D. A. Dixon (Ed.), *Biology, Management, and Protection of Catadromous Eels* (pp. 237–254). Bethesda, MD: American Fisheries Society, Symposium 33.
85. **Dekker, W. (2003c).** On the distribution of the stock of the European eel (*Anguilla anguilla*). *ICES Scientific Reports*, 2003/AFTC:03, 1–10. (Pas de DOI, publication institutionnelle)
86. **Dekker, W., & Beaulaton, L. (2016).** Faire Mieux que La nature? The history of eel restocking in Europe. *Environment and History*, 22, 255–300.
87. **DERBAL, F., & ARIBA, S. (2024).** Composition and variations diet of the European eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) in Tonga Lake, North-East Algeria.
88. **Derouiche, E. (2016).** Étude parasitologique de l’anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans le lac Oubeira (PNEK) (Mémoire de Magistère). Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
89. **Di Cave, D., Berrilli, F., De Liberato, C., Orecchia, P., & Kennedy, C. R. (2001).** Helminth communities in eels *Anguilla anguilla* from Adriatic coastal lagoons in Italy. *Journal of Helminthology*, 75, 7–14.
90. **Dijkstra, L. H., & Jellyman, D. J. (1999).** Is the subspecies classification of the freshwater eels *Anguilla australis australis* and *A. a. schmidtii* still valid? *Marine Freshwater Research*, 50, 261–263.



91. **DIPNET (2007)**. Review of disease interactions and pathogen exchange between farmed and wild finfish and shellfish in Europe. Editors: R. Raynard, Th. Wahli, L. Vatsos, S. Mortensen. Published by VESO, Norway. 459 p.
92. **Djebbari, N., Benajiba, M. H., & Bensouilah, M. (2009)**. Parasitisme chez *Anguilla anguilla* dans la lagune Mellah (PNEK - Algérie). *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 6, 147–150.
93. **Dufour, S., & Fontaine, Y. A. (1985)**. The reproductive migration of the European eel (*Anguilla anguilla*) – the probable importance of hydrostatic pressure in stimulation of the gonadotropic function. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 110, 291–299.
94. **Dupont F. et Petter A. J. 1988**. Note ichtyologique : *Anguillicola*, une épizootie plurispécifique en Europe, apparition de *Anguillicola crassa* (Nematoda, Anguillicolidae) chez l'anguille européenne *Anguilla anguilla* en Camargue, Sud de la France. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 308, 38-41.
95. **Durif C., Gjøsæter J. and Vøllestad L. A. (2011)**. Influence of oceanic factors on *Anguilla anguilla* (L.) over the twentieth century in coastal habitats of the Skagerrak, southern Norway. *Proceeding of the Royal Society, B* 278: 464-473.
96. **Durif, C. (2003)**. La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : Caractérisation des fractions dévalantes, phénomènes de migration et franchissement des obstacles (Thèse de doctorat). Université de Toulouse II.
97. **Durif, C., Dufour, S., & Elie, P. (2005)**. The silvering process of the eel: A new classification from the yellow resident stage to the silver migrating stage. *Journal of Fish Biology*, 66, 1–19.
98. **Durif, C., Elie, P., & Gosset, C. (2000)**. Migration des anguilles argentées dans l'estuaire de l'Adour : caractéristiques et franchissement des barrages. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 357–360, 395–414.
99. **Dzido J, Rolbiecki L, Izdebska JN, Bednarek R (2020)** Checklist of the parasites of European eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758) (Anguillidae) in Poland. *Biodiversity Data Journal* 8: e52346. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e52346>

E

100. **Edeline, E., Bardonnnet, A., Bolliet, V., Dufour, S., & Elie, P. (2005a)**. Endocrine



- control of *Anguilla anguilla* glass eel dispersal: Effect of thyroid hormones on locomotor activity and rheotactic behavior. *Hormones and Behavior*, 48, 53–63.
101. **Edeline, E., Dufour, S., & Elie, P. (2005b)**. Role of glass eel salinity preference in the control of habitat selection and growth plasticity in *Anguilla anguilla*. *Marine Ecology Progress Series*, 304, 191–199.
102. **EELREP (2005)**. Estimation of the reproduction capacity of European eel. Final report, EU contract Q5RS-2001-01836, 272 p.
103. **Ege, V. (1939)**. A revision of the genus *Anguilla* Shaw: A systematic, phylogenetic and geographical study. Bianco Luno A/S, Copenhagen.
104. **Elie, P. (1999)**. Migration et dynamique de la population d'anguilles (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de la Loire. Rapport CEMAGREF. (Source à préciser selon ton document)
105. **Elie, P., & Gérard, P. (2009)**. Effets des micropolluants et des organismes pathogènes chez l'Anguille européenne *Anguilla anguilla* L. 1758. Collection Étude CEMAGREF, N° 128.
106. **Elie, P., & Rochard, E. (1994)**. Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 335, 81–98.
107. **Elie, P., Lecomte-Finiger, R., Cantrelle, R., & Charlon, N. (1982)**. Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla*. *Vie et Milieu*, 32(3), 149–157.
108. **Elson P. F. (1957)**. Using hatchery-reared Atlantic salmon to best advantage. *Canadian Fish Culturist*, 21: 7-17.
109. **Emlen J. M., Freeman D. C., Bain M. B. and Li J. (1992)**. Interaction assessment II: A tool for population and community management. *Journal of Wildlife Management*, 56(4): 708- 717.
110. **Engstrom-Heg R. and Loeb H. A. (1971)**. Recolonization of a rotenone-treated segment of the Ten Mile River. *New York Fish and Game Journal*, 18(2): 135-138.
111. **Enzmann P. J., Dangschat H., Feneis B., Schmitt D., Wizigmann G. and Schlotfeldt H. J. (1992)**. Demonstration of IHN virus in Germany. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* 12: 185 (In DIPNET, 2007).



112. **Enzmann, P. J., Kurath, G., Fichtner, D., & Bergmann, S. M. (2005).** Infectious hematopoietic necrosis virus: monophyletic origin of European isolates from North American genogroup M. *Diseases of Aquatic Organisms*, 66(3), 187-195.
113. **Esteve, A., García-Román, J., & Permanyer, I. (2006).** The End of Hypergamy: Global Trends and Implications. *Population and Development Review*, 32(4), 575–589. <https://doi.org/10.1111/j.1728-4457.2006.00139.x> Centre d'Estudis Demogràfics
114. **Eszterbauer E., Atkinson S., Diamant A., Morris D., El-Matbouli M., Hartikainen H. 2015:** Myxozoan life cycles: practical approaches and insights. In: B. Okamura, A. Gruhl and J.L. Bartholomew (Eds.), *Myxozoan Evolution, Ecology and Development*. Springer International Publishing, Cham, pp. 175–198.

F

115. **Fahay, M. P. (1978).** Biological and fisheries data on American eel *Anguilla rostrata* LeSueur. NOAA Technical Series Report No. 17, U.S. National Marine Fisheries Service, Sandy Hook Laboratory, 82 p.
116. **Fahay, M. P. (1978).** Biological and fisheries data on American eel, *Anguilla rostrata* LeSueur. U.S. National Marine Fisheries Center, Sandy Hook Laboratory, New Jersey, NOAA Technical Series Report No. 17, 82 p.
117. **Fazio, G. (2009).** Épidémiologie et biologie du parasite invasif *Anguillicola crassus* (Nematoda) et son impact sur la physiologie de son hôte, l'anguille européenne, *Anguilla anguilla* (Thèse de doctorat). Université de Perpignan, France.
118. **Fazio, G., Lecomte-Finiger, R., Bartrina, J., Moné, H., & Pascal, P. (2005).** Macroparasite community and asymmetry of the yellow eel *Anguilla anguilla* in Salses-Leucate lagoon, Southern France. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, 378–379, 99–113.
119. **Feist, S.W., Longshaw, M. (2008):** Histopathology of fish parasite infections – importance. *J Fish Biol*, 73: 2143 – 2160. DOI: 10.1111/j.1 095-8649.2008.02060.x.
120. **Ferrando M. D., Sancho E. and Andreu-Moliner E. (1991).** Comparative acute toxicities of selected pesticides to *Anguilla anguilla*. *Journal of Environmental Science Health*, B26: 491-498.



121. **Feunteun, E. (2002).** Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. *Ecological Engineering*, 18(5), 575–591.
122. **Fillipi J. J. (2013).** Etude parasitologique de *Anguilla anguilla* dans deux lagunes de Corse et étude ultra-structurale du tégument de trois digènes parasites de cette anguille. Thèse de doctorat, Université de Corse, 157 p. Fish physiology, III. Academic Press, New York...
123. **Folkvord, A., & Mosegaard, H. (2002).** Croissance et analyse de la croissance. In **Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., & Wright, P. J. (Eds.),** Manuel de Sclérochronologie des poissons (pp. 146–166). Co-édition Ifremer–IRD.
124. **Fontaine Y. A., Dufour S., Alinat J., Lelouphatley J. and Querat B. (1987).** Deep-sea immersion, gonadotropin, and sex steroids in the European Eel (*Anguilla anguilla* L.). *General and Comparative Endocrinology*, 66: 27-28.
125. **Fontaine, M., Delerue-Le Belle, N., Lallier, F., & 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 de Paris, Série III*, 294, 809–811.
126. **Fontaine, Y. A. (1994).** L'argenteure de l'anguille : métamorphose, anticipation, adaptation. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 335, 171–185.
127. **Franceschini, R. et al. (2022).** Five-years management of an emerging parasite risk (*Eustrongylides* sp., Nematoda) in a fishery supply chain located on Trasimeno Lake (Italy). *Food Control*, 149, 109699.
128. **Freeman M.A., Kristmundsson Á. 2018:** Studies of *Myxidium giardi* Cépède, 1906 infections in Icelandic eels identifies a genetically diverse clade of myxosporeans that represents the *Paramyxidium* n. g. (Myxosporea: Myxidiidae). *Parasit Vectors* 11: 1–13.
129. **Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2024).** FishBase. *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=126281> .

G

130. **Gargouri Ben Abdallah, L., & Maamouri, F. (2006).** Spatio-temporal dynamics of the nematode *Anguillicola crassus* in Northeast Tunisian lagoons. *Comptes Rendus de Biologie*, 329, 785–789.



131. **Gascuel, D. (1986).** Modélisation de la croissance de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans les étangs littoraux méditerranéens. *Aquatic Living Resources*, 1, 23–34.
132. **Girard P. (2007).** Evaluation du statut sanitaire des civelles de Méditerranée- Campagne d'Etudes 2006. Plan Migrateurs Rhône-Méditerranée (MRM), 24 p.
133. **Girard P. et Lefebvre F. (2001).** Atelier pathologie - Compte-rendu de la séance du vendredi 29 juin 2001 - Station Biologique de la Tour du Valat, (13) : 37 p.
134. **Godfrey H. (1951).** A report on the eel investigations for 1950-51. Fisheries Research Board of Canada, Manuscript Reports of the Biological Stations No. 439. 38 p.
135. **Godfrey H. (1957).** Feeding of eels in four New Brunswick salmon streams. Fisheries Research Board of Canada, Progress Report of the Atlantic coast stations, 67: 19-22.
136. **Goeze, J. A. E. (1782).** Versuch einer Naturgeschichte der Eingeweidewürmer thierischer Körper (Vol. 1). Gedruckt bey Philipp Pape, Fürstl. privilegirtem Buchdrucker.
137. **GRISAM (2006).** Connaissance, outils et méthodes pour la mise en place de plans de gestion de l'anguille (*A. anguilla*) dans les bassins versants français. Rapport d'expertise scientifique et technique du Groupe "Anguille" du GIS Poissons Amphihalins (GRISAM). 82 p. + annexes.
138. **Guagliardo, S., Viozzi, G., Brugni, N. (2019):** Pathology associated with larval *Eustrongylides* sp. (Nematoda: Dioctophymatoidea) infection in *Galaxias maculatus* (Actinopterygii: Galaxiidae) from Patagonia, Argentina. *Int J Parasitol Parasites Wildl*, 10: 113-116. DOI: 10.1016/j.ijppaw.2019.08.004
139. **Guelorget O., Frisoni G.F., Ximenes M.C., Perthuisot J.P., 1989.** Expression biologique du confinement dans une lagune méditerranéenne: le lac Mellah (Algérie). *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, 22: 87-99.
140. **Guelorget O., Perthuisot J.P., 1983.** Le domaine paralique: expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Travaux du Laboratoire de Géologie, Presses de l'ENS, Paris*, 136 pp.



141. **Gyllensten U. (1985).** The genetic structure of fish: differences in the intraspecific distribution of biochemical genetic variation between marine, anadromous, and freshwater species. *Journal of Fish Biology*, 26: 691-699.

H

142. **Haenen O. L. M., Dijkstra S. G., van Tulden P. W., Davidse A., van Nieuwstadt A. P., Wagenaar F., Wellenberg G. J. (2002).** Herpesvirus anguillae (HVA) isolations from disease out breaks incultured European eel, *Anguilla anguilla* in The Netherlands since 1996. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathology*, 22(4): 247-257 (In DIPNET, 2007).
143. **Haenen O. L. M., van Tulden P. W., Dijkstra S. G., Davidse A., Wagenaar F., Botter A., Basavarajappa H. N. and van Nieuwstadt A. P. (2001).** Viruses isolated from European eel, *Anguilla anguilla* L. in The Netherlands from 1986-2001. Abstract of poster, EAAP Conference, Sept. 2001, Dublin, Ireland (In DIPNET, 2007).
144. **Hartikainen H., Bass D., Briscoe A.G., Knipe H., Green A.J., Okamura B. 2016:** Assessing myxozoan presence and diversity using environmental DNA. *Int. J. Parasitol.* 46: 781–792.
145. **Hazen T. C., Raker M. L., Esch G. W. and Fliermans C. B. (1978).** Ultrastructure of red-sore lesions on large mouth bass (*Micropterus salmoides*); association of the ciliate *Epistylis* sp. and the bacterium *Aeromonas hydrophila*. *Journal of Protozoology*, 25: 351-355 (In DIPNET, 2007).
146. **Helfman G. S. and Clark J. B. (1986).** Rotational feeding : overcoming gape-limited foraging in anguillid eels. *Copeia*, 1986: 679-685.
147. **Helfman, G. S. & Winkelman, D. L. (1991).** Energy trade-offs and foraging mode choice in american eels. *Ecology* 72, 310–318.
148. **Helfman, G. S. (1995).** Spinning for their supper. *Natural History*, 104(5), 26–29.
149. **Helfman, G. S., Facey, D. E., Hales Jr., L. S., & Bozeman Jr., E. L. (1987).** Reproductive ecology of the American eel. *American Fisheries Society Symposium*, 1, 42–56.
150. **Hildebrand S. F. and Schroeder W. C. (1928).** Fishes of Chesapeake Bay. *Bulletin of the U. S. Bureau of Fisheries*. Part 1, Report for 1927, 43(1): 111-115.
151. **Hofer B. (1904).** *Handbuch der Fisch Krankheiten*. Verlag des Allgemeine Fisherei Zeitung, Munich (In DIPNET, 2007).



152. **Hoff K. (1989).** Survival of *V. anguillarum* and *V. salmonicida* at different salinities. *Applied and Environmental Microbiology*, 55: 1775-1786 (In DIPNET, 2007).
153. **Holmgren, K. (1996).** Otolith growth scaling of the eel, *Anguilla anguilla* (L.) and back-calculation errors revealed from alizarin labelled otoliths. *Nordic Journal Freshwater Research* 72, 71–79.
154. **Honcharov S. L., Soroka N.M., Dubovyi A.I..** Seasonal dynamics of infection of predatory fish species by nematodes *Eustrongylides excisus* (Nematoda: Dioctophymatidae) in the Dnieper-Bug Estuary and the Dnieper Delta. *Anim Biol.* **2017**;19(4):16–23. doi: 10.15407/animbiol19.04.016.
155. **Hulet, W. H., & Robins, C. R. (1989).** The evolutionary significance of the leptocephalus larva. In **Böhlke, E. B. (Ed.)**, *Fishes of the Western North Atlantic* (Vol. 2, pp. 669–677). Sears Foundation for Marine Research, New Haven.

I

156. **ICES (2009a).** Report of the Study Group on Anguillid Eels in Saline Waters (SGAESAW). CM/DFC:06. Available at <http://www.ices.dk/sites/pub/CM%20Documents/CM-2009/DFC/SGAESAW09.pdf/>
157. **ICES (2009b).** Workshop on Age Reading of European and American Eel (WKAREA). CM 2009\ACOM:48. Available at <https://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2009/WKAREA/WKAREA%202009.pdf/>
158. **ICES-advice, (2000).** ‘Report of the ICES Advisory Committee on Fishery Management, 2000’. International Council for the Exploration of the Sea, ICES cooperative research report N° 246: 819–28.
159. **Imbert, H., Durif, C., & Elie, P. (2010).** Movement patterns of silver eels in an obstructed river system. *Ecology of Freshwater Fish*, 19(1), 100–111.
160. **Inglis V., Roberts R. J. and Bromage N. R. (1993).** Chapter 12, Streptococcal Infections.



161. **Inoue J. G., Miya M., Miller M. J., Sado T., Hanel R., Hatooka K., Aoyama J., Minegishi M., Nishida M. and Tsukamoto K. (2010).** Deep-ocean origin of the freshwater eels. *Biology Letters*, 6: 363–366.
162. **Inoue, J. G., Miya, M., Miller, M. J., Sado, T., Hanel, R., Hatooka, K., Aoyama, J., Minegishi, M., Nishida, M., & Tsukamoto, K. (2010).** Deep-ocean origin of the freshwater eels. *Biology Letters*, 6, 363–366.

J

163. **Jackman, S., Tahk, A., Zeileis, A., Maimone, C., Fearon, J., Meers, Z., ... & Imports, M. A. S. S. (2015).** Package ‘pscl’. Political Science Computational Laboratory, 18(04.2017).
164. **Jacob E., Bremen H.B. 1953:** Eine bislang unbekannte Sphaerosporose des Flussaals, hervorgerufen durch *Sphaerospora reichenowi* nova species. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 66: 326–8.
165. **Jacobsen, M. W., Smedegaard, L., Sørensen, S. R., Pujolar, J. M., Munk, P., Jónsson, B., Magnussen, E. & Hansen, M. M. (2017).** Assessing pre and post-zygotic barriers between North Atlantic eels (*Anguilla anguilla* and *A. rostrata*). *Heredity* 2016, 1–10. <https://doi.org/10.1038/hdy.2016.96>
166. **Jacoby, D., & Gollock, M. (2014).** *Anguilla anguilla*. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.2. <http://www.iucnredlist.org/details/60344/0>
167. **Jägerskiöld, L.A. (1909):** Zur Kenntnis der Nematoden-Gattungen Eustrongylides und Hystrichis [About the nematode genera Eustrongylides and Hystrichis]. *Nova acta R. Soc. Sci. Upsaliensis*, ser. 4 v. 2: 48p. (In German)
168. **Jakob, E., Möller, K., Frankowski, J., & Knopf, K. (2009b).** Parasite fauna of European eel in German waters. *Journal of Helminthology*, 83(4), 361–371.
169. **Jegstrup, I. M., & Rosenkilde, P. (2003).** The role of hormones in silvering of the European eel: Regulation by thyroxine and cortisone. *Fish Physiology and Biochemistry*, 28(1–4), 389–390.
170. **Jellyman, J. (1989).** Diet of two species of freshwater eel (*Anguilla* spp.) in Lake Pounui, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 23, 1–10.
171. **Jenkins, R. E., & Jenkins, D. J. (1980).** Reproductive behavior of the Greater



- redhorse, *Moxostoma valenciennesi*, in the Thousand Islands Region. Canadian Field-Naturalist, 94(4), 426–430.
172. **Jones A, Bray RA, Gibson DI (eds), 2005.** Keys to the Trematoda, Vol. 2. ©CAB International and The Natural History Museum, London. 745 p.
173. **Jordan D. S. and Evermann B. W. (1896).** The fishes of North and Middle America. Bulletin of the U. S. National Museum, No. 47, Part 1. p. 346-348. 1240 p.
174. **Jorgensen P. E. V. et al., (1994).** The occurrence of virus infections in elvers and eels (*Anguilla anguilla*) in Europe with particular reference to VHSV and IHNV. Aquaculture, 123: 11-19 (In DIPNET, 2007). Journal of Fisheries Research Board of Canada, 23(7): 1101-1105.
175. **Jørgensen et al 2006 ApJ 645 1246** ; the spitzer c2d survey of large, nearby, interstellar clouds. iii. perseus observed with irac

K

176. **Kajihara T (1988)** . Distribution of *Anguilla japonica leptocephali* in Western Pacific during September 1986. Bull Jpn Soc Sci Fish 54(6):929-933
177. **Kaneko, T., Hasegawa, S., & Sasai, S. (2003).** Chloride cells in the Japanese eel during their early life stages and downstream migration. In **Aida, K., Tsukamoto, K., & Yamauchi, K. (Eds.)**, Eel Biology (pp. 457–468). Springer, Tokyo.
178. **Kanev I, Dezfuli BS, Nestorov M, Fried B, 1999.** Scanning electron microscopy of the collar region of *Deropristis inflata* and *Echinostoma revolutum*. Journal of Helminthology 73:51-57
179. **Kanno T., Nakai T. and Muroga K. (1989).** Mode of transmission of vibriosis among ayu *Plecoglossus altivelis*. Journal of Aquatic Animal Health, 1(1): 2-6.
180. **Kennedy C. R. (1983).** General ecology. In ecology of the Eucestoda (I), Academic press. Inc. (London) LTD, 27-80.
181. Kennedy C. R. 1974. A checklist of British and Irish freshwater fish parasites with notes on their distribution. J. Fish Biol. 6: 613–644.
182. **Kennedy, C. R., & Di Cave, D. (1998a).** *Gyrodactylus anguillae* (Monogenea): The story of an appearance and a disappearance. Folia Parasitologica, 45, 77–78.
183. **Kennedy, C. R., & Fitch, D. J. (1990).** Colonization, larval survival and



- epidemiology of *Anguillicola crassus* in eels in Britain. *Journal of Fish Biology*, 36(1), 117–131. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb05929.x>
184. **Kennedy, C. R., Berrilli, F., Di Cave, D., De Liberato, C., & Orecchia, P. (1998b).** Composition and diversity of helminth communities in eels *Anguilla anguilla* in the river Tiber: Long-term changes and comparison with insular Europe. *Journal of Helminthology*, 72, 301–306.
 185. **Kennedy, C. R., Di Cave, D., Berrilli, F., Orecchia, P. (1997).** Composition and structure of helminth communities in eels *Anguilla anguilla* from Italian coastal lagoons. *Journal of Helminthology*, 71, 35–40.
 186. **Kettle A. J., Heinrich D., Barrett J. H., Benecke N. and Locker A. (2008).** Past distributions of the European freshwater eel from archaeological and palaeontological evidence. *Quaternary Science Reviews*, 27: 1309-1334.
 187. **Kirk, R. S., Kennedy, C. R., Lewis, J. W. (2000).** Effect of salinity on hatching, survival and infectivity of *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea) larvae. *Dis. Aquat. Organ.* 40, 211–218.
 188. **Knutsen, H. R., Sørensen, S. R., Munk, P., Bardal, T., & Kjørsvik, E. (2021).** Digestive tract and the muscular pharynx/esophagus in wild leptocephalus larvae of European eel (*Anguilla Anguilla*). *Frontiers in Marine Science*, 8, 545217.
 189. **Koie, M. (1988).** Parasites in European eels, *Anguilla anguilla* (L.) from Danish freshwater, brackish and marine localities. *Ophelia*, 29, 93–118.
 190. **Kölreuter, J. G. (1771).** Vorläufige Nachricht von einigen das Geschlecht der Pflanzen betreffenden Versuchen und Beobachtungen. Karlsruhe: Gedruckt bey Johann Michael Macklot.
 191. **Kracht R. and Tesch F. W. (1981).** Progress report on the eel expedition of R.V. ‘AntonDohrn’ and R.V. ‘Friedrich Heincke’ to the Sargasso Sea 1979. *Environmental Biology of Fishes*, 6(3/4): 371-375.
 192. **Kuwahara, A., Niimi, A., & Itakaki, H.(1974).** Studies on a nematode parasitic in the air bladder of the eel. 1. Description of *Anguillicola crassus* sp. (Philometridea, Anguillicolidae). *Japanese Journal of Parasitology*, 23(5), 275–279.
 193. **Kuwahara, A., Niimi, T., & Itagaki, H. (1974).** Observations on *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea) parasitic in the air bladder of the eel. *Japanese Journal of Parasitology*, 23, 275–278.



L

194. **Ladjama, I. (2016).** Facteurs environnementaux et qualités organoleptiques des anguilles du complexe des zones humides du PNEK (Doctoral dissertation, Badji Mokhtar University, Annaba).
195. **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
196. **Laffaille P., Lafage D., Aubert C. et Feunteun E. (2003a).** Organisationspatiale et évaluation de l'état des stocks d'anguilles du bassin versant de l'aulne: bilan de la première année d'investigation. **Fédération de pêche, Rennes.**
197. **Larsen J. L., Pedersen K. and Dalsgaard L. (1994).** *Vibrio anguillarum* serovars associated with vibriosis in fish. *Journal of Fish Diseases*, 1: 259-267 (In DIPNET, 2007).
198. **Leach, W.E. (1819).** Entomostracés, Entomostraca. In: Dictionnaire des Sciences Naturelles, etc. 14:524-543. page(s): 535 .
199. **Lecomte-Finiger R. (1983).** Modifications morphométriques et énergétiques au cours de la pigmentation de la civelle transparente d'*Anguilla anguilla*. (L. 1758). *Vie et Milieu*, 33: 87-92.
200. **Lecomte-Finiger, R. (1990).** Métamorphose de l'anguille jaune en anguille argentée *Anguilla anguilla* L. et sa migration catadrome. *Annales de Biologie*, 29, 183–194.
201. **Lecomte-Finiger, R., Maunier, C., & Khafif, M. (2004).** Les larves leptocéphales, ces méconnues. *Cybium*, 28(2), 83–95.
202. **Lee N. S., Kobayashi J. and Miyazaki T. (1999).** Gill filament necrosis in farmed Japanese eels, *Anguilla japonica* (Temminck & Schlegel), infected with *Herpesvirus anguillae*. *Journal of Fish Diseases*, 22: 457-463 (In DIPNET, 2007).
203. **Lefebvre A., 2001:** article “ Internet culturel ” in Dictionnaire des politiques culturelles (E. de Waresquiel, dir.), Paris, Larousse.
204. **Lefebvre, F., Acou, A., & Crivelli, A. J. (2012).** Silvering and downstream migration of eels in Mediterranean wetlands. *Hydrobiologia*, 686(1), 23–36.
205. **Lefebvre, F., Acou, A., Poizat, G., & Crivelli, A. J. (2002b).** Influence of



- environmental variables on migration of silver eels in a large Mediterranean catchment. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 364 suppl., 95–110.
206. **Lefebvre, F., Fournier, J., & Crivelli, A. J. (2002a).** Spawning migration of *Anguilla anguilla* silver eels in a Mediterranean coastal lagoon: the impact of obstacles. Ecology of Freshwater Fish, 11, 234–241.
207. **Lehmann J., Mock D., Stürenberg F.J. and Bernardet J. F. (1991).** First isolation of *Cytophagapsychrophila* from a systemic disease in eel and cyprinids. Diseases of Aquatic Organisms, 10: 217-220.
208. **Lenth, R., & Lenth, M. R. (2018).** Package ‘lsmeans’. The American Statistician, 34(4), 216-221.
209. **Lesel R., Lesel M., Gavini F. and Vuillaume A., (1983).** Outbreak of enteric redmouth disease in rainbow trout, *Salmo gairdneri* in France. Journal of Fish Diseases, 6:385-387 (In DIPNET, 2007).
210. **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.
211. **Levins R. (1968).** Evolution in changing environments. Princeton University Press, Princeton, New York.
212. **Lin YS, Poh YP, Tzeng CS (2001) A.** phylogeny of freshwater eels inferred from mitochondrial genes.
213. **Linnaeus, C. (1758).** Systema Naturae (10e éd., Vol. 1). Holmiae: Laurentii Salvii.
214. **Linné, C. (1758).** Systema Naturae per Regna Tria Naturae. Stockholm: Laurentii Salvii.
215. **Lisnerová M., Holzer A., Blabolil P., Fiala I. 2023:** Evaluation and optimization of an eDNA metabarcoding assay for detection of freshwater myxozoan communities. Environ. DNA 5: 312–325.
216. **Lobón-Cerviá J., Utrilla C. G. and Rincón P. A. (1995).** 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.
217. **Lom j., Molnár k., Dyková i. 1986:** *Hoferellus gilsoni* (Debaissieux, 1925) comb. n. (Myxozoa, Myxosporidia): redescription and mode of attachment to the epithelium of the urinary bladder of its host, the European eel. Protistologica 22: 405–413 .



M

218. **Maillo, P. A., Salvado, H., Gracia, M. P., & Marques, A. (2000).** Parasite fauna on the European eel, *Anguilla anguilla* L., 1758, in the Natural Park of the Ebro Delta, West Mediterranean. 38e meeting annuel du groupement des protistologues de langue française, Paris, France.
219. **Mann R. H. K. and Blackburn J. H. (1991).** The biology of the eel *Anguilla anguilla* (L.) in an English chalk stream and interactions with juvenile trout *Salmo trutta* L. and salmon *Salmo salar* L. *Hydrobiologia*, 218: 65-76.
220. **Marchelidon, J., The Belle, N., Hardy, A., Vidal, B., Sbaihi, M., Burzawa-Gerard, E., Schmitz, M., & Dufour, S. (1999).** Étude des variations de paramètres anatomiques et endocriniens chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) femelle, sédentaire et d'avalaison : Application à la caractérisation du stade argenté. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 355, 349–368.
221. **Marco-Noales E., Milan M., Fouz B., Sanjuan E. and Amaro C. (2001).** Transmission to Eels, portals of entry, and putative reservoirs of *Vibrio vulnificus* Serovar E (Biotype 2). *Applied Environmental Microbiology*, 67(10): 4717-4725 (In DIPNET, 2007).
222. **McCleave J. D. and Harden-Jones F. R. (1979).** Eels: new interest in an old problem. *Nature*, 278: 782-783.
223. **McCleave, J. D., & Kleckner, R. C. (1982).** Selective tidal stream transport in the estuarine migration of glass eels of the American eel (*Anguilla rostrata*). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 62(1), 149–157.
224. **McCleave, J. D., Kleckner, R. C., & Castonguay, M. (1987).** Reproductive sympatry of American and European eels and implications for migration and taxonomy. *American Fisheries Society Symposium*, 1, 286–297.
225. **MEDDOUR, A., & BOUDERDA, K. (2011).** Biodiversité et développement piscicole au lac Oubeira (Parc National el Kala–Algérie). INOC-MPRH-IDB/Workshop



- on the Marine Biodiversity in The Islamic Countries Algiers 22-24 Oct 2001 Workshop Report.
226. **Meek S. E. (1883).** A note on the Atlantic species of the genus *Anguilla*. Bulletin of the U. S. Fish Commission, Report for 1883, 3: 430.
227. **Messerer Y., 1999.** Etude hydrologique du lac Melah et du lac Oubeira (Algérie). – Thèse de Magister, Université d'Annaba (Algérie), 123 pp.
228. **Meyer, J. (1931).** Service secret [Film]. Allemagne: Tonbild Syndikat AG. gbif.org+13encyclocine.com+13Wikipédia+13
229. **Mitchell, A., Overstreet, R., Goodvin, A. (2009):** *Eustrongylides ignotus* infecting commercial bass, *Morone chrysops* female X *Morone saxatilis* male, and other fish in the southeastern USA. J Fish Dis, 32(9): 795 – 799. DOI: 10.1111/j.1365-2761.2009.01051.x
230. **Mizelle, J. D. (1938).** Comparative studies on trematodes (Gyrodactyloidea) from the gills of North American freshwater fishes. Biological Monographs, 17, 1–81.
231. **Molin, R. (1859).** *Distomum verrucosum*. World Register of Marine Species. <https://marinespecies.org/aphia.php?id=1039866>
nemys.ugent.be+6marinespecies.org+6marinespecies.org+6
232. **Molnár, K., Baska, F., Csaba, G., Glávits, R., Székely, C. (1994).** Pathological and histopathological studies of the swimbladder of eels *Anguilla anguilla* infected by *Anguillicola crassus* (Nematoda: Dracunculoidea). Diseases of Aquatic Organisms, 15, 41–50.
233. **Montpetit A. N. (1897).** Les poissons d'eau douce du Canada. C. O. Beauchemin & Fils, Montréal, Québec. p. 261-300. 553 p.
234. **Moravec F. et Taraschewski H. 1988.** Revision of the genus *Anguillicola* Yamaguti, 1935 (Nematoda, Anguillicolidae) of the swimbladder of eels, including description of two new species. *A. novaezelandica* sp. N. and *A. papernai* sp. N. Folia Parasitologica, 35: 125- 146.
235. **Moravec, F., 1994.** Parasitic nematodes of freshwater fishes of Europe. Kluwer Academic Publishers
236. **Moriarty C. (1978).** Eels-A natural and unnatural history. Douglas David & Charles Limited (Publishers), Vancouver, Canada, 192 p.
237. **Moriarty, C., Dekker, W. (1997).** Management of European eel. Irish Fisheries Bulletin (Dublin), 15.



238. **Moriarty, J. (2003).** Against the Asymmetry of Desert. *Noûs*, 37(3), 516–541.
<https://doi.org/10.1111/1468-0068.00449> Wiley Online Library+1scholars.bentley.edu+1
239. **Müller, O. F. (1785).** Entomostraca seu Insecta Testacea, quae in aquis Daniae et Norvegiae reperit, descripsit et iconibus illustravit. Lipsiae & Havniae: F.W. Thiele.marinespecies.org.
240. **Murrieta Morey et al., 2022 B et C.** Occurrence of Eustrongylides sp. (Nematoda: Dioctophymatidae) in Fish Species Collected in the Peruvian Amazonia and Its Implications for Public Health.
Acta parasitologica 67 (3), 1432-1439.
GAM Morey, CAT Rojas, GAR Marin, CTC Guardia

N

241. **Nematollahi A., Decostere A., Pasmans F. and Haesebrouck F. (2003).** *Flavobacterium psychrophilum* infections in salmonid fish. *Journal of Fish Diseases*, 26(10): 563-74 (In DIPNET, 2007).
242. **Nikolic, N., S. Liu, M. W. Jacobsen, et al. (2020).** “Speciation History of European (*Anguilla anguilla*) and American Eel (*A. rostrata*), Analysed 17 of 18 Using Genomic Data.” *Molecular Ecology* 29, no. 3: 565–577.

O

243. **O'Connor J. F. and Power G. (1973).** Trout production and eels in Bill Lake, Saguenay country, Quebec. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 30(9): 1398-1401.
244. **Okamura B., Hartigan A., Naldoni J. 2018:** Extensive uncharted biodiversity: the parasite dimension. *Integr. Comp. Biol.* 58: 1132–1145.
245. **Okamura, A., N. Horie, N. Mikawa, Y. Yamada and K. Tsukamoto. (2015).** ‘Recent advances in artificial production of glass eels for conservation of anguillid eel populations’. *Ecology of Freshwater Fish* 23: 95–110



246. **Ortega C., Muzquiz J. L., Fernandez A., Ruiz I., De Blas I., Simon M.C. and Alonso J. L., (1996).** Water quality parameters associated with *Aeromonas* spp – affected hatcheries. *Veterinary Research*, 27(6): 553-6 (In DIPNET, 2007).
247. **Otake, T., Ishii, T., Doi, T., & Tsukamoto, K. (1993).** Otolith microstructure of leptocephali: a clue to estimating age and hatching season. *Bulletin of Marine Science*, 52(1), 124–132.
248. **Ouarti, M. (2018).** Contribution a l'étude De La Biodiversité Phytoplanctonique Dans Le Lac Oubeira-El-Kala (Nord-Est Algerien).
249. **Ouelaa Malak, Z. F. (2023).** La biodiversité phytoplanctonique du lac Oubeira (PNEK Nord-est Algérien) durant la période hivernale.
250. **Ould Sidi Mohamed, E. (2016).** Evolution Spatiotemporelle des Lacs de la Région d'El-Kala (Nord-Est algérien) (Doctoral dissertation).
251. **Oumeddour Saida, B. S. (2017).** Les ressources trophiques de quelques zones humides du nord est algérien: Les lacs: Tonga, Oubeira, Marre Messida, Oiseaux, Okrera et Sebaa.
252. **Ounissi M., Haridi A., Rétima A., 2002.** Variabilité du zooplancton de la lagune Mellah (Algérie) selon l'advection tidale en hiver et au printemps 1996-1997. *Journal de Recherche Océanographique*, 27: 1-13.

P

253. **Palstra, A. P., Antonissen, E., Lenderink, E., van den Thillart, G. E. E. J. M., & Murk, A. J. (2007).** Estrogenic exposure inhibits freshwater eels' reproductive development and swimming behavior. *Environmental Science & Technology*, 41(15), 5125–5131.
254. **Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., & Wright, P. J. (Eds.). (2002).** Manuel de sclérochronologie des poissons. Coédition Ifremer–IRD, 464 p.
255. **Panfili, J., de Pontual, H., Troadec, H., & Wright, P. J. (Eds.). (2002).** Manuel de sclérochronologie des poissons. Coédition Ifremer–IRD, 464 p.
256. **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.
257. **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.
258. **Parker, G.A., Ball, M.A., Chubb, J.C. (2009):** To grow or not to grow? Intermediate and paratenic hosts as helminth life cycle strategies. *J Theor Biol*, 25: 135 – 147. DOI: 10.1016/j.jtbi.2009.01.016
- Pekmezci, G.Z., Bolukbas, C.S. (2021): Morphological and molecular characterization of *Eustrongylides excisus* larvae (Nematoda: Dioctophymatidae) in Sander lucioperca (L.) from Northern Turkey. *Parasitol Res*, 120(6): 2269 – 2274. DOI: 10.1007/s00436- 021-07187-8
259. **Pauly, D. (1980).** On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 39(2), 175–192. <https://doi.org/10.1093/icesjms/39.2.175>.
260. **Pedersen K., Grisez L., van Houdt R., Tiainen T., Ollevier E. and Larsen J.L. (1999).** Extended serotyping scheme for *Vibrio anguillarum* with the definition of seven provisional Osero groups. *Curr. Microbiol.* 38: 183-189 (In DIPNET, 2007).
261. **Perlmutter, A. (1951).** An aquarium experiment on the American eel as a predator on larval lampreys. *Copeia*, 2, 173–174.
262. **Pike, C., Crook, V., Gollock, M., Beaulaton, L., Belpaire, C., Dekker, W., ... & Hanel, R. (2020).** *Anguilla anguilla*. The IUCN Red List of Threatened Species.
263. **Powles, P. M., & Warlen, S. M. (2001).** Recruitment patterns of American eels (*Anguilla rostrata*) to Prince Edward Island, Canada. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364 suppl., 221–232.
264. **Pujolar, J. M., M. W. Jacobsen, T. D. Als, et al. (2014a).** “Assessing Patterns of Hybridization Between North Atlantic Eels Using Diagnostic Single-Nucleotide Polymorphisms.” *Heredity* 112: 627–637.
265. **Pujolar, J. M., M. W. Jacobsen, T. D. Als, et al. (2014b).** “Genome-Wide Single-Generation Signatures of Local Selection in the Panmictic European Eel.” *Molecular Ecology* 23, no. 10: 2514–2528.

Q

R



266. **R Core Team (2023).** R : un langage et un environnement pour le calcul statistique. Fondation R pour le calcul statistique, Vienne, Autriche. Disponible sur : <https://www.R-project.org/>
267. **R Core Team. (2020).** R: A Language and Environment for Statistical Computing. Wien, Austria: R Foundation for Statistical Computing .<https://www.R-project.org/>. Racimo, F., S. Sankararaman, R. Nielsen, and E. Huerta- Sánchez. 2015. "Evidence for Archaic Adaptive Introgression in Humans." *Nature Reviews Genetics* 16, no. 6: 359–371.
268. **Ramdane Z. and Trilles J. P. (2007).** Parasitic copepods (Crustacea: Copepoda) from the Algerian marine fauna. *Zootaxa*, 1574: 49-68..
269. **Ricker, W. E. (1973).** Linear regression in fishery research. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 3, 409–434.
270. **Righton, D., H. Westerberg, E. Feunteun, et al. (2016).** "Empirical Observations of the Spawning Migration of European Eels: The Long and Dangerous Road to the Sargasso Sea." *Science Advances* 2, no. 10:e1501694. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501694>
271. **Roberts R. J. (1993).** Motile aeromonas septicaemia. In: *Bacterial diseases of fish*. Inglis V, Roberts RJ, Bromage NJ (eds). Blackwell Scientific Publications, London 1993, pp143-155 (In DIPNET, 2007).
272. **Robins C. R., Cohen D. M., Robins C. H. (1979).** Eels, *Anguilla* and *Histiobranchus*, photographed on the floor of the deep Atlantic in the Bahamas. *Bulletin of Marine Science*, 29: 401-405.
273. **Rodino E. and Comparini A. (1978a).** Genetic variability in the European eel, *Anguilla anguilla*
274. **Rudolphi, K. A. (1808).** *Entozoorum synopsis cui accedunt mantissa duplex et indices locupletissimi*. Berlin: Sumtibus Augusti Rücker.
275. **Raffinesque, C. S. (1815).** *Analyse de la nature, ou tableau de l'univers et des corps organisés*. Palerme: L'Imprimerie de L'Académie Royale.



276. **Samraoui, B., & de Bélair, G. (1998).** Les zones humides d'Algérie : Bilan et perspectives. *Ecologia Mediterranea*, 23(1–2), 11–22.
277. **Sano M., Fukuda H. and Sano T. (1990).** Isolation and characterization of a new herpesvirus from eel. In: *Pathology in Marine Science*. Eds. Perkins TO, Cheng TC. Academic Press, New York: 15-31 (In DIPNET, 2007).
278. **Sasai, S., Kaneko, T., & Tsukamoto, K. (2007).** Ontogenic change of gill chloride cells in leptocephalus and glass eel stages of the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Marine Biology*, 150, 487–496.
279. **Schlotfeldt H. J., Böhm K. H., Pfortmüller F. and Pfortmüller K. (1985).** "Rotmaulseuche" /ERM (Enteric Redmouth Disease) der Forelle und anderen Nutzfischen in Norddeutschland –Vorkommen, Therapie und Vakzinierungsergebnisse. *Tierärztl. Umschau*, 40 (12): 985-995 (In DIPNET, 2007).
280. **Schmidt J. (1914).** On the classification of the fresh-water eels (*Anguilla*). *Meddelelser fra Kommissionen Havundersøgelser Serie Fiskeri*, 4(7): 1-19.
281. **Schmidt J. (1916).** On the early larval stages of the fresh-water eels (*Anguilla*) and someother North Atlantic muraenoids. *Meddelelser fra Kommissionen Havundersøgelser, Serie Fiskeri*, 5(4): 1-20.
282. **Schmidt, J. (1909).** On the distribution of fresh-water eels (*Anguilla*) throughout the world. I. Atlantic Ocean and adjacent regions. *Meddelelser fra Kommissionen Havundersøgelser Serie Fiskeri*, 3(7), 1–45.
283. **Schmidt, J. (1909b).** On the distribution of freshwater eels throughout the world. *Meddelelser fra Kommissionen for Havundersøgelser: Serie Fiskeri*, 3(7), 1–45.
284. **Schmidt, J. (1922).** The breeding places of the eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 211, 179–208.
285. **Schmidt, J. (1922).** The breeding places of the eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 211(382–390), 179–208.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1922.0005>
286. **Schmidt, J. (1923).** Breeding places and migrations of the eel. *Nature*, 111, 51–54.
287. **Schmidt, J. (1925).** The breeding places of the eel. *Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution, Report for 1924*, 279–316.



288. **Scholz T. (1997).** Life-cycle of *Bothriocephalus claviceps*, a specific parasite of eels. *Journal of Helminthology*, 71: 241–248.
289. Semroud R., 1983. Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens: le lac Mellah (El-Kala, Algérie). Thèse 3ème cycle, USTHB (Alger), 137 pp.
290. **SHULMAN S.S. 1962:** Myxosporidia. In: E.N. Pavlovskii (Ed.), [Key to parasites of freshwater fish of USSR.]. Publ. House of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow-Leningrad, pp. 47–130. (In Russian.)
291. **Sinha, V. R. P., & Jones, J. W. (1967).** On the age and growth of the freshwater eel (*Anguilla anguilla*). *Journal of Zoology*, 153, 99–117.
292. **SIRUGUE D. & GOUTAGNY P., 2015,** L'Anguille européenne, Outil pédagogique, Bourgogne-Nature Junior, 6 : 21-22.
293. **Skall H. F., Olesen N. J. and Møllergaard S. (2005).** Viral haemorrhagic septicaemia virus in marine fish and its implications for fish farming – a review. *Journal of Fish Diseases*, 28: 509-529 (In DIPNET, 2007).
294. **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.
295. **Smith M. W. (1955).** Control of eels in a lake by preventing the entrance of the young. *The Canadian Fish Culturist*, 17: 13-17.
296. **Smith M. W. and Saunders J. W. (1955).** The American eel in certain freshwaters of the maritime provinces of Canada. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 12(2): 238-269.
297. **Sola, C., & Tongiorgi, P. (1996).** The effect of salinity on the orientation of glass eels (*Anguilla anguilla*) in a circular arena. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 27, 205–211.
298. **Sorensen P. W. (1986).** Origins of the freshwater attractant(s) of migrating elvers of the American eel, *Anguilla rostrata*. *Environmental Biology of Fishes*, 17: 185-200.
299. **Sorensen, P. W. (1986).** Origins of the freshwater attractant(s) of migrating elvers of the American eel, *Anguilla rostrata*. *Environmental Biology of Fishes*, 17, 185–200.
300. **Southwell, T., & Macfie, J. W. S. (1925).** The Acanthocephala of British India. *Records of the Indian Museum*, 27, 1–62. [EurekaMag+5gbif.org+5JSTOR+5](https://www.jstor.org/stable/2322111)



301. **Špakulová M, Macko JK, Berrilli F, Dezfuli BS, 2002.** Description of *Bucephalus anguillae* n. sp (Trematoda: Bucephalidae), a parasite of the eel *Anguilla anguilla* (Anguillidae) from a brackish water lagoon of the Adriatic Sea. *The Journal of Parasitology* 88:382-387.
302. **Sures B, Zimmermann S, Sonntag C, Stuben D, Taraschewski H, 2003.** The acanthocephalan *Paratenuisentis ambiguus* as a sensitive indicator of the precious metals Pt and Rh from automobile catalytic converters. *Environmental Pollution* 122:401-405.

T

303. **Tahri, M. (2009).** Les parasites de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* peuplant l'estuaire du Mafrag (Mémoire de Magistère). Université Badji Mokhtar, Annaba, 122 p.
304. **Tahri, M. (2016).** Ecobiologie de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* peuplant le lac Oubeira (Parc National d'el Kala) (Doctoral dissertation, Thèse de 3ème Cycle, Univ. Badji Mokhtar, Annaba).
305. **Tahri, M., & Bensouilah, M. (2016).** Étude parasitologique et écotoxicologique de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire du Mafragh (Algérie). *African Journal of Environment and Natural Science Research*, 1(1), 1–14.
306. **Tahri, M., & Panfili, J. (2023).** 13-year population survey of the critically endangered European eel in the southern Mediterranean region (Algeria). *Journal of Fish Biology*, 102(6), 1492-1502.
307. **Tajima K., Ezura Y. and Kimura T. (1985).** Studies on the taxonomy and serology of causative organisms of fish vibriosis. *Fish Pathology*, 20: 131-142.
308. **Tesch, F. W. (1971).** Les anguilles : biologie et exploitation. Paris : Gauthier-Villars.
309. **Tesch, F. W. (1977).** The eel. Biology and management of anguillid eels. London : Chapman & Hall, 434 p.
310. **Tesch, F. W. (1991).** Anguillidae. In **Hoestlandt, H.** (Ed.), *The freshwater fishes of Europe* (Vol. 2, pp. 388–437). AULA-Verlag, Wiesbaden, Germany, 447 p.
311. **Tesch, F. W. (2003).** The Eel (5th ed.). In **Thorpe, J. E.** Oxford, UK.
312. **THÉLOHAN P. 1892:** Observations sur les myxosporidies et essai de classification de ces organismes. *Bull. Soc. Philom.* 4: 165–178 .



313. **Thiéry R., de Boisséson C., Jeffroy J., Castric J., de Kinkelin P. and Benmansour A. (2002).** Phylogenetic analysis of viral haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) isolates from France (1971–1999). *Diseases of Aquatic Organisms*, 52:29–37 (In DIPNET, 2007).
314. **Thomas J.P., Bougazelli N., Attender M., 1973.** Projet de parc national marin, lacustre et terrestre d'El-Kala, Annaba, Algérie, 64p.
315. **Thomas, J. D. 1962.** The growth and food of the brown trout (*Salmo trutta* L.) and its feeding relationships with the salmon parr (*Salmo trutta* L.) and the eel *Anguilla anguilla*(L.) in the river Teify, west Wales. *Journal of Animal Ecology*, 31, 175– 205.
316. **Toranzo A. E. and Barja J. L. (1990).** A review of the taxonomy and seroepizootiology of *Vibrio anguillarum*, with special reference to aquaculture in the Northwest of Spain. *Diseases of Aquatic Organisms*, 9(1): 73-82 (In DIPNET, 2007).
317. **Toranzo, A. E., & Barja, J. L. (1993).** Viruses infecting marine fish. *Annual Review of Fish Diseases*, 3, 209–241. [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(93\)90029-5](https://doi.org/10.1016/0959-8030(93)90029-5)
318. Tsukamoto K, Aoyama J (1998) Evolution of freshwater eels of the genus *Anguilla*: A probable scenario. *Environmental Biology of Fishes* 52, 139-148.
319. **Tsukamoto, K., Kuroki, M., & Watanabe, S. (2020).** Common names for all species and subspecies of the genus *Anguilla*. *Environmental Biology of Fishes*. <https://doi.org/10.1007/s10641-020-00988-3>.
320. **Tucker, D.W. (1959).** 'A new solution to the Atlantic eel problem'. *Nature* 183: 495–501.
321. Tuzet O., Ormières R. 1957: *Ceratomyxa anguillae* n. sp. myxosporidie parasite de la vesicule biliaire des anguilles de l'Etang de Thau. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.* 32: 189–196.
322. **Tzeng, W. N., & Iizuka, Y. (2003).** Transitions in otolith Sr:Ca ratios of the Japanese eel (*Anguilla japonica*) elvers from the estuary to the river. *Marine Ecology Progress Series*, 245, 213–221.
323. **Tzeng, W. N., Severin, K. P., & Wickström, H. (2000).** Use of otolith microchemistry to investigate the environmental history of European eel *Anguilla anguilla*. *Marine Ecology Progress Series*, 199, 193–204.
<https://doi.org/10.3354/meps199193>



U

V

324. **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.
325. **Van Ginneken V., Haenen O., Coldenhoff K., Willemze R., Antonissen E., van Tulden P., Dijkstra S., Wagenaar F. and van den Thillart G. (2004).** Presence of eel viruses in eel species from various geographic regions. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 24: 268-272.
326. **Van Ginneken, V. J. T., & Van den Thillart, G. (2000).** Eel fat stores are enough to reach the Sargasso. *Nature*, 403, 156–157.
327. **van Ginneken, V., B. Ballieux, R. Willemze, et al.(2005).** “Haematology Patterns of Migrating European Eels and the Role of EVEX Virus.”*Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology &Pharmacology* 140: 97–102.
328. **van Ginneken, V.J.T. and Maes, G.E. (2005)** The European eel (*Anguillaanguilla*, Linnaeus), its lifecycle, evolution and reproduction: A litera-ture review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15, 367–398
329. **Van Nieuwstadt A. P., Dijkstra S. G. and Haenen O. L. M. (2001).** Persistence of herpesvirus of eel *Herpesvirus anguillae* in farmed European eel *Anguilla anguilla*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 45: 103-107(In DIPNET, 2007).
330. **Vigier J. F. (1990).** Synthèse des connaissances sur la biologie et la pathologie chez différentes espèces du genre *Anguilla*. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Université de Toulouse. 232 p. +bibliographie.
331. **Vigier, J. F. (1997).** Les pathologies des anguilles. Synthèse des connaissances sur la pathologie chez différentes espèces du genre *Anguilla*. CEMAGREF Éditions, 198 p.
332. Vilter V (1945) Développement du tractus gastro-intestinal au cours de la métamorphose de larves d'anguille. *Comptes Rendus des Séances de la Société de Biologie et de ses Filiales* **139**, 223- 224.
333. **von Bertalanffy L. (1938)** A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human Biology* Vol. 10, No. 2, Published by: Wayne State University Press.



334. **Van Ginneken V., Antonissen E., Muller U. K., Booms R., Eding E., Verreth J., van den Thillart G. 2005a.** Eel migration to the Sargasso: Remarkably high swimming efficiency and low energy costs. *Journal of Experimental Biology*, 208: 1329-1335.
335. **Van Ginneken V., Vianen G., Muusze B., Palstra A., Verschoor L., Lugten O., Onderwater M., van Schie S., Niemantsverdriet P., van Heeswijk R., Eding E. P. and van den Thillart G. 2005b.** Gonad development and spawning behaviour of artificially-matured European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Animal Biology*, 55: 203-218.

W

336. **Wardle, R. A., & McLeod, J. A. (1974).** *The Zoology of Tapeworms.* Minneapolis: University of Minnesota Press.
337. **Watanabe S., Aoyama J., Nishida M. and 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.
338. **Watanabe, S., Aoyama, J., Nishida, M., & 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.
339. **Wayland M. T., Gibson D. I. et Sommerville C. 2004.** *Echinorhynchus salmonis* Müller, 1784 (Acanthocephala:Echinorhynchidae) from the Bothnian Bay, Baltic Sea: morphological variability and radial asymmetry of proboscis hooks. *Systematic Parasitology*, 58: 149–158.
340. **Wenner, C. A., & Musick, J. A. (1975).** Food habits and seasonal abundance of the American eel, *Anguilla rostrata*, from the lower Chesapeake Bay. *Chesapeake Science*, 16(1), 62–66.
341. **Westerberg H. (1990).** A proposal regarding the source of nutrition of leptocephalus larvae. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, 75(6): 863-864.
342. **Williams G. C. and Koehn R. K. (1984).** Population genetics of North Atlantic catadromous eels (*Anguilla*). p. 529-560. In: B.J. Turner, ed. *Evolutionary genetics of fishes.* Plenum Press, New York.



343. **Wolf K. (1988).** Fish viruses and fish viral diseases. Pages 476pp, 1988 in Fish viruses and fish viral diseases. Cornell University Press, Ithaca, USA, Comstock Publishing Associates, New York. 476 p.
344. **Wu, C. I. (2001).** “The Genic View of the Process of Speciation.” Journal of Evolutionary Biology 14(6):851 – 865.

X

Y

345. **Yamaguti, S. 1939.** Parasitic copepoda from fishes of Japan. Part. 4. Cyclopoida, II, vol. Jub. Yoshida (2): 39 – 44.

Z

346. **Zenimoto, K., Tsukamoto, K., & Kimura, S. (2011).** Habitat modeling for Japanese eel leptocephali in the western North Pacific. *Fisheries Oceanography*, 20(5), 329–342.
- Zoega, G. (1776).** Tentamen historiae naturalis angui





Résumé :

Ce travail s'inscrit dans une approche éco-biologique visant à évaluer les caractéristiques de croissance, le régime alimentaire et la structure parasitaire de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) dans deux écosystèmes contrastés du nord-est algérien : le lac Oubeira (eau douce) et la lagune El Mellah (eau saumâtre). Les analyses ont été menées sur un total de 360 individus par site.

L'étude de la **croissance**, basée sur le modèle de von Bertalanffy, a mis en évidence des profils distincts : les anguilles de la lagune El Mellah affichent une croissance rapide ($K = 1,27$) mais une taille maximale modérée ($L_{\infty} \approx 55,9$ cm), tandis qu'à Oubeira, la croissance est plus lente ($K = 0,87$) mais aboutit à des tailles plus importantes ($L_{\infty} \approx 77,9$ cm). Ces différences traduisent des stratégies adaptatives spécifiques aux conditions écologiques locales. Les relations âge-poids révèlent une prise de masse plus tardive mais plus marquée à Oubeira.

Concernant le **parasitisme**, 6487 parasites ont été identifiés, répartis en huit groupes majeurs. Le lac Oubeira présente des niveaux d'infestation particulièrement élevés, notamment pour *Eustrongylides* sp. (86,11 %), suivi de *Bothriocephalus claviceps* (46,11 %) et *Anguillicoloides crassus* (45,56 %). En revanche, à El Mellah, ce sont les digènes qui dominent (62,22 %). L'analyse statistique révèle une variation significative selon les stades de maturité sexuelle : les femelles des stades avancés (FIII, FV) sont significativement plus parasitées que les mâles MII, traduisant une influence du métabolisme et du comportement alimentaire sur l'exposition parasitaire.

L'examen du **régime alimentaire** montre une prédominance d'algues dans les deux sites (fréquence > 80 %), avec une présence modérée de poissons (~26 %) et marginale de crustacés. Les insectes sont absents. Le taux de vacuité stomacale est élevé à Oubeira (67,78 %), particulièrement chez les jeunes anguilles, traduisant une faible activité trophique ou une disponibilité alimentaire limitée. À El Mellah, la diversité des proies est plus marquée, notamment dans les premières classes d'âge, indiquant un régime plus équilibré.

Globalement, cette étude met en lumière l'interaction étroite entre les caractéristiques biologiques des individus, la qualité de leur milieu, et leur état sanitaire. Les différences observées entre les deux sites confirment la plasticité écologique de *A. anguilla* et soulignent l'importance de prendre en compte les facteurs environnementaux dans la gestion et la conservation de cette espèce en déclin.

Mots clés :

Anguilla anguilla ; Lagune El Mellah, Lac Oubeira ; Parasitisme ; Régime alimentaire.



Summary

This research adopts an eco-biological approach to evaluate growth characteristics, feeding behavior, and parasitic structure of the European eel (*Anguilla anguilla*) in two contrasting ecosystems of northeastern Algeria: Lake Oubeira (freshwater) and Mellah Lagoon (brackish water). Analyses were carried out on a total of 360 specimens from each site.

The **growth study**, using the von Bertalanffy model, revealed distinct patterns. Eels from Mellah Lagoon exhibited fast growth ($K = 1.27$) but reached a moderate asymptotic length ($L_{\infty} \approx 55.9$ cm), while those from Lake Oubeira grew more slowly ($K = 0.87$) but attained larger sizes ($L_{\infty} \approx 77.9$ cm). These differences reflect adaptive strategies shaped by local environmental conditions. Age-weight relationships showed delayed but more substantial weight gain in Oubeira eels.

In terms of **parasitism**, 6,487 parasites were identified, grouped into eight major taxa. Lake Oubeira showed particularly high infestation rates, especially for *Eustrongylides* sp. (86.11%), followed by *Bothriocephalus claviceps* (46.11%) and *Anguillicoloides crassus* (45.56%). In contrast, trematodes were dominant in Mellah Lagoon (62.22%). Statistical analysis highlighted significant variation according to sexual maturation stage: females in advanced stages (FIII, FV) were significantly more parasitized than MII males, suggesting that metabolic rate and feeding behavior influence parasitic exposure.

The **dietary analysis** revealed a dominance of algae in both sites (frequency > 80%), with moderate presence of fish (~26%) and marginal crustacean consumption. Insects were absent. A high stomach emptiness rate was observed in Oubeira (67.78%), particularly among juveniles, indicating limited feeding activity or prey availability. In Mellah, prey diversity was more pronounced, especially among younger classes, indicating a more balanced feeding regime.

Overall, the study highlights the close interaction between biological traits, environmental quality, and health condition. The differences observed between sites confirm the ecological plasticity of *A. anguilla* and emphasize the importance of environmental factors in managing and conserving this declining species.

Keywords

:

Anguilla anguilla; Mellah Lagoon; Lake Oubeira; Parasitism; Feeding habits.



ملخص

تعتمد هذه الدراسة على مقارنة إيكولوجية-بيولوجية لتقييم خصائص النمو، السلوك الغذائي، والبنية الطفيلية لثعابين المياه الأوروبية (*Anguilla anguilla*) في نظامين بيئيين متباينين في شمال شرق الجزائر: بحيرة أوبيرا (مياه عذبة) وبحيرة المالح (مياه شروب). وقد أجريت التحاليل على عينة مكونة من 360 فردًا من كل موقع.

أظهرت دراسة النمو، باستخدام نموذج فون برتالانفي، أنماطًا متميزة. في المالح، أظهرت الثعابين نموًا سريعًا ($K = 1.27$) لكن بطول نهائي معتدل ($L_{\infty} \approx 55.9$ سم)، في حين نمت الثعابين في أوبيرا بوتيرة أبطأ ($K = 0.87$) لكنها وصلت إلى أحجام أكبر ($L_{\infty} \approx 77.9$ سم). (تعكس هذه الفروقات استراتيجيات تكيفية شكلتها الظروف البيئية المحلية. كما كشفت علاقات العمر-الوزن عن اكتساب كتلة متأخر ولكنه أكثر وضوحًا في أوبيرا).

أما من حيث الطفيليات، فقد تم تحديد 6487 طفيليًا موزعين على ثمانية مجموعات رئيسية. أظهرت بحيرة أوبيرا نسب إصابة مرتفعة بشكل خاص، خاصة بالنسبة لـ (*Eustrongylides sp.* (86.11%)، تليها *B. claviceps* و *A. crassus*. في المقابل، هيمنت المثقوبات في المالح (62.22%). أظهرت التحاليل الإحصائية فروقات هامة حسب مراحل النضج الجنسي: الإناث في المراحل المتقدمة (FIII)، (FV) كانت أكثر تعرضًا للإصابة مقارنة بالذكور (MII)، مما يشير إلى تأثير معدل الأيض والسلوك الغذائي على التعرض للطفيليات.

أما تحليل النظام الغذائي، فقد كشف عن هيمنة الطحالب في كلا الموقعين (بتكرار يزيد عن 80%)، مع وجود متوسط للأسماك (~26%) ونسبة ضئيلة للقشريات. غابت الحشرات تمامًا. وقد سُجل معدل فراغ معدي مرتفع في أوبيرا (67.78%) خاصة لدى الأفراد الصغار، مما يدل على نشاط غذائي محدود أو قلة في توفر الفرائس. أما في المالح، فقد كانت تنوعات الغذاء أكثر وضوحًا خاصة لدى الفئات العمرية الأصغر، مما يشير إلى نظام غذائي أكثر توازنًا.

تُبرز هذه النتائج التفاعل الوثيق بين الخصائص البيولوجية، نوعية البيئة، والحالة الصحية للأنواع. وتؤكد الفروقات المسجلة بين الموقعين على المرونة البيئية العالية لـ *Anguilla anguilla*، وعلى أهمية العوامل البيئية في إدارة هذا النوع والحفاظ عليه في ظل التراجع المستمر لأعداده.

الكلمات المفتاحية:

Anguilla anguilla؛ بحيرة المالح؛ بحيرة أوبيرا؛ الطفيليات؛ النظام الغذائي.