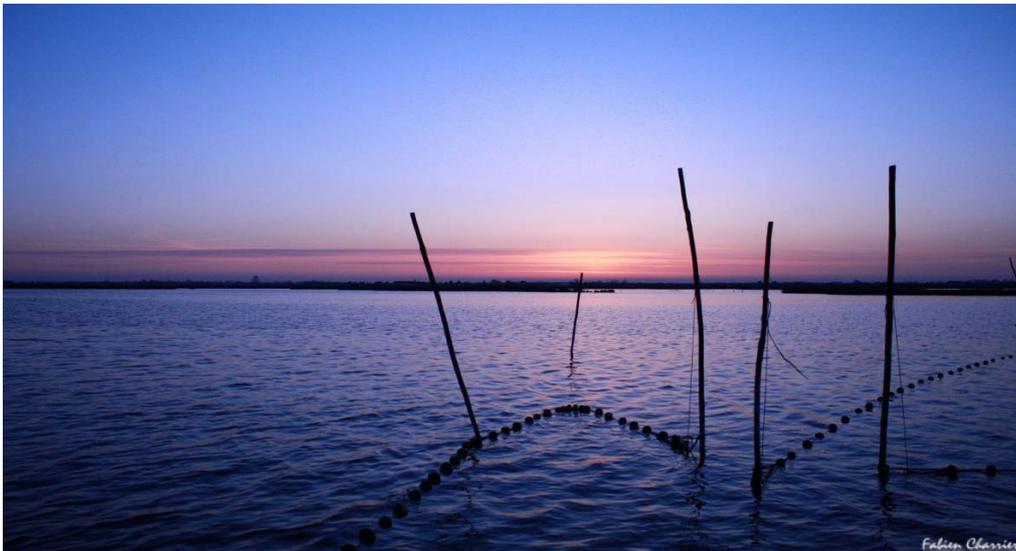


**CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DES CONNAISSANCES ET A LA GESTION DE
L'ANGUILLE EUROPEENNE, *ANGUILLA ANGUILLA*, DANS LES LAGUNES
MEDITERRANEENNES**

**– CAS DE L'ÉTANG DE L'OR –
RAPPORT DE SYNTHESE**



Cépralmar



Référence à citer :

CHARRIER F., LE GURUN L., ABDALLAH Y., CARAGUEL J-M, LEGAULT A., BLANCK A., LEBEL I., 2010. Contribution à l'amélioration des connaissances et à la gestion de l'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*, dans les lagunes méditerranéennes - Cas de l'Etang de l'Or – Rapport de Synthèse. Rapport CEPRALMAR. Groupement MRM/FISH PASS, 42 p.

REMERCIEMENT

Nous souhaitons remercier toutes les personnes qui par leurs collaborations, leurs avis ou leurs suggestions ont permis la réalisation de cette étude : Roland Guerrero, Nicolas Guerrero, le GEAL, les pêcheurs de l'Etang de l'Or, Daniele Bevacqua, Alain Crivelli, Richard Sabatié, Pascal Laffaille, Dominique Ombredane, Virgile Mazel, le SMGEO, l'ONEMA, l'IFREMER.

Nous remercions également les différents partenaires financiers de cette étude: le CEPRALMAR, le Conseil Général de l'Hérault, la Région Languedoc Roussillon et l'Union Européenne.

Table des Figures et Tableaux	1
Introduction.....	3
I. Facteurs influençant le stock d'Anguille.....	4
I.1. Les habitats disponibles	4
I.2. Les obstacles	4
I.3. La qualité de l'eau	5
I.4. La Prédation	7
I.5. Le Parasitisme	7
I.6. La Pêche	7
II. Caractéristiques de -population d'anguilles du bassin versant l'Étang de l'Or.....	8
II.1. Sous-population de l'étang de l'Or	8
II.2. Sous-population d'anguilles des tributaires du bassin versant de l'Etang de l'Or	13
II.3. Comparaison affluents/lagune	15
III. Modélisation de la dynamique de la population d'anguilles de l'étang de l'Or	16
III.1. Calibration des sous modèles et des paramètres d'entrés.....	16
III.2. Le Modèle de Dynamique des populations	20
III.3. Validation du modèle par l'expérimentation : Estimation de l'échappement actuel, du stock et du taux d'exploitation des anguilles argentées par opération de capture-marquage-recapture.....	21
IV. Amélioration de la méthodologie et Gestion de la pêche	25
IV.1. Acquisition de données	25
IV.2. Des scénarii de gestion de la pêche	26
Conclusion.....	29
Bibliographie.....	31

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Surfaces potentiellement disponibles sur le bassin versant de l'Étang de l'Or (BD Carthage, Banque Hydro, FDAAPPMA 34)	4
Figure 2 : Localisation des obstacles à la libre circulation piscicole (ONEMA, FDAAPPMA 34) et expertise de leur franchissabilité pour l'Anguille (Legault, 2009) (BD Carthage).....	5
Figure 3 : Evolution des Indices Biologiques Globaux Normalisés (IBGN) sur les tributaires de l'Étang de l'Or (SEQ-Eau).....	5
Figure 4 : Evolution des captures d'Anguille entre 1960 et 1982 (AQUASCOP, 1983), entre 1989 et 1993 (Ruiz, 1994) et entre 2002 et 2008 (GEAL) sur l'Étang de l'Or.....	7
Figure 5 : Structure en taille de la population exploitée par stade (N=5781 pour les anguilles jaunes et N=186 pour les anguilles argentées).....	10
Figure 6 : a) Diagramme en groupe d'âge de l'échantillon (N=290) ; b) Diagramme en groupe d'âge par sexe de l'échantillon (N indifférenciés=116, N mâles=68, N femelles=100)	11
Figure 7 : Relation entre le poids et la taille des anguilles	11
Figure 8 : Taille moyenne des anguilles en fonction de l'âge $Y = 87,3 x + 89,6$, $r^2 = 0,95$ (t-test, a et b significatifs, a : $p < 0,001$, b : $p < 0,05$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,001$)	12
Figure 9 : Bassin versant de l'Étang de l'Or et de ses affluents. Chaque point bleu localise le lieu de la pêche électrique sur les différents cours d'eau.....	13
Figure 10 : a) Nombre d'espèces pêchées sur chaque site ; b) Nombre d'anguilles pêchées sur chaque site.....	13
Figure 11 : Structure en classe de taille de 30 mm pour les anguilles du Bérange (N=45) et du Salaison (N=102).....	14
Figure 12 : Relation Taille-Poids pour les anguilles du Salaison (bleu) et du Bérange (rose).	14
Figure 13 : Taille moyenne en fonction de l'âge $Y = 61,3 x + 120,9$; $r^2 = 0,90$ (t-test, a et b significatifs, a : $p < 0,01$, b : $p < 0,05$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,01$)	15
Figure 14 : Modèle de croissance de Von Bertalanffy calibré par D. Bevacqua (Indifférenciés : N=467 (116 observés et 351 recalculés) ; Femelle : N=100 ; Mâle : N=68).....	17
Figure 15 : Taux de maturation sexuel des mâles et femelles.	17
Figure 16: Mortalité naturelle en fonction de la taille pour l'Étang de l'Or.....	18
Figure 17 : Sélectivité des capétoches en fonction du maillage et de la taille des anguilles.....	18
Figure 18 : Nombre de pêcheurs en fonction du mois de l'année (*données de 2008)	19
Figure 19 : Effort estimé à partir des enquêtes (*données de 2008).....	19
Figure 20 : a) Pit Tag, b) marquage d'une anguille au Pit Tag (source: Fish Pass).....	22
Figure 21 : Dispositif d'enregistrement des recaptures sur le trieur du mareyeur (source: Fish Pass).....	23
Figure 22 : Structure en taille des individus marqués (N=711).....	23
Figure 23 : Recapture des individus marqués de chaque lot en fonction du temps.....	24
Figure 24 : Exemple de carnet de pêche	26
Figure 25 : Capture totale (anguilles jaunes et argentées) en fonction de l'échappement et du maillage.....	27

Figure 26 : Capture totale (anguilles jaunes et argentées) en fonction de l'échappement et de taille minimum de capture..... 28

Figure 27 : Echappement (tonnes) en fonction des captures de la pêcherie et de l'Effort de pêche. 29

Tableau 1 : Evolution interannuelle (Juin / Juillet / Août) de la physico-chimie de la colonne d'eau sur l'étang de l'Or entre 1999 et 2008 (Données RSL – Ifremer..... 6

Tableau 2 : Etat sanitaire de la population (N=5968)..... 9

Tableau 3 : Caractéristiques de l'échantillon (entre () nombre d'anguilles n'ayant pu être âgées)..... 10

Tableau 4 : Taille et croissance moyennes obtenues par otolithométrie (sans les valeurs rétrocalculées), tous sexes confondus (6 individus n'ont pu être âgés sur l'échantillon de 290) (Les âges 7 et 8 sont donnés à titre informatif mais ne seront pas traités du fait du faible nombre d'individus) 12

Tableau 5: Comparaison des résultats de parasitisme entre la lagune et ses affluents 16

Tableau 6 : Analyse non rectifié des pseudo-cohortes..... 20

Tableau 7 : Résultat du modèle pour la situation actuelle et la situation sans pression de pêche 21

Tableau 8 : Nombre d'anguilles marquées/recapturées et captures de la pêcherie entre octobre et décembre..... 24

Tableau 9 : Estimation de la population d'anguilles argentées, de leurs taux d'exploitation et leurs taux d'échappement. 24

Tableau 10 : Comparaison entre les valeurs du modèle et celles du CMR 25

INTRODUCTION

Longtemps considérée comme une espèce nuisible, l'Anguille est aujourd'hui, une espèce menacée en dehors de ses limites biologiques. Depuis les années 70, la population d'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*, est en nette régression. Ce déclin est principalement dû aux activités d'origine anthropique, dont la pêche n'est qu'une composante. Les changements climatiques, la pollution, la réduction de l'accessibilité et la dégradation des habitats, la prédation et le parasitisme sont autant de facteurs qui agissent en synergie. Des mesures de gestion sont donc mises en place pour diminuer les mortalités d'origine anthropique et permettre une amélioration de l'état du stock (Adam *et al.*, 2008). L'Union Européenne a en effet institué, par l'intermédiaire du Règlement Européen n°1100/2007 du 18 septembre 2007, des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes. Par ce règlement, elle demande, à chaque pays membre, de mettre au point un plan de gestion national. Le Plan National Anguille de la France a pour principaux objectifs de réduire la mortalité par pêche de 30% en 3 ans et d'avoir un échappement de 40 % de la biomasse pristine (ONEMA, 2008). Ces mesures de court terme ne pourront cependant porter leurs fruits sans une amélioration de la qualité du milieu (eau, sédiment, habitat)...

Au niveau méditerranéen, la pêche de l'anguille revêt une importance socio-économique considérable et fait vivre plus de 600 pêcheurs exerçant principalement en milieu lagunaire (COGEPOMI, 2006). Ces milieux, très riches, pâtissent actuellement de l'urbanisation croissante et de l'agriculture intensive. De plus, peu de données existent sur les lagunes méditerranéennes ne permettant de connaître l'état actuel de cette ressource.

Dans ce contexte, le Centre d'Étude pour la Promotion des Activités Lagunaires et Maritimes (CEPRALMAR) a lancé une étude sur l'étang de l'Or afin de :

-caractériser la population d'Anguille et recenser les facteurs pouvant l'influencer à l'échelle de la lagune et de son bassin versant.

-évaluer le taux d'échappement des anguilles argentées.

-proposer des préconisations de gestion de l'anguille en milieu lagunaire.

Cette étude devrait ainsi permettre de mieux connaître et gérer la population d'Anguille sur cette lagune et *in fine*, de servir de référence au niveau méditerranéen.

Pour répondre à ces objectifs, le groupement FISH/MRM a mis en place une méthodologie complexe et pertinente. Tout d'abord, un travail bibliographique important a été réalisé pour regrouper et synthétiser les informations existantes sur l'étang de l'Or, son bassin versant, et sur l'anguille au niveau méditerranéen. Ensuite, un travail de terrain régulier a été effectué durant une année. Il a permis de récolter des informations sur la lagune relatives à la pêcherie (effort de pêche, captures), à la population (taille, stade, état sanitaire...) mais aussi sur le bassin versant (peuplement, abondance/densité sur plusieurs stations). Durant cette phase de terrain, des échantillonnages ont été effectués permettant des analyses complémentaires en laboratoire (otolithométrie, parasitisme...). Toutes ces informations ont permis la modélisation de la dynamique de la population de l'étang de l'Or en se basant sur le modèle Camargue développé par Bevacqua *et al.*(2007). Ce modèle a permis notamment d'évaluer le taux d'échappement des anguilles argentées de la lagune. Pour valider ce modèle, une opération *in situ* de capture-marquage-recapture a été effectuée pour établir le taux d'échappement réel et le confronter à celui obtenu par le modèle. Enfin, des *scenarii* de gestion ont été établis à partir du modèle permettant d'élaborer des préconisations pour la gestion future de la lagune.

Ce rapport de synthèse a pour but de présenter les principaux résultats de l'étude. Pour des informations complémentaires ou plus approfondies, il est nécessaire de se reporter au rapport complet de l'étude.

Dans cette synthèse, nous nous attarderons tout d'abord sur les principales caractéristiques de la population d'anguille de l'étang de l'Or. Ensuite, les résultats du modèle de dynamique des populations et de l'opération de capture-marquage-recapture seront présentés et confrontés. Enfin, la gestion future de la population sera abordée par l'intermédiaire de *scenarii* de gestion et la mise en place d'outils opérationnels.

I. Facteurs influençant le stock d'Anguille

I.1. Les habitats disponibles

Espèce ubiquiste, l'Anguille s'adapte à tous les types de milieux aquatiques. Aussi, sur l'Etang de l'Or, la surface potentiellement disponible pour cette espèce représente 80,3 km² (soit 20% de la surface du bassin versant) dont 99% constitués de la lagune et ses zones humides associées (Figure 1).

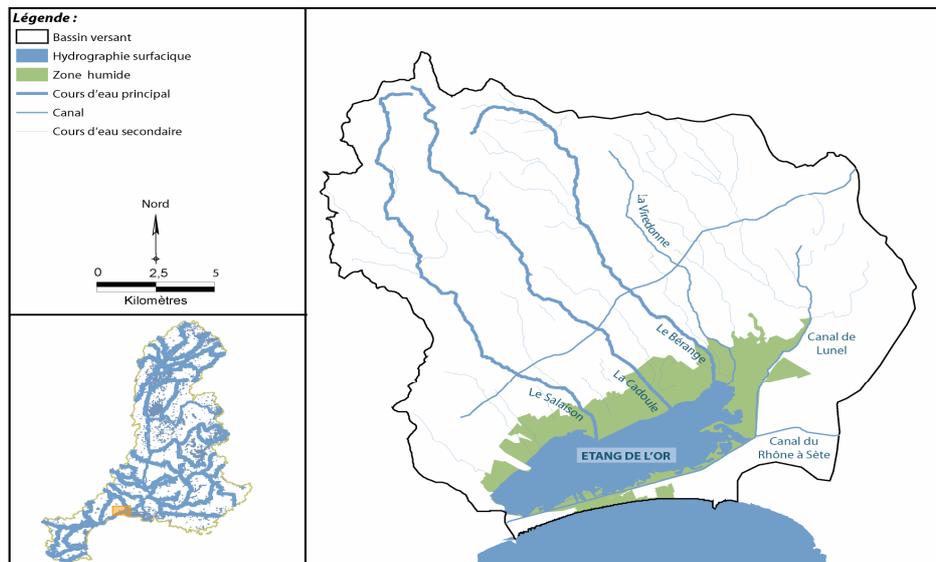


Figure 1 : Surfaces potentiellement disponibles sur le bassin versant de l'Etang de l'Or (BD Carthage, Banque Hydro, FDAAPPMA 34)

I.2. Les obstacles

Bien que la présence de seuils entrave la colonisation du bassin amont (Figure 2), les capacités de franchissement de l'Anguille (reptation) lui confèrent une accessibilité de la quasi-totalité des tributaires. Il n'en demeure pas moins qu'ils induisent un retard et une sélectivité des individus. Par ailleurs, la nécessité d'aménager ces ouvrages pour l'Anguille peut se poser au vu de l'assèchement de la quasi-totalité du réseau hydrographique en été, période pourtant favorable à leur migration de montaison et à leur croissance. Cependant, sur les cours d'eau pérennes différents aménagements pourront être effectués à savoir la mise en place de goulottes à anguille, de pré-barrages et de substrat plots selon les obstacles.

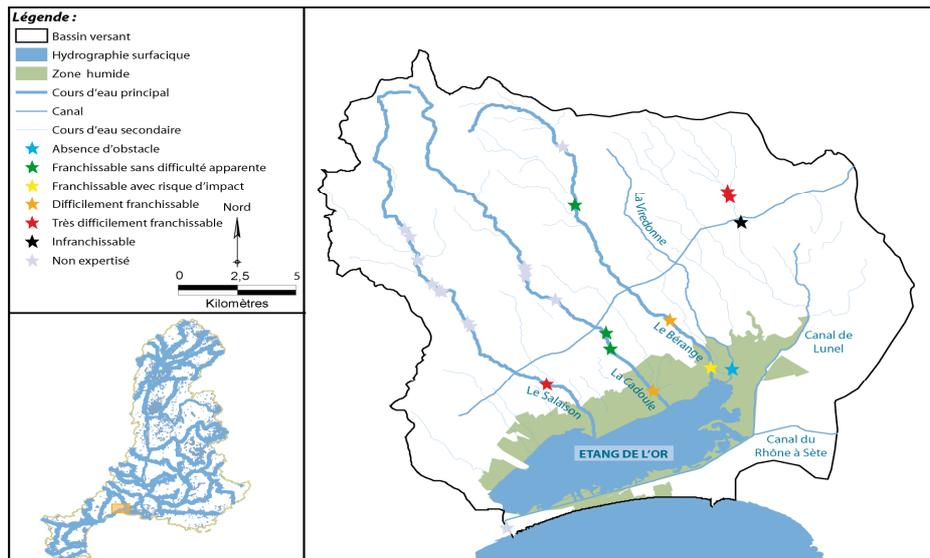


Figure 2 : Localisation des obstacles à la libre circulation piscicole (ONEMA, FDAAPPMA 34) et expertise de leur franchissabilité pour l'Anguille (Legault, 2009) (BD Carthage)

I.3. La qualité de l'eau

S'associe à cela la qualité de l'eau qui contribue de manière directe (mortalité) et indirecte (qualité des géniteurs et de la descendance) à l'évolution du stock d'Anguille. Aussi sur l'Etang de l'Or et ses tributaires, aucune contamination organique (pesticides, PCB, HAP, ...) et aux métaux lourds (excepté l'Arsenic sur le Salaison) n'est détectée jusqu'à présent. Pour autant, la qualité biologique des affluents (Figure 3) (macro-invertébrés et poissons) reflète une dystrophie du milieu, vraisemblablement accélérée par les faibles écoulements, sur la partie orientale du bassin versant ainsi que sur le Salaison. Même si il est difficile d'évaluer l'impact de la dégradation de la qualité physico-chimique sur cette espèce, elle reste néanmoins un facteur de diminution de la quantité d'oxygène disponible aux organismes vivants. Les rejets agricoles et domestiques sont à l'origine de cette pollution. Contrairement aux pollutions agricoles, les apports domestiques excessifs en nutriments et matières organiques sont facilement localisables. On citera entre autres les stations d'épuration de Saint Aunès, de Baillargues, de Vendargues et de Restinclières.

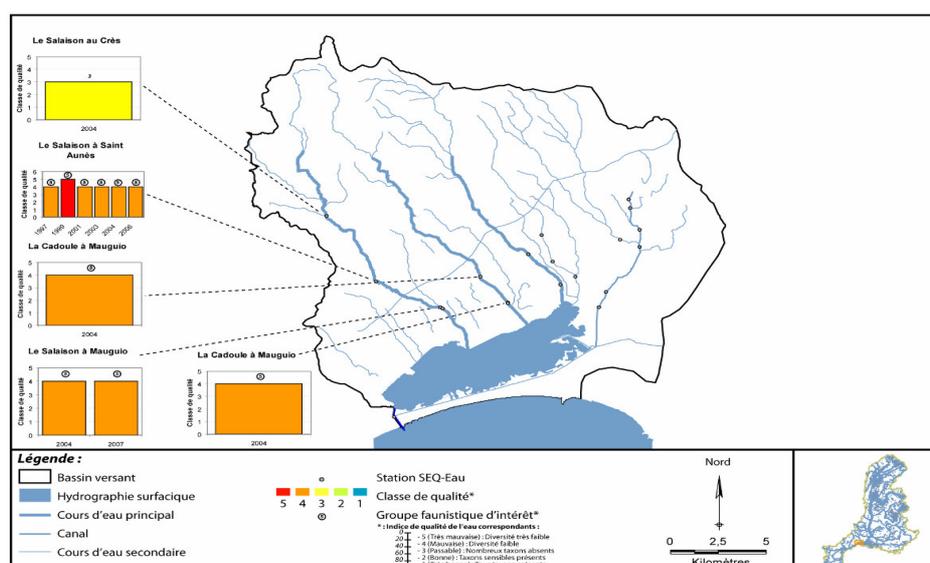


Figure 3 : Evolution des Indices Biologiques Globaux Normalisés (IBGN) sur les tributaires de l'Etang de l'Or (SEQ-Eau)

La dégradation de la qualité de l'eau des affluents contribue nécessairement à l'enrichissement de l'Étang de l'Or (Tableau 1). L'anthropisation croissante du bassin versant de l'étang conduit à des apports de plus en plus importants en sels nutritifs (Azote, Phosphore...) dans la lagune. Ses capacités limitées de digestion de la matière organique amènent à leur accumulation (AQUASCOP, 1997). Cette dernière est responsable en été de mécanismes de fermentation c'est-à-dire de la formation de zones d'anoxie et du développement de bactéries anaérobies, photosynthétiques et consommatrices d'hydrogène sulfuré (H₂S). Elle transparaît au travers des phénomènes de malaïgue, de plus en plus fréquents en période estivale sur la lagune et, au travers des mottes de Cascaïl (*Ficopomatus enigmaticus*), qui réciproquement sont responsables de son eutrophisation et son comblement. L'anoxie de l'étang induit alors de fortes mortalités en Anguille qui restent malheureusement, difficilement quantifiable. La partie orientale de la lagune est la plus concernée par ce phénomène, notamment à cause des apports des affluents mais également de la station d'épuration de la Grande-Motte dont le fonctionnement est jugé comme mauvais (FDAAPPMA 34, en cours). L'eutrophisation de l'étang agit également indirectement sur les anguilles par une sensibilité plus accrue de cette espèce aux pathogènes.

Tableau 1 : Evolution interannuelle (Juin / Juillet / Août) de la physico-chimie de la colonne d'eau sur l'étang de l'Or entre 1999 et 2008 (Données RSL – Ifremer

■ : Excellente ; ■ : Bonne ; ■ : Médiocre ; ■ : Mauvaise ; ■ : Très mauvaise)

	Or - Ouest										Or - Est									
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Saturation en oxygène (%)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Nitrates (µM)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Nitrites (µM)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ammonium (µM)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Azote inorganique dissous (µM)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Azote total (µM)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Phosphates (µM)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Phosphore total (µM)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Chlorophylle a (mg/m ³)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Chlorophylle a & phéopigments (mg/m ³)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Malgré le manque de connaissances sur les effets des pollutions chez l'Anguille, il convient que l'amélioration de la qualité biologique et physico-chimique de la lagune et de ses tributaires ne peut qu'être bénéfique pour sa population. Cet enjeu majeur de restauration des écosystèmes a été le fer de lance du Contrat de baie de l'Étang de l'Or achevé en 2006 et sera poursuivi dans le cadre du futur contrat afin de répondre aux objectifs de la DCE. À la lumière des résultats, les principales préconisations, déjà inscrites dans le programme, sont :

Poursuivre le suivi de la qualité de l'eau de la lagune et des affluents,

- Restaurer le fonctionnement physique des principaux cours d'eau (Salaison, Bérange et Cadoule,
- Moderniser les réseaux d'assainissement et les stations d'épuration, plus particulièrement celles de la Grande-Motte, Baillargues, Saint-Aunès, Vendargues et Restinclières.,
- Limiter les intrants agricoles (pesticides...).

I.4. La Prédation

Les comptages effectués par le Syndicat Mixte de Gestion de l'Étang de l'Or montrent un nombre moyen de 342 individus sur l'Étang de l'Or durant la période d'hivernage du grand cormoran.

En se basant sur une alimentation journalière de 340 g/individu/jour (Marion, 1997 in Clergeaux, 1997), la consommation du grand cormoran avoisine les 17 578 kg, soit 5,49 kg/ha de poissons consommés durant cette période. Cette quantité est non négligeable et peut fortement impacter la pêche suivant la proportion de l'anguille dans le régime alimentaire des cormorans de l'Étang de l'Or.

I.5. Le Parasitisme

La plus forte menace chez l'Anguille reste le parasitisme par *Anguillicola crassus*, dont les effets sur la qualité des géniteurs s'avèrent néfastes. En effet, sur la fraction argentée de la population d'Anguille, **96,12% ont une trace de parasitisme présent ou passé**. Cependant, aucune solution n'est envisageable.

I.6. La Pêche

La pêche influence directement le stock d'Anguille. Elle prélève annuellement entre 43 et 85 tonnes d'Anguille (entre 2002 et 2008) dans l'Étang (Figure 4). La pêche à la civelle sur la façade méditerranéenne étant interdite, la pression par pêche ne se réalise que sur les stades « Anguilllette », « Anguille jaune » et « Anguille argentée ». Bien que le nombre d'anguilles capturées ait fortement chuté depuis les années 70 - corrélativement avec celui de pêcheurs-, il est difficile de déterminer les causes de ce déclin notamment à cause de la méconnaissance des efforts de pêche. Cette activité a indéniablement un impact sur le stock d'Anguille. Or, aucune donnée ne permet de déterminer sa part de responsabilité dans l'évolution des captures ainsi que la représentativité du prélèvement pêché sur la population de l'Étang.

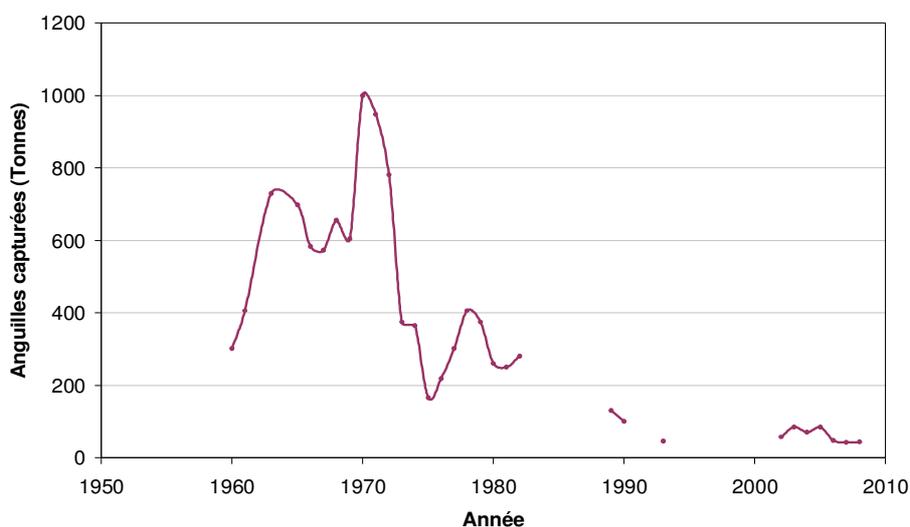


Figure 4 : Evolution des captures d'Anguille entre 1960 et 1982 (AQUASCOP, 1983), entre 1989 et 1993 (Ruiz, 1994) et entre 2002 et 2008 (GEAL) sur l'Étang de l'Or

Le suivi halieutique et l'étude sur la mortalité à la dévalaison, associés à la modélisation de la population d'Anguille sur l'Étang de l'Or, devraient permettre de répondre en tout ou partie à ses interrogations et ainsi, préconiser des actions pertinentes et efficaces concernant la pression par pêche.

II. Caractéristiques de -population d'anguilles du bassin versant l'Étang de l'Or

Avant toute utilisation des données dans le modèle, il est important de décrire l'échantillon ainsi que la population. En effet, de part ses caractéristiques, l'anguille peut fortement influencer un modèle de dynamique des populations. Elle ne se reproduit pas sur son lieu de vie et arrive donc en milieu continental avec une certaine taille qui sert de base pour évaluer sa croissance. Sa taille d'arrivée est donc essentielle. De plus, ce poisson, au cours de sa vie, change plusieurs fois de stade physiologique (leptocéphale, civelle, anguille jaune, anguille argentée). Le sexe des individus est également important chez l'anguille, certaines études ayant en effet montré des différences importantes de croissance et d'âge à maturité entre mâles et femelles. Le sex-ratio de la population prend donc toute son importance dans ces conditions. Enfin, l'état pathologique de la population est nécessaire pour connaître son niveau de santé. Toutes ces caractéristiques sont donc des connaissances à prendre impérativement en compte dans la dynamique de la population de l'Anguille européenne.

II.1. Sous-population de l'étang de l'Or

II.1.1. Matériel et méthodes

II.1.1.1. Le recrutement en civelles

Un **suivi qualitatif de l'entrée des civelles** dans la lagune a été effectué entre décembre et mai à l'aide de ganguis à alevins de maille 0,5 mm (prêtés par A.J. Crivelli de la Tour du Valat) placés en trois points de l'étang sous autorisation de pêche scientifique. L'ensemble des civelles capturées a été mesuré, pesé puis rejeté dans la lagune. Ce suivi qualitatif des civelles a permis de connaître la **taille moyenne des civelles** entrant dans la lagune.

II.1.1.2. Le suivi halieutique

Un **suivi de la pêche** a été réalisé de novembre 2008 à octobre 2009 une semaine par mois. Ce suivi a été effectué sur 2-3 pêcheurs comme suit : tous les matins, une personne accompagne les pêcheurs dans leur embarcation afin d'évaluer l'effort de pêche et les captures associées. Pour une partie des capétchades, le temps de pêche, la capture en poids et le point de localisation GPS sont notés. Un échantillonnage des captures est également effectué par prélèvement de l'intégralité d'une ou plusieurs queues de capétchades. Une fois à quai, les anguilles des échantillons sont endormies à l'eugénol puis mesurées à 5 mm près. Pour chaque anguille, le stade (jaune, argenté) ainsi que l'état sanitaire externe sont déterminés visuellement. Enfin, le poids de chaque échantillon est mesuré. Durant ce suivi, plus de 5 000 anguilles ont ainsi été échantillonnées. Ces données ont permis d'établir un **bilan sanitaire** de la population ainsi qu'une **structure en classes de taille** de 10 mm pour l'ensemble de la population exploitée ainsi que pour chaque stade. Les données de suivi de la pêche vont également permettre de réaliser le sous modèle de mortalité par pêche.

II.1.1.3. L'échantillonnage d'anguilles

Un **échantillon** de 290 anguilles, de classes de taille et de stades différents, a été acheté aux pêcheurs entre novembre 2008 et mars 2009. Sur cet échantillon, les anguilles ont été mesurées au millimètre près et pesées au gramme près. La détermination du sexe a été effectuée par observation macroscopique après dissection des individus. La détermination de l'âge a été faite par l'analyse des otolithes, préparés selon la méthode présentée en photographiés à l'aide d'une loupe binoculaire, puis âgés. Chaque *annulus* présent sur l'otolithe a été mesuré afin de rétrocalculer l'âge par la méthode de Fraser-Lee (1920, Panfili *et al.*, 2002). L'âge des individus est exprimé en jour en prenant le **1^{er} avril pour date de recrutement** dans la lagune comme cela a été fait en Camargue (Melia *et al.*, 2006a) et la **date de capture comme date de mort**. A partir de cet échantillon, des

structures en classes d'âges ont été établies. Le poids et la taille individuels des anguilles ont permis d'établir une **relation poids-taille**. L'âge des anguilles associé à leur taille a permis une analyse de leur **croissance moyenne**. Ces données vont également permettre l'établissement d'un modèle de croissance ainsi qu'un modèle de mortalité naturelle.

II.1.2. Résultats

II.1.2.1. Analyse des captures de civelles

Durant le suivi qualitatif des captures de civelles, 163 civelles ont été capturées en février dont 57 ont été mesurées et pesées. La taille moyenne des civelles arrivant dans l'Étang de l'Or a pu être estimée à 65,3 mm pour un poids moyen de 0,26 g. Les écart-types sont très faibles (respectivement 4,9 et 0,050), ce qui montre la relative homogénéité des civelles recrutées en février.

II.1.2.2. État sanitaire de la population

L'analyse sanitaire met en évidence l'existence de plusieurs pathologies externes : les morsures de cormoran, les abcès, les nécroses, les hémorragies, l'érosion (lésion superficielle de la peau) et la peste rouge (Tableau 2). Toutes ces pathologies, hormis la peste rouge, sont présentes chez moins de 0,9% de la population échantillonnée. La peste rouge de l'anguille est provoquée par des bactéries de genre *Aeromonas sp.*, *Vibrio sp.* ou *Pseudomonas sp.*, et entraîne des hémorragies sur tout le corps des anguilles (Baisez, non daté). Elle est présente chez 3,3 % de l'échantillon total. Cependant, cette pathologie est apparue principalement au mois de juin et représente, sur le suivi de ce mois, un pourcentage beaucoup plus élevé (23,3%). Ce pic ponctuel est donc beaucoup plus problématique et pourrait engendrer des mortalités importantes. La mortalité des anguilles observée dans les capétchades est de l'ordre de 1% des captures (en nombre). D'un point de vue global, l'état pathologique des anguilles de l'étang de l'Or est assez bon.

Tableau 2 : Etat sanitaire de la population (N=5967)

Pathologie	Total	%
Morsure cormoran	4	0.1
Erosion	12	0.2
Hémorragie	40	0.6
Abcès	3	0.0
Peste Rouge	179	2.8
Necrose	1	0.0
Parasitée	4	0.1
Mortalité	56	0.9

II.1.2.3. Structure de la population

Les anguilles ont été échantillonnées aléatoirement et donnent, dans une certaine mesure, une image de la population à partir du recrutement total des anguilles par l'engin.

La Figure 5 montre que la population d'anguilles jaunes capturées de l'Étang de l'Or est caractérisée par une petite taille : 75% des captures font moins de 300 mm. La pêche semble donc avoir un impact sur la structure de la population. Le recrutement total par les engins semble s'effectuer aux alentours de 230 mm (sommet du mode). Il y a très peu d'individus de grande taille supérieurs à 500 mm (3%) et les individus supérieurs à 700 mm ne représentent que 0,2%. La taille maximum des anguilles jaunes est d'environ 600 mm et celle des anguilles argentées de 840 mm (Figure 5). Il n'y a donc pas de grosses anguilles jaunes dans la lagune et on peut supposer que les grosses anguilles argentées proviennent des affluents et sont en transit dans la lagune. La structure en taille des anguilles argentées montre deux modes : l'un aux alentours de 380 mm et l'autre aux alentours de 580 mm laissant supposer un dimorphisme sexuel.

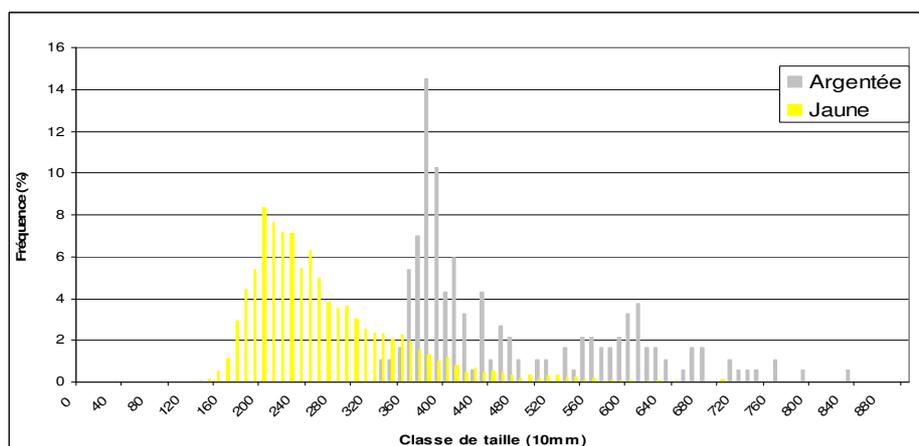


Figure 5 : Structure en taille de la population exploitée par stade (N=5781 pour les anguilles jaunes et N=186 pour les anguilles argentées)

II.1.2.4. Caractéristiques de l'échantillon

L'échantillon d'anguilles est constitué de 290 individus, dont 116 anguilles indifférenciées, 70 mâles et 104 femelles (Tableau 3). Quatre individus indifférenciés argentés n'ont pas pu être sexés, 2 mâles argentés, 2 femelles jaunes et 2 femelles argentées n'ont pu être âgés.

Tableau 3 : Caractéristiques de l'échantillon (entre () nombre d'anguilles n'ayant pu être âgés)

	N	Taille (mm)	Poids (g)	Age (jour)	Age (année)
échantillon total	290 (6)	132-760	2.8-1216	397-3081	1,09-8,44
Indifférenciés Jaunes	112	132-368	2.8-112	397-1509	1,09-4,13
Indifférenciés Argentés	4	351-437	68-158	978-1343	2,68-3,68
Mâles Jaunes	3	355-407	78-154	965-1147	2,64-3,14
Mâles Argentés	67 (2)	328-452	64-180	795-1273	2,18-3,49
Femelles Jaunes	72 (2)	316-605	58-448	962-2512	2,64-6,88
Femelles Argentées	32 (2)	453-760	176-1216	1327-3081	3,64-8,44

Les anguilles de l'échantillon sont assez jeunes (Figure 6a), 70% ont moins de 4 ans. Cependant, la majorité des mâles ont 3 ans et la majorité des femelles 4 ans (Figure 6b). Les femelles sont en moyenne plus âgées que les mâles (Welch Two Sample t-test, $p < 0,001$). Les mâles au stade jaune sont en très faible nombre alors qu'ils sont très nombreux au stade argenté.

Cet échantillon indique qu'il n'y a pas de recouvrement entre les tailles des anguilles argentées mâles et femelles sur l'Étang de l'Or, le plus grand mâle mesurant 452 mm et la plus petite femelle 453 mm. D'après le paragraphe précédent et l'échantillon, le premier mode correspond donc aux anguilles mâles et l'autre aux anguilles femelles. Le sex ratio des anguilles argentées apparaît ici très en faveur des mâles (67 mâles, 32 femelles).

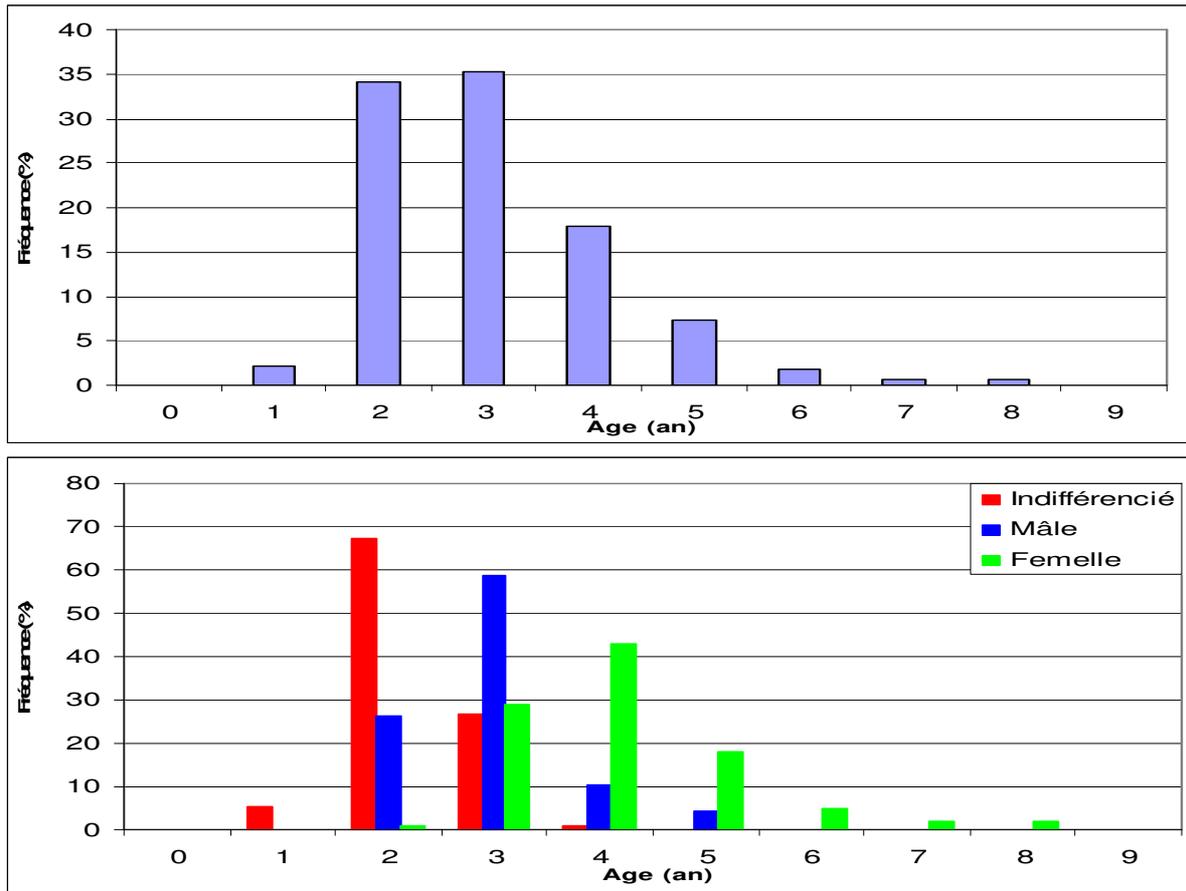


Figure 6 : a) Diagramme en groupe d'âge de l'échantillon (N=290) ; b) Diagramme en groupe d'âge par sexe de l'échantillon (N indifférenciés=116, N mâles=68, N femelles=100)

II.1.2.5. Relation taille-poids

Les données de taille et de poids de l'échantillon ont permis d'établir la relation : Poids = f(Taille) (Figure 7).

$$W = 7 \cdot 10^{-7} L^{3.16} \quad \text{soit : } W = 1 \cdot 10^{-3} L^{3.16} \quad \text{avec la taille en cm.}$$

($\ln a = -14,16$ d'où $a = \exp(-14,16) = 7 \cdot 10^{-7}$, $b = 3,16$ et $r^2 = 0,99$ (t-test, a, b significatifs, $p < 0,001$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,001$))

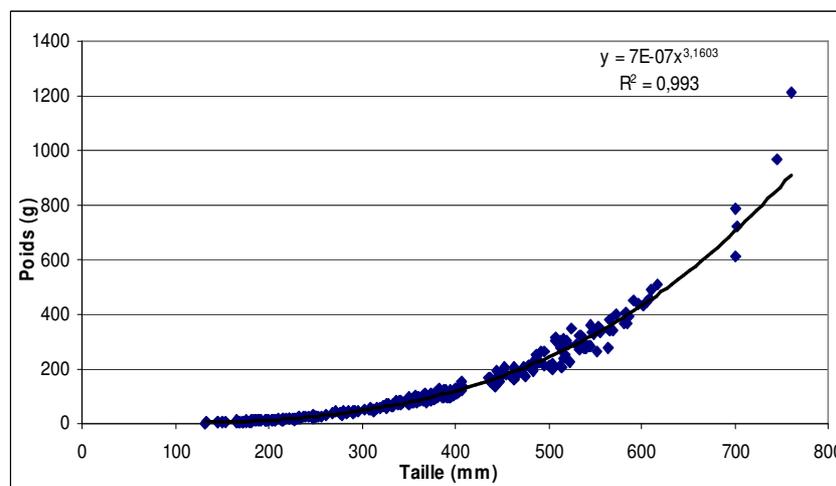


Figure 7 : Relation entre le poids et la taille des anguilles

II.1.2.6. Croissance moyenne

La taille des individus à l'âge 0 est établie par rapport au 57 civelles mesurées lors du suivi. Les résultats de taille et de croissance moyennes annuelles (Tableau 4) obtenues par otolithométrie (sans rétrocalcul) ne sont fiables que jusqu'à l'âge 6, les effectifs étant trop faibles pour les âges 7 et 8. La régression linéaire effectuée sur la Figure 8 indique une croissance moyenne de 8,7 cm/an entre l'arrivée des anguillettes dans la lagune et l'âge 6.

Tableau 4 : Taille et croissance moyennes obtenues par otolithométrie (sans les valeurs rétrocalculées), tous sexes confondus (6 individus n'ont pu être âgés sur l'échantillon de 290) (Les âges 7 et 8 sont donnés à titre informatif mais ne seront pas traités du fait du faible nombre d'individus)

Age	Nombre d'individus	Taille moyenne	Écart type
0	57	65.33	4.89
1	6	179.33	40.52
2	97	245.36	73.34
3	100	376.23	67.93
4	51	491.13	66.50
5	21	557.52	104.90
6	5	546.40	52.78
7	2	607.00	14.14
8	2	566.50	28.99

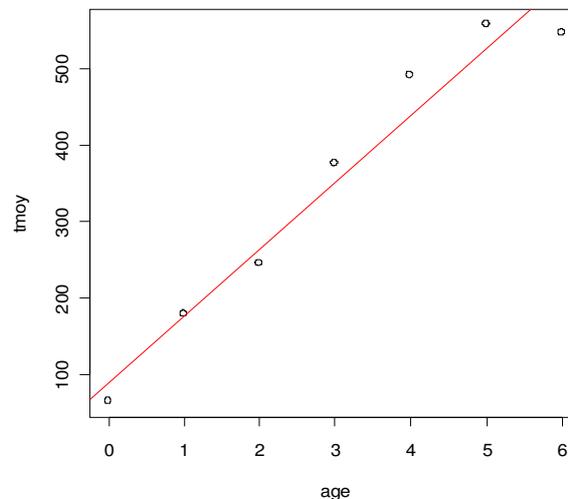


Figure 8 : Taille moyenne des anguilles en fonction de l'âge $Y = 87,3x + 89,6$, $r^2 = 0,95$ (t- test, a et b significatifs, a : $p < 0,001$, b : $p < 0,05$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,001$)

II.2. Sous-population d'anguilles des tributaires du bassin versant de l'Étang de l'Or

Dans cette étude, l'un des objectifs est de caractériser la population d'anguilles du bassin versant afin d'évaluer la production d'anguilles des affluents, mais aussi d'effectuer des comparaisons avec l'Étang de l'Or notamment en terme de croissance, parasitisme...

II.2.1. Matériel et méthodes

Sur l'Étang de l'Or, six affluents majeurs ont été identifiés (Figure 9) : le Salaison, la Cadoule, le Dardaillon Ouest, le Dardaillon Est, la Viredonne et le Bérange. Sur chaque affluent, une pêche électrique a été réalisée afin d'évaluer le peuplement piscicole et d'estimer l'importance de l'Anguille dans celui-ci. Un échantillon d'anguille a été prélevé sur deux affluents (Bérange, Salaison) afin d'analyser le parasitisme, d'âge les anguilles par otolithométrie et d'étudier leurs croissances.

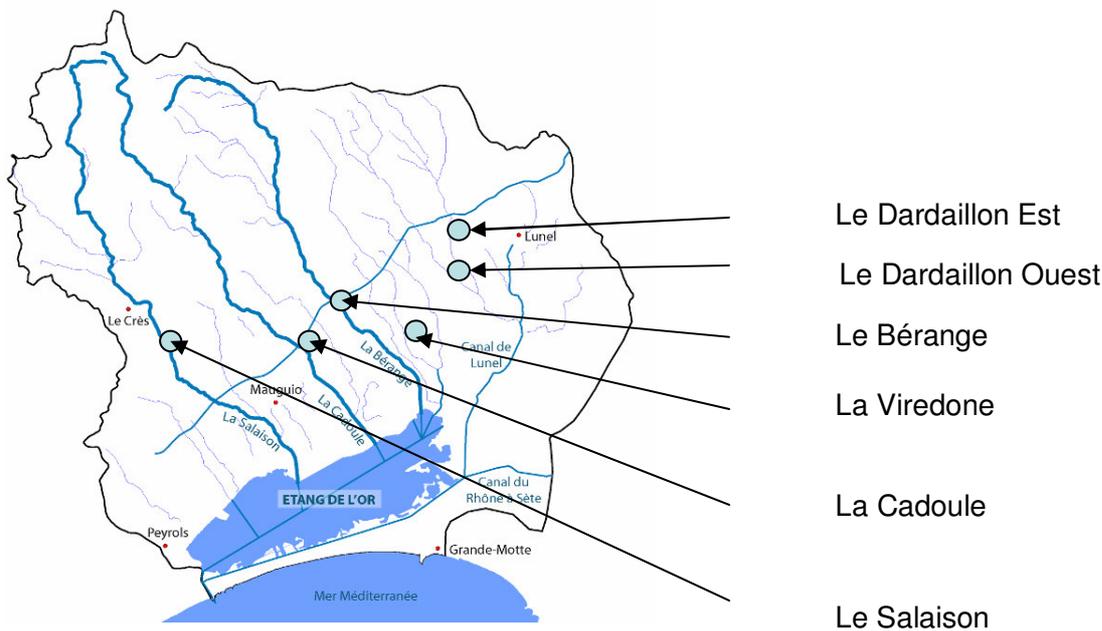


Figure 9 : Bassin versant de l'Étang de l'Or et de ses affluents. Chaque point bleu localise le lieu de la pêche électrique sur les différents cours d'eau.

II.2.2. Résultats

II.2.2.1. Richesses spécifiques, abondances et biomasses des espèces:

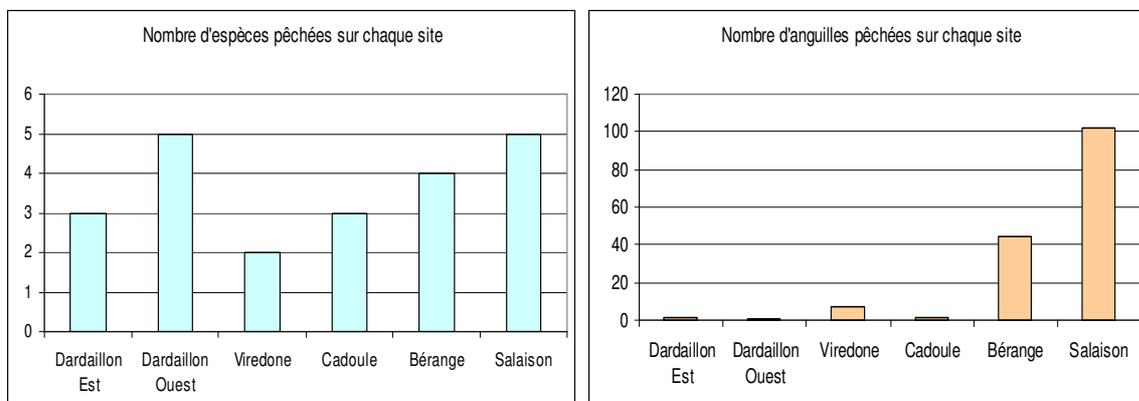


Figure 10 : a) Nombre d'espèces pêchées sur chaque site ; b) Nombre d'anguilles pêchées sur chaque site.

Pour les différentes stations, entre 2 et 5 espèces sont observées (Figure 10a). Ce

résultat montre une très faible diversité d'espèces sur chaque station. Si l'on s'intéresse plus particulièrement à l'Anguille, le nombre de captures varie entre 1 et 102 anguilles (Figure 10b). Leur nombre est donc très hétérogène entre les stations.

II.2.2.2. Structure en taille des populations d'anguilles du Salaison et du Bérange :

Les structures en classe de taille (Figure 11) sont assez similaires entre les deux sites. On observe en effet trois modes pour chacun des sites. Le sommet des modes sur le Bérange se situe aux classes de taille 150-180, 270-300 et 360-390 mm et sur le Salaison aux classes de taille 150-180, 240-270 et 330-360.

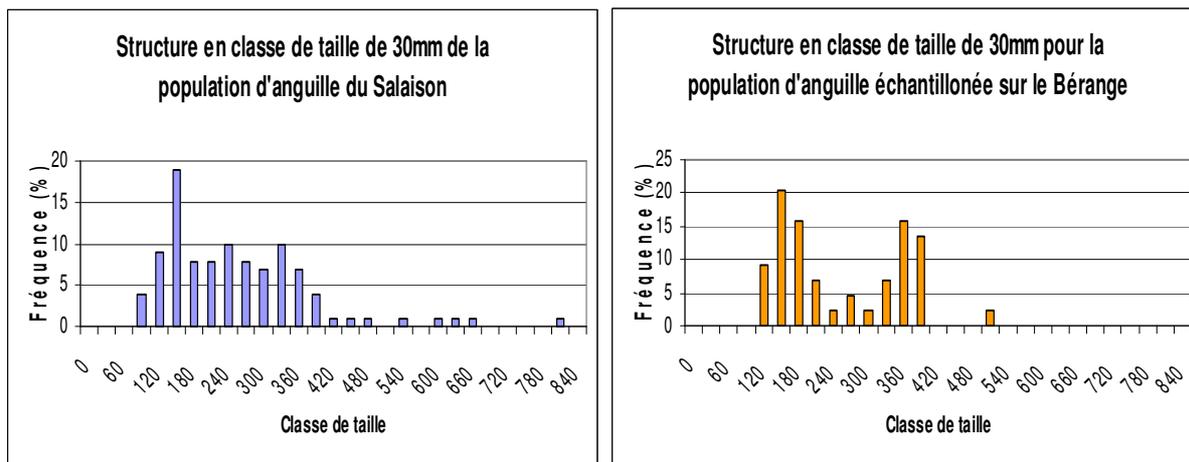


Figure 11 : Structure en classe de taille de 30 mm pour les anguilles du Bérange (N=45) et du Salaison (N=102)

II.2.2.3. Relation Taille/Poids

Pour une même taille, les anguilles échantillonnées sur le Bérange ont un poids plus important que celle échantillonnées sur le Salaison (Figure 12). Ceci met donc en évidence des caractéristiques physiologiques différentes pour les anguilles des deux stations d'échantillonnages.

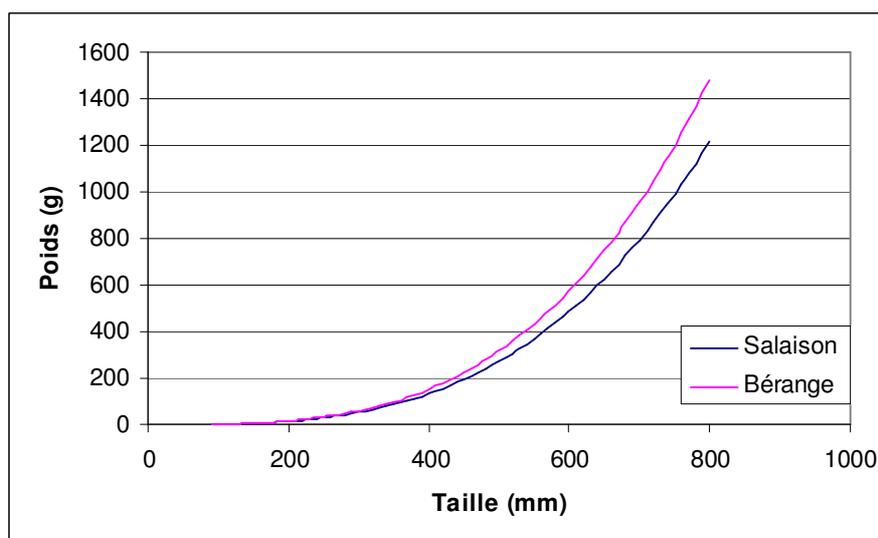


Figure 12 : Relation Taille-Poids pour les anguilles du Salaison (bleu) et du Bérange (rose).

II.2.2.4. Croissance moyenne :

Sur la Figure 13, la croissance moyenne des anguilles est linéaire. La régression effectuée suggère une croissance moyenne de 6,1 cm/an entre 1 et 6 ans.

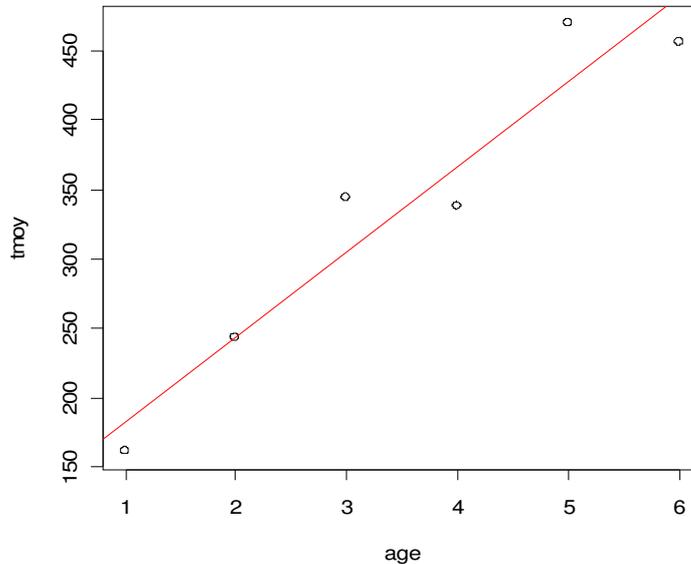


Figure 13 : Taille moyenne en fonction de l'âge $Y = 61,3 x + 120,9$; $r^2 = 0,90$ (t-test, a et b significatifs, a : $p < 0,01$, b : $p < 0,05$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,01$)

II.3. Comparaison affluents/lagune

II.3.1. Relation Taille/Poids

Plusieurs relations taille-poids ont été déterminées en fonction des différents milieux (lagune, affluents) :

$$\text{Lagune : } W = 7 \cdot 10^{-7} L^{3,16}$$

$$\text{Salaison : } W = 6,67 * 10^{-7} L^{3,19}$$

$$\text{Bérage : } W = 4,17 * 10^{-7} L^{3,29}$$

Une analyse de covariance réalisée sur les données taille, poids et site souligne un effet site significatif ($F < 0,001$). Cette analyse couplée un post test de Tukey met en évidence une différence significative de la relation taille-poids pour les anguilles du Bérage et de la lagune ($p < 0,01$) ainsi qu'entre celle du Salaison et du Bérage ($p < 0,01$). En revanche, il n'y a aucune différence significative entre la relation taille-poids de la lagune et celle du Salaison.

II.3.2. Croissance Moyenne

La croissance moyenne des anguilles de la lagune a été évaluée à 8,7cm/an entre leurs arrivés dans la lagune et l'âge 6. La croissance moyenne des anguilles des affluents (Salaison, Bérage) a été estimée à 6,1 cm/an entre l'âge 1 et l'âge 6. On note donc une différence de 2,6cm par an. Les conditions de croissance sont donc meilleures dans la lagune que dans les affluents. Ceci peut être expliqué en partie par les facteurs physique (T°) et biologique (nourriture disponible...).

II.3.3. Parasitisme par *Anguillicola crassus*

Ces résultats montrent des différences significatives entre la lagune et les affluents (Salaison + Bérage) en termes d'abondance ($p\text{-value} < 0,001$) et d'intensité ($p\text{-value} < 0,001$) du parasitisme (Tableau 5). Ceci est confirmé par une forte prévalence des anguilles fortement parasitées sur la lagune ($p\text{-value} < 0,01$). Les individus vivant dans la lagune sont donc plus fortement parasités que ceux vivant dans les affluents. Cependant, dans la population totale la part (prévalence) des individus parasités n'est pas significativement

différente et avoisine les 50%-60%. Le SDI pour les anguilles de la lagune et des affluents n'est statistiquement pas différent. La dégradation de la vessie est donc sensiblement la même. Les traces présentes ou passées de parasitisme sont assez élevées pour les différents sites et suggèrent donc qu'il est très difficile pour une anguille de ne pas se faire parasiter aussi bien dans la lagune que dans les affluents. Au vu de ces résultats, il semble que la salinité de l'étang de l'Or (en moyenne 18mg/l), assez faible, ne joue pas un rôle de barrière à la contamination par ce parasite.

Tableau 5: Comparaison des résultats de parasitisme entre la lagune et ses affluents

Critères	Lagune	Affluents	Test
Abondance	3,97	1,6	***
Intensité	6,39	3,09	***
Prévalence (%)	62,07	51,61	non significatif
Swimbladder Degenerative Index	1,84	1,92	non significatif
Prevalence SDI (%)	53,45	53,23	non significatif
Prévalence anguille avec trace présente ou ancienne de parasitisme (%)	84,14	90,32	non significatif
Prévalence anguille fortement parasitée (5 parasites ou plus) (%)	22,76	6,45	***

III. Modélisation de la dynamique de la population d'anguilles de l'étang de l'Or

III.1. Calibration des sous modèles et des paramètres d'entrés

Selon Laurec et Le Guen (1981) : « Un modèle peut être défini comme une entité mathématique que l'on substitue à la réalité. Un modèle n'a jamais la prétention d'épuiser la réalité. Ce n'est qu'une simplification, toujours abusive dans l'absolu. S'il n'épuise pas la réalité, le modèle doit en retenir l'essentiel, suffisamment réduit pour être manipulable. » On comprend donc bien que les modèles sont des outils puissants mais avec certaines limites.

Afin de réaliser le modèle de dynamique des populations proposé par Bevacqua *et al.* (2007), plusieurs sous-modèles sont nécessaires : de croissance, de mortalité naturelle, de mortalité par pêche et de maturation sexuelle.

III.1.1. Le sous modèle de croissance

L'analyse de la croissance est basée sur l'échantillon. L'âge a été retransformé en jour pour chaque individu en fixant la **date d'arrivée dans la lagune au 1^{er} avril et l'âge de mort à la capture**. La calibration du modèle de Von Bertalanffy par D. Bevacqua selon la méthode de Melia *et al.* (2006a) donne les résultats suivants (Figure 14) :

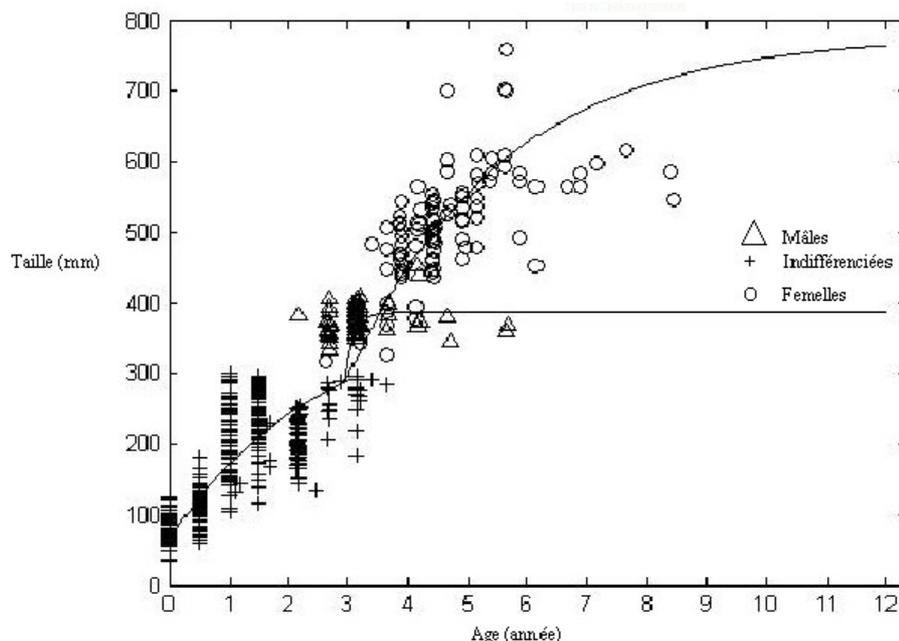


Figure 14 : Modèle de croissance de Von Bertalanffy calibré par D. Bevacqua (Indifférenciés : N=467 (116 observés et 351 recalculés) ; Femelle : N=100 ; Mâle : N=68)

La croissance des anguilles est modélisée selon trois courbes, une pour chaque sexe : Indifférencié, Mâle et Femelle. Ce modèle (Figure 14) permet d'obtenir un âge de différenciation sexuelle de 2,93 ans pour une taille de 286,72 mm.

III.1.2. Le sous modèle de maturation sexuelle

Pour cette étude, le temps et le taux de maturation des anguilles de l'Étang de l'Or ne sont pas disponibles. Ceux de la lagune du Vaccarès en Camargue publiés par Bevacqua *et al.* (2006) vont donc être utilisés (Figure 15). Le taux de maturation est ici considéré comme étant la probabilité pour une anguille jaune de devenir argentée sous un pas de temps mensuel. De plus, **on admet que la maturation sexuelle intervient uniquement pour les mois de septembre, octobre et novembre.**

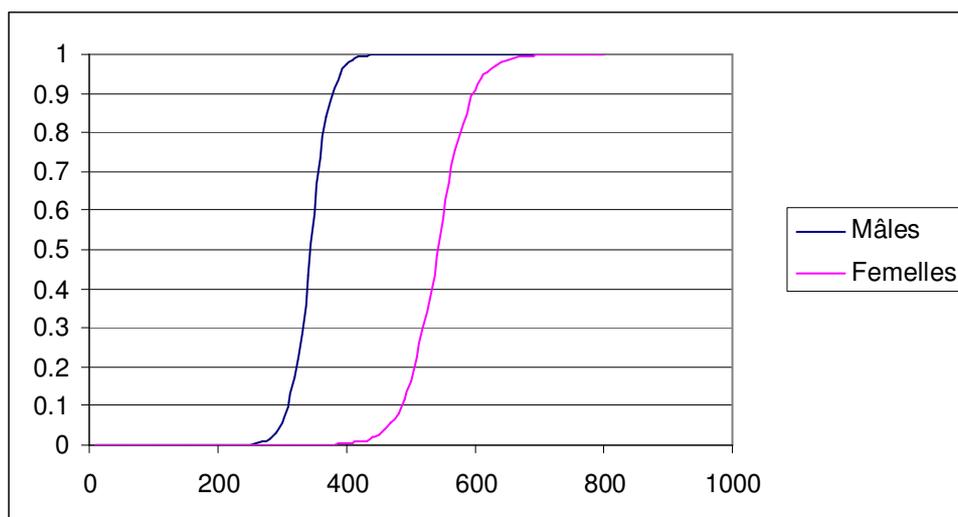


Figure 15 : Taux de maturation sexuel des mâles et femelles.

III.1.3. Le sous modèle de mortalité naturelle

Dans cette étude le modèle de mortalité naturelle utilisé est celui développé par Bevacqua (en cours de publication) qui utilise une mortalité naturelle dynamique dans le

temps et non pas constante (Figure 16). Cependant, elle n'est pas exprimée en fonction de l'âge des individus mais de leur taille. Il se base principalement sur la relation poids-taille.

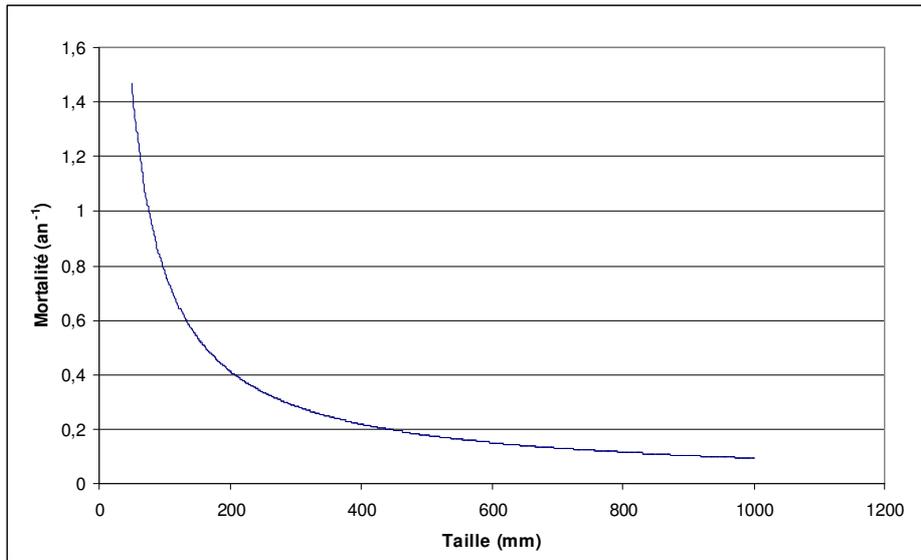


Figure 16: Mortalité naturelle en fonction de la taille pour l'Étang de l'Or

Sur la Figure 16, la mortalité naturelle diminue avec la taille. Plus l'anguille a une taille importante, moins elle a de chance de mourir naturellement.

III.1.4. Mortalité par pêche

III.1.4.1. Sélectivité

Avec une maille de 6 mm, les premiers poissons capturés par l'engin sont de petite taille, aux alentours de 13-14 cm (Figure 17). Les poissons sont considérés comme tous capturés à partir de la taille de 219 mm (sélectivité : 99%), expliquant ainsi le plateau. A la taille de 168 mm (L50), 50% des anguilles sont retenues par l'engin.

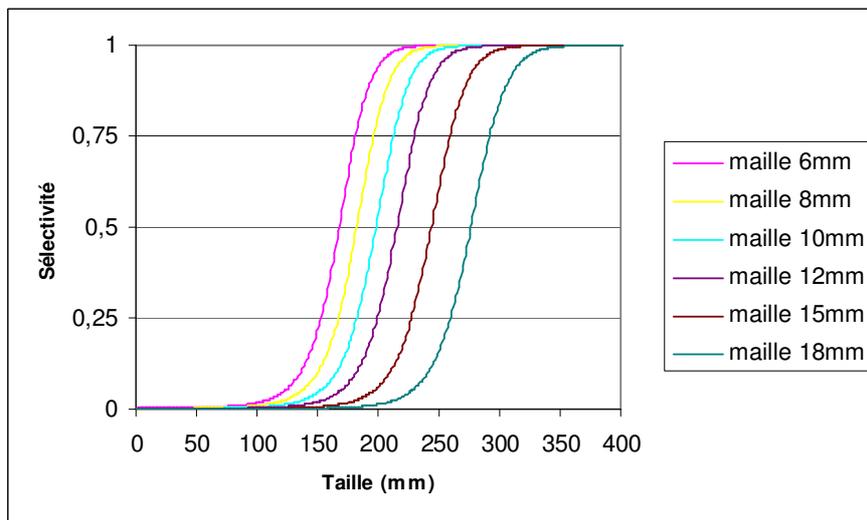


Figure 17 : Sélectivité des capétoches en fonction du maillage et de la taille des anguilles

III.1.4.2. Effort et Capture par Unité d'Effort

Les résultats de l'enquête montrent que les pêcheurs pêchent chaque jour de l'année, avec en moyenne 20 capétoches chacun (le maximum autorisé)(Plan National Anguille). Sur la période d'étude (novembre 2008-octobre 2009), le nombre de pêcheurs (Figure 18) est assez variable en fonction du moment de l'année, il varie de 3 pêcheurs en

décembre 2008 à 10 en octobre 2009. L'effort (Figure 19) est ici directement proportionnel à ce nombre de pêcheurs (produit du nombre mensuel de pêcheurs par le nombre moyen de capétheades). Deux pics sont visibles, l'un en juin avec 140 engins/jours et l'un à l'automne (septembre à novembre) avec un effort compris entre 150 et 200 engins/jours. L'effort des mois de juillet et août apparaissent relativement faible, cela étant dû à la nouvelle réglementation qui interdit la pêche du 15 juillet au 15 août (Plan National Anguille).

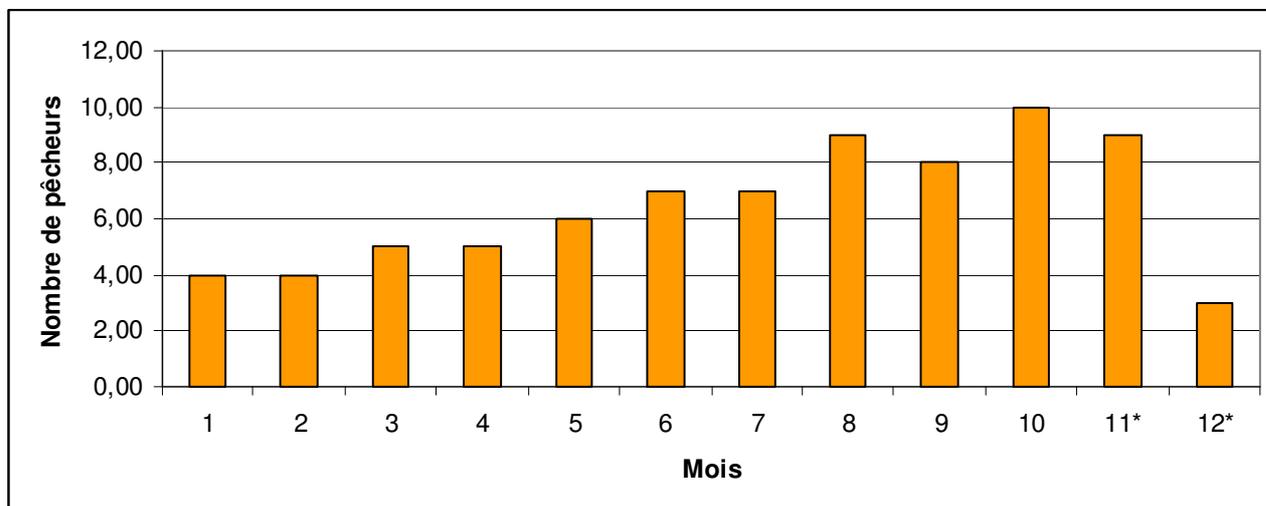


Figure 18 : Nombre de pêcheurs en fonction du mois de l'année (*données de 2008)

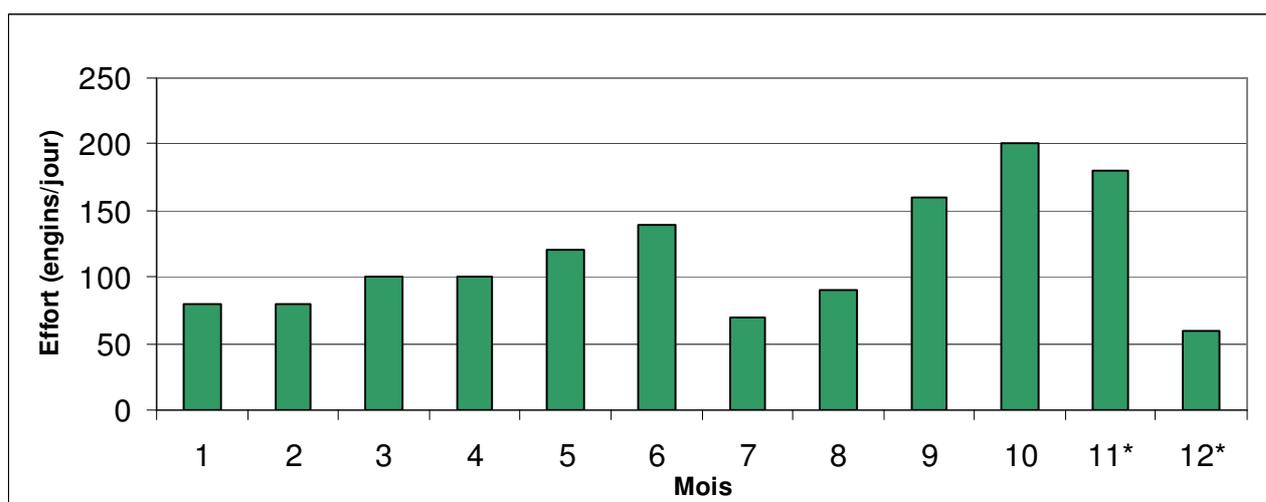


Figure 19 : Effort estimé à partir des enquêtes (*données de 2008)

III.1.5. Estimation du recrutement

Sur l'étang de l'Or, aucune donnée quantitative n'existe sur le recrutement des civelles dans la lagune. C'est pourtant le principal paramètre d'entrée des modèles de dynamique des populations en halieutique. A partir des captures aux âges de la pêcherie, de la mortalité naturelle moyenne à chaque âge et de la mortalité par pêche au dernier âge, il est possible d'estimer un recrutement, une abondance de chaque cohorte et une mortalité par pêche à chaque âge par la méthode de l'analyse non rectifiée des pseudo-cohortes.

L'analyse pseudo rectifiée des pseudo-cohortes a permis d'estimer la mortalité par pêche, la mortalité totale et l'abondance des anguilles pour chaque âge dans la lagune (Tableau 6). Ainsi, il est possible d'évaluer un recrutement d'environ 3 000 000 d'anguillettes (abondance à l'âge 0). Ce recrutement doit tout de même être considéré avec prudence du fait qu'il n'est calculé qu'à partir d'une seule année de données et que de nombreuses transformations des données entraînant des imprécisions ont été nécessaires pour

l'utilisation de cette méthode. De plus, ce recrutement n'est pas extrapolable aux années antérieures et encore moins aux années futures.

Tableau 6 : Analyse non rectifié des pseudo-cohortes

Age	Capture	M	F	Z	Abondance
0	34 939	0.68	0.0168	0.70	2 948 862
1	518 401	0.38	0.56	0.94	1 469 013
2	243 112	0.27	0.67	0.94	573 726
3	109 693	0.22	0.79	1.01	224 063
4	33 477	0.18	0.60	0.78	81 751
5	16 413	0.16	0.64	0.80	37 469
6	7 963	0.14	0.71	0.86	16 755
7	2 438	0.13	0.46	0.59	7 097
8	1 950	0.12	0.75	0.87	3 940
9	813	0.11	0.73	0.84	1 654

III.2. Le Modèle de dynamique de la population

Dans ce modèle, les différentes données obtenues et les sous modèles calibrés précédemment seront utilisés: le recrutement, le modèle de croissance, le modèle de mortalité naturelle, le modèle de maturation sexuelle, l'effort et la sélectivité.

Le sex ratio estimé est de 68% de mâles et 32% de femelles (cf IV.3.2.1)

Dans un premier temps, à partir du modèle présenté ci-dessous, des données du suivi halieutique et des captures de la pêcherie, la capturabilité des anguilles jaunes et argentées pourra être estimée. Toutes les données seront ainsi disponibles pour calculer le taux d'échappement de la lagune.

III.2.1. Capturabilité

A partir du modèle de dynamique de population, plusieurs valeurs de capturabilité des anguilles jaunes ont été testées, les autres paramètres du modèle restant constants. Ainsi, pour une capture de 45 tonnes, la capturabilité est évaluée à $0,0023 \text{ engins}^{-1} \text{ mois}^{-2}$.

Une fois la valeur de capturabilité des anguilles jaunes fixée, la capturabilité des anguilles argentées correspondant à des captures d'environ 7,6 tonnes a pu être estimée à $0,011 \text{ engins}^{-1} \text{ mois}^{-2}$.

A la vue de ces deux capturabilités, il apparaît que la capturabilité des anguilles argentées est 5 fois plus importante que celle des anguilles jaunes.

III.2.2. Echappement

Le modèle de dynamique de la population permet d'obtenir des données théoriques principalement de capture et d'échappement par rapport aux entrées du modèle (Tableau 7). Sans pression de pêche, l'échappement en anguilles argentées de la lagune est estimé à 88,9 tonnes. Cette biomasse peut être considérée comme biomasse pristine comme dans le modèle Camargue (Bevacqua *et al.*, 2007). La modélisation de l'exploitation actuelle permet d'évaluer un échappement, par rapport à cette biomasse pristine, d'environ 36% soit 32,2 tonnes. Cet échappement est inférieur au seuil de 40% de la biomasse pristine fixé par le Plan Nationale Anguille. La production actuelle d'anguilles argentées sur la lagune (échappement + anguilles argentées capturées) avoisine les 40 tonnes. L'échappement par rapport à cette production actuelle est quand à lui d'environ 80%.

Tableau 7 : Résultat du modèle pour la situation actuelle et la situation sans pression de pêche

	Scenario sans pêche	Actuellement
input anguillette	3000000	3000000
capturabilité anguille jaune	0	0,0023
capturabilité anguille argenté	0	0,011
nombre anguille jaune pêché	0	506628
Poids anguille jaune pêché (t)	0	45
nombre anguille argenté pêché	0	42501
Poids total argenté pêché (t)	0	7,6
Poids échappement totale (t)	88,9	32,2
Production argenté totale (t)	88,9	39,8
% biomasse échappement/pristine	100	36,2
% biomasse échappement/production actuel	100	81

Avec ce modèle, l'échappement en anguilles argentées **sans pression de pêche** (proche de la biomasse pristine) est de 88,9 tonnes sous l'hypothèse d'un recrutement de 3 000 000 d'anguillettes. Cet échappement est supérieur aux 62 tonnes estimées par Bevacqua *et al.* (2007) en Camargue. Cependant la production en Camargue pourrait atteindre 25 kg/ha (Bevacqua, 2008), ce qui s'approcherait de la valeur estimée sur l'Étang de l'Or. Ces 28 kg/ha d'échappement de biomasse pristine sont sensiblement plus élevés que ceux de deux lagunes d'Italie : 20 kg/ha observés dans la lagune de Comachio (Rossi, 1979 in Amilhat *et al.*, 2008) et 19 kg/ha dans une lagune de Sardinia (Rossi et Canas, 1984 in Bevacqua, 2008). Le résultat du modèle apparaît donc légèrement supérieur aux valeurs d'échappement de biomasse pristine de la littérature.

La production actuelle d'anguilles argentées sur l'étang de l'Or, **avec pression de pêche**, est estimée à environ 40 tonnes soit 12,6 kg/ha. Cette production est très inférieure à celle de 30kg/ha estimé sur Bages-Sigean mais située dans l'intervalle de valeurs 1,5-20 kg/ha avancé par Amilhat *et al.* (2008). Par rapport à cette production actuelle, l'échappement évalué avec le modèle est d'environ 80% ce qui concorde avec l'échappement évalué sur Bages-Sigean (Amilhat *et al.*, 2008). Il sera confirmé ou non par l'opération de marquage recapture. Cependant, l'échappement par rapport à la biomasse pristine est évalué à environ 36%, ce qui est inférieur au seuil des 40% fixé par le Plan National Anguille. Des mesures de gestion doivent donc être prises afin de répondre aux exigences réglementaires.

III.3. Validation du modèle par l'expérimentation : Estimation de l'échappement actuel, du stock et du taux d'exploitation des anguilles argentées par opération de capture-marquage-recapture.

Dans le cas de l'étang de l'Or, un modèle de dynamique de la population a été effectué à partir du modèle Camargue de Bevacqua *et al.* (2007). Afin de valider les résultats théoriques de ce modèle, une opération de marquage/recapture a été réalisée *in situ*. Celle-ci doit permettre, dans un premier d'estimer l'abondance du stock d'anguilles argentées, puis dans un second temps d'évaluer le taux d'échappement actuel et le taux d'exploitation. Les résultats obtenus seront comparés à ceux du modèle mais aussi à la littérature.

III.3.1. Matériel et méthodes

III.3.1.1. Opération de marquage

Pour cette opération, les anguilles argentées ont été achetées aux différents pêcheurs qui ont accepté de participer à l'étude. Le marquage des anguilles a été réalisé en trois fois :

- Lot 1/ du 12 au 16 octobre 2009,
- Lot 2/ du 26 au 30 octobre 2009,
- Lot 3/ du 12 au 13 novembre 2009.

Pour ce marquage, la sélection des anguilles argentées a été réalisée selon quatre critères évalués visuellement : robe argentée, diamètre de l'œil, allongement de la nageoire pectorale et pigmentation de la ligne latérale.

Chaque anguille a été marquée par un Pit-Tag de 12mm, diamètre 2mm, normé ISO 24631 (biocompatible) (Figure 20a). Le Pit-Tag est une marque semi passive qui délivre un code alphanumérique sous l'impulsion d'un champ électromagnétique. Ce code est unique, chaque anguille marquée possède donc son propre numéro. Les Pit-Tags ont été administrés dans la cavité viscérale des anguilles à l'aide d'un trocart après avoir été endormies avec de l'eugénol (Figure 20b). Après la pose de chaque marque, le matériel a été désinfecté à l'iode afin d'éviter toute transmission de maladie entre les individus.

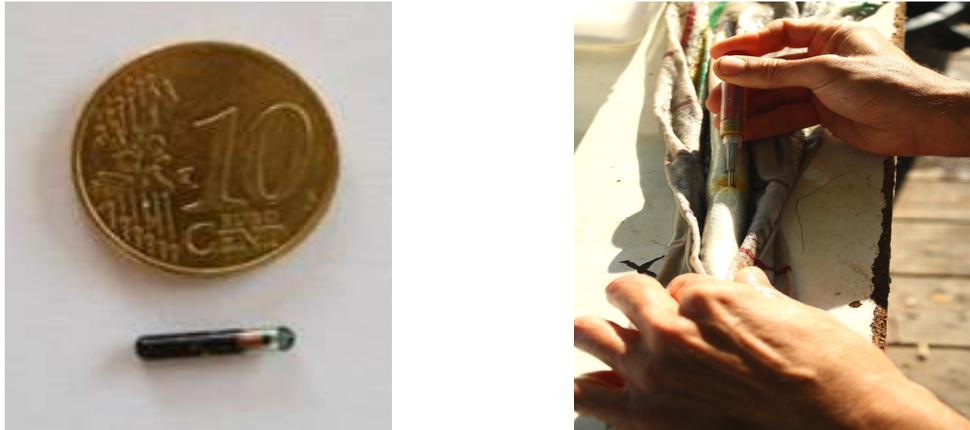


Figure 20 : a) Pit Tag, b) marquage d'une anguille au Pit Tag (source: Fish Pass)

Les trois opérations de marquage ont permis de marquer 711 anguilles argentées (207 pour la première opération, 330 pour la deuxième et 174 pour la troisième)

Pour chaque anguille marquée, une mesure de la taille a été effectuée. Sur un échantillon de 141 anguilles, le poids a également été mesuré pour la réalisation d'une courbe taille-poids. Une fois marquées, les anguilles ont été relâchées dans la lagune par lot à des points déterminés par GPS. Pour chaque lot relâché, la date a été notée, permettant ainsi d'évaluer approximativement le temps de séjour dans la lagune pour les individus recapturés.

III.3.1.2. Opération de recapture

Les recaptures sont réalisées par les pêcheurs durant toute la saison de pêche de l'anguille argentée (octobre 2009-décembre 2009) avec leurs techniques de pêche traditionnelle (pêche au poste et capéchades libres). Toutes les anguilles capturées sur l'Etang de l'Or sont achetées par le même mareyeur. La vente directe est considérée comme nulle.

Le contrôle de la recapture s'effectue chez le mareyeur au moment du tri des anguilles. En effet, à leur arrivée, les anguilles sont stockées dans des bassins puis passent toutes par une table de tri. Cette table se termine par un goulet d'environ 20 cm de diamètre par lequel toutes les anguilles de taille supérieure à 35 cm passent et, par conséquent, toutes les anguilles argentées. Une antenne et un récepteur-enregistreur ont été placés à cet endroit permettant de connaître le nombre d'anguilles marquées recapturées (Figure 21). Les anguilles recapturées suivent un circuit fermé de la lagune à l'antenne permettant de quantifier exactement les recaptures.



Figure 21 : Dispositif d'enregistrement des recaptures sur le trieur du mareyeur (source: Fish Pass)

III.3.2. Résultats:

III.3.2.1. Caractéristiques des individus marqués

Un total de 711 anguilles argentées a été marqué pour des tailles situées entre 350mm et 805mm. La structure en taille des individus marqués (Figure 22) montre deux modes, le premier dont le sommet se situe à 400 mm caractérise la fraction mâle de l'échantillon, et le deuxième dont le sommet se situe aux alentours de 590 mm caractérise la fraction femelle de l'échantillon. On remarque un très faible taux de recouvrement entre les deux modes entre 450 mm et 500 mm (2%). De plus, il a été montré précédemment sur la lagune que la taille limite entre mâle et femelle se situait aux alentours de 450 mm. Cette structure en taille permet donc d'évaluer une proportion de mâle de 67% à 69% dans la population. Par déduction, la proportion de femelle est évaluée entre 31 et 33%.

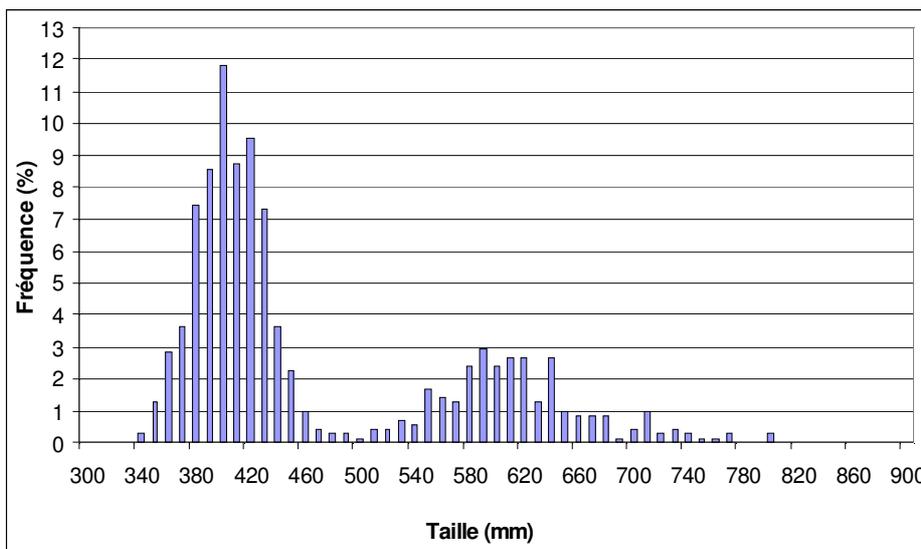


Figure 22 : Structure en taille des individus marqués (N=711)

III.3.2.2. Recapture

Les recaptures ont été effectués du 16 octobre au 23 décembre (Figure 23). Elles apparaissent sous forme de pic, soulignant la nécessité de conditions environnementales spécifiques pour migrer. De plus, des anguilles marquées en octobre ont été recapturées en décembre montrant ainsi que la durée de transit dans la lagune peut être supérieure à deux mois pour certains individus.

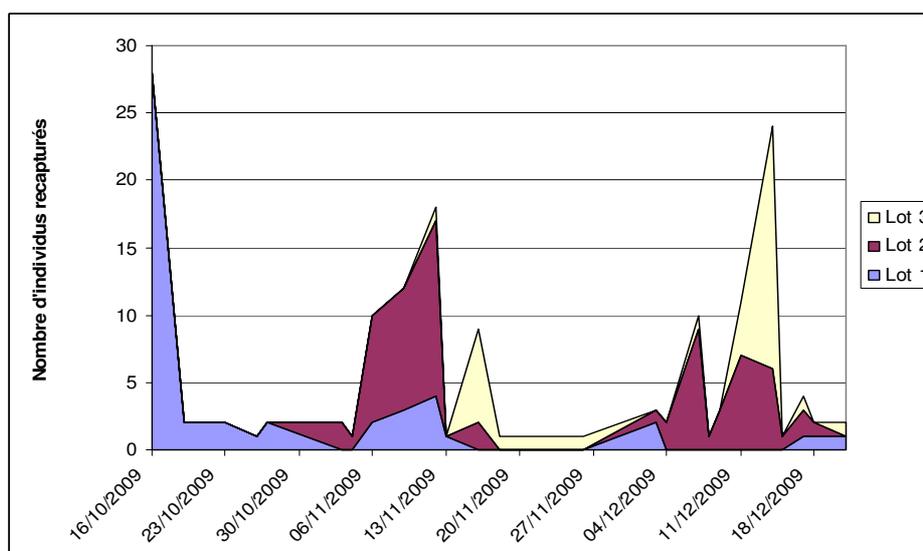


Figure 23 : Recapture des individus marqués de chaque lot en fonction du temps

III.3.2.3. Estimation de l'échappement, de la production et du taux d'exploitation des anguilles argentées

Parmi les 711 anguilles marquées, 149 ont été recapturées (21%) entre octobre et décembre (Tableau 8). Les captures totales d'anguilles de la pêcherie sur cette période ont été de 25 630 kg. La part d'anguilles argentées dans ces captures totales est estimée à 9051 kg, soit, pour un poids individuel moyen de 232g, un nombre de 39 013 individus.

Tableau 8 : Nombre d'anguilles marquées/recapturées et captures de la pêcherie entre octobre et décembre.

Marquage	Lot	Nombre individus marqués	Recapture			
			Octobre	Novembre	Décembre	Total
	Lot 1	207	35	10	2	47
	Lot 2	330	0	35	32	67
	Lot 3	174	0	10	25	35
	Total	711	35	55	59	149
Capture pêcherie totale (kg)			15192	5497	4941	25630
% Argenté			36	36	31	
Capture anguilles argentées estimé (kg)			5507	1998	1546	9051
Capture anguilles argentées estimé (N)			23738	8611	6665	39013

L'abondance des anguilles argentées dans la lagune représente 185 185 individus (Tableau 9), soit environ 42 963 kg (13,55 kg/ha). Leur taux d'exploitation est évalué à 21,1% (2,86 kg/ha), ce qui permet d'estimer un échappement de 78,9% (10,69 kg/ha) des anguilles argentées par rapport à la production actuelle.

Tableau 9 : Estimation de la population d'anguilles argentées, de leurs taux d'exploitation et leurs taux d'échappement.

	N	Std. Err	Taux d'exploitation (%)	Taux d'échappement (%)
Pooled Petersen	185 185 [158 993-211 377]	13363.26	21,1 [18,5-24,5]	78,9 [75,5-81,5]

III.3.2.4. Comparaison des résultats du modèle avec les résultats de marquages recaptures

Les valeurs obtenues avec le modèle apparaissent assez proches des valeurs observées sur le terrain (Tableau 10). Cependant, il apparaît que le modèle sous estime le

poids moyen individuel : 178g contre 232g avec l'opération de marquage recapture. Ceci a donc pour conséquence une surestimation des captures en nombre et une sous-estimation des captures en biomasse.

L'abondance déterminée avec la méthode de l'estimateur groupé de Peterson est de 185 185 individus avec un intervalle de confiance ($\alpha=5\%$) de 158 993-211 377 individus. L'abondance estimée par le modèle, 223 171 anguilles argentées, n'appartient pas à cet intervalle de confiance même s'il est très proche de la borne supérieure.

L'estimation de l'échappement à partir des captures et de la production permet d'évaluer un taux d'échappement de 81 % avec le modèle et de 78,9 % par l'opération de marquage/recapture. Ces deux taux d'échappement sont très proche mais significativement différent (KhiDeux = 52,49, df=1, $p<0,001$).

Tableau 10 : Comparaison entre les valeurs du modèle et celles du CMR

	Modèle	Marquage/Recapture
Poids moyen (kg)	0,178	0,232
Capture anguilles argentées (kg)	7 571	9 051
Capture anguilles argentées (N)	42 501	39 013
Production anguilles argentées (kg)	39 755	42 963
Production anguilles argentées (N)	223 171	185 185
Echappement actuel (kg)	32 184	33 912
Echappement actuel (N)	180 670	146 173
Echappement actuel (%)	81	78,9

IV. Amélioration de la méthodologie et Gestion de la pêche

IV.1. Acquisition de données

L'acquisition de données est le premier pas nécessaire pour la mise en place de processus de gestion. La collecte des données n'est pas une fin en soi mais est essentielle pour que les décisions soient prises en connaissance de causes. Les premières données ne permettent souvent que de dégager des tendances. Il est donc nécessaire de recueillir des données assez précises de façon continue afin de permettre une gestion de plus en plus fine. Sur l'étang de l'Or, les premières données ont été récoltées mais doivent être validées et compléter par des données supplémentaires.

IV.1.1. Capture et effort de pêche

La pêche est une activité très dépendante des conditions environnementales : chaque jour, chaque année, les captures sont différentes. Les conditions propices à de nombreuses captures sont difficilement prévisibles mais les pêcheurs sont très réactifs et peuvent ponctuellement augmenter considérablement leurs efforts de pêche afin de maximiser les captures. Un suivi ponctuel de la pêche (5 jours par mois), comme celui réalisé dans cette étude, peut difficilement retranscrire cette évolution. Toutes extrapolations sur un pas de temps plus long, surestimera ou sous-estimera les captures et l'effort déployé. Afin d'avoir des données plus précises, il est donc impératif de mettre en place des carnets de captures journaliers (Figure 23) pour l'ensemble de la pêche comme sur le lac de Grand Lieu (Adam, 1997).

Chaque jour, les pêcheurs devront noter pour chaque engin ou groupe d'engins relevé, le temps de pêche, le poids d'anguilles jaunes capturées (pesé ou estimé), le poids d'anguilles argentées (pesé ou estimé), la localisation des capêchades sur une carte de la lagune. Bien sûr, ces données resteront confidentielles et ne seront utilisées que dans un but scientifique et de gestion de la pêche.

Jour s	Localisation	Nombre de Capétheades	Temps de Pêche	Poids Total	Estimé/ Pesé	Poids Anguilles Argentées	Estimé/ Pesé
02/10/2009	G1	4	1	4kg	Estimé	1kg	Estimé
02/10/2009	G1	2	4	5kg	Pesé	1,2kg	Pesé
02/10/2009	F3	3	3	2,5kg	Pesé	0,5kg	Estimé
03/10/2009	E4	7	2	7kg	Estimé	1,6kg	Pesé



Figure 24 : Exemple de carnet de pêche

IV.1.2. Suivi de la population d'anguilles

Les données récoltées sur l'étang de l'Or durant cette étude ont permis de réaliser un état initial de cette population. Il est cependant important de poursuivre ce recueil de données dans le temps afin de disposer de séries temporelles importantes. Certaines données, essentielles pour la compréhension de la dynamique de la population, sont en effet assez simples à recueillir. Elles viendront compléter les carnets de capture qui devront être mis en place sur la lagune.

Dans les perspectives, d'une continuation de l'étude par le SMGEO, le protocole proposé ci-dessous pourrait être mis en place :

- Une fois par semaine, mesure des anguilles d'un échantillon aléatoire (une ou plusieurs queues de capétheades) avec un ichtyomètre et détermination de leurs stades
- Une fois par mois, en plus des mesures de taille, des mesures de poids individuel devront être effectués
- Relevé mensuel des carnets de capture des pêcheurs
- Relevé mensuel des captures de la pêcherie auprès du mareyeur.

De plus, certaines problématiques sont à développer:

- Estimation du recrutement
- Etude de la prédation aviaire par des comptages, des analyses de contenus stomacaux et des pelotes de rejections.
- Intensifier les études environnementales sur les affluents : dispositifs de franchissement, application de la DCE, mesures agro-environnementales, sensibilisation de la population et des collectivités.

IV.2. Des scénarii de gestion de la pêcherie

D'après la FAO (1999) : « Le seul mécanisme disponible pour maintenir la biomasse et la productivité d'une ressource consiste à limiter la mortalité par pêche **en réglementant**

le volume des prises, le moment de la capture, et la taille et l'âge au moment de cette capture. Pour réguler la mortalité par pêche, on peut employer diverses méthodes dont chacune aura des implications et donnera des résultats différents sur l'efficacité de la régulation de la mortalité, l'incidence sur les pêcheurs, la faisabilité du suivi, du contrôle et de la surveillance... »

IV.2.1. La sélectivité des engins

La sélectivité des engins est principalement liée au maillage. Plus la maille est importante, plus l'engin est sélectif : il cible les plus gros poissons. Sur l'étang de l'Or, les engins sont très peu sélectifs du fait d'un maillage fin (6mm en queue). L'engin capture donc toutes sortes de poissons pour une gamme de taille très large.

Cette sélectivité peut être modifiée par l'augmentation du maillage des engins. Le principe a été résumé par Beverton et Holt (1957) : l'utilisation de maille plus grande permet aux jeunes poissons de s'échapper, de grandir et de contribuer à la biomasse du stock les années suivantes.

Les résultats (Figure 25) montrent l'inefficacité actuelle de la pêcherie (point bleu). Les captures sont assez importantes (environ 53 tonnes) mais l'échappement est inférieure au seuil des 40%. Tout deux pourraient être plus importants en augmentant la taille des mailles. Avec une maille de 10 mm (point jaune), les captures seraient aussi importantes en biomasse avec un échappement respectant tout juste le seuil de 40%.

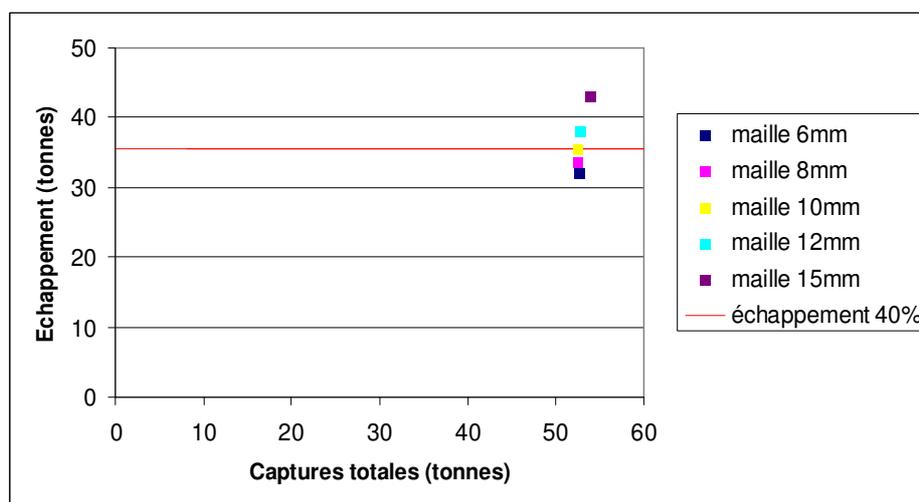


Figure 25 : Capture totale (anguilles jaunes et argentées) en fonction de l'échappement et du maillage.

IV.2.2. Taille minimale

Actuellement, sur tout le pourtour méditerranéen, la taille minimale de capture des anguilles est de 12cm (Plan National Anguille). Cette réglementation est respectée sur l'étang de l'Or, le maillage des engins ne permettant pas de capturer des individus de cette taille.

Malgré tout, la pression de pêche sur les petites anguilles est très forte : 75% des anguilles capturées mesurent moins de 30 cm. Une augmentation de la taille minimale de capture peut donc être envisagée. Cette mesure est très proche de l'augmentation des mailles. Cependant, elle ne nécessite pas de changer l'engin de pêche, elle requiert uniquement un tri des anguilles capturées.

L'augmentation de la taille minimale de capture permettrait de garder uniquement les individus de taille importante et de laisser grandir les plus petits individus. Cette mesure diminuerait les captures en nombre mais augmenterait les captures en biomasse. L'échappement serait lui aussi augmenté.

A partir d'une taille minimale de 200 mm (Figure 26), le seuil d'échappement est pratiquement respecté (39,9%) pour des captures en biomasse assez semblables. Une taille minimale comprise entre 230 et 280mm permettrait d'augmenter sensiblement l'échappement mais aussi les captures des pêcheurs.

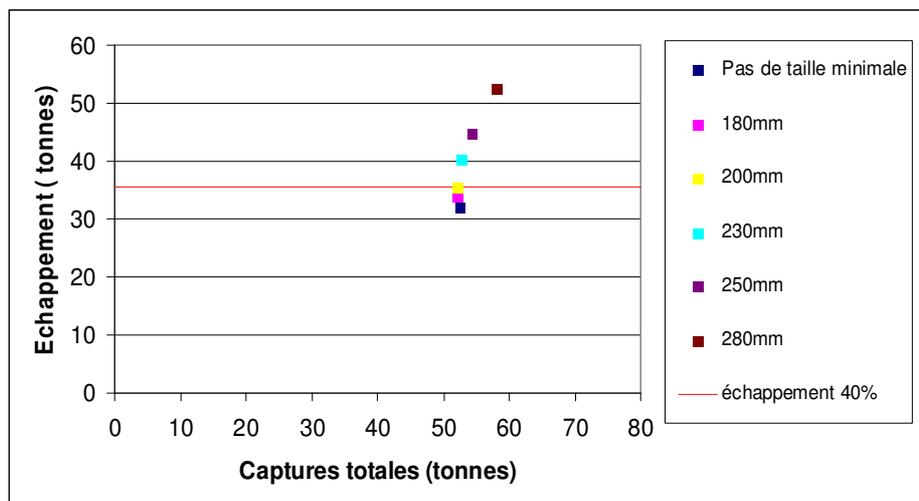


Figure 26 : Capture totale (anguilles jaunes et argentées) en fonction de l'échappement et de taille minimum de capture.

IV.2.3. Régulation de l'effort de pêche

Afin de diminuer l'effort, plusieurs actions sont possibles : réduction du nombre d'engin par pêcheurs, réduction du nombre de pêcheur, diminution du temps de pêche.

Dans le modèle de dynamique de la population utilisé, l'effort est calculé sur un pas mensuel. Cette diminution d'effort est donc calculée par rapport à l'effort mensuel présenté dans la Figure 18

Dans le cas présent, une diminution d'effort de 50% peut être obtenue de plusieurs façons :

- soit en fermant la pêche 2 semaines par mois ;
- soit en diminuant par deux le nombre d'engins autorisés par pêcheur (10 au lieu de 20) ;
- soit en divisant par deux le nombre de pêcheurs chaque mois (par exemple 5 au lieu de 10 en novembre)

Les résultats de la Figure 27 montrent que pour toutes diminutions d'effort il y a une diminution des captures totales de la pêcherie et une augmentation de l'échappement. Une baisse de 25% de l'effort mensuel permettrait de dépasser le seuil minimal des 40% d'échappement. Cette proposition de gestion pourrait avoir des conséquences importantes sur les captures de la pêcherie et l'économie locale mais serait bénéfique à la population d'anguilles.

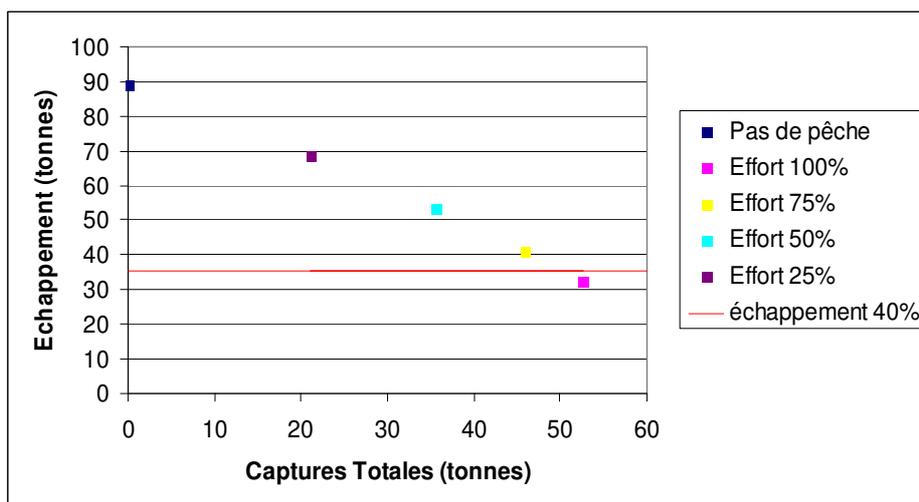


Figure 27 : Echappement (tonnes) en fonction des captures de la pêcherie et de l'Effort de pêche.

CONCLUSION

Cette étude réalisée sur l'Etang de l'Or, conjointement par MRM et FISH-PASS, est très complète. Elle a permis d'améliorer les connaissances sur la population d'anguille de cette lagune, sur son fonctionnement, sur son milieu de vie, sur les différents facteurs pouvant l'influencer, mais surtout d'évaluer l'échappement et de proposer des outils de gestion de la population d'anguille. Cette étude a été, depuis son commencement, très ambitieuse compte tenu d'une contrainte temporelle forte avec seulement une année pour sa réalisation et des données quasi inexistantes à son démarrage. Une étude de cette ampleur n'aurait pu aboutir sans la collaboration étroite des pêcheurs et du mareyeur local.

Les milieux lagunaires sont très riches et productifs, leur fonctionnement est très particulier, et leurs caractéristiques très variables d'un site à l'autre. Dans un premier temps, une attention particulière a donc été portée sur la description de la lagune et de son bassin versant afin de bien cadrer le système dans lequel se déroule cette étude. De nombreux facteurs pouvant influencer le stock ont été mis en évidence : une qualité de l'eau dégradée, une quasi-omniprésence du parasite *Anguillicola crassus*, une prédation aviaire naturelle mais non négligeable, une pression de pêche soutenue.... De nombreux obstacles sont également visibles sur les affluents pouvant ainsi bloquer ou ralentir les migrations anadromes. Cependant, la présence de l'Anguille sur chacun des affluents montre leur importance pour l'espèce. Ils sont donc à préserver par des mesures locales comme l'installation de dispositifs de franchissements, une sensibilisation de la population et des collectivités, mise en place de pratiques agro-environnementales... Différentes comparaisons (croissance, relation taille-poids, parasitisme, densité) ont montré des différences entre les anguilles de la lagune et celles des affluents, ainsi qu'entre les affluents. Ceci souligne l'existence de sous-systèmes au sein du bassin versant de l'étang de l'Or, complexifiant ainsi l'étude de la population. Ainsi, du fait de leur hétérogénéité, il est difficile de se prononcer sur la participation réelle de chacun des affluents dans la production totale du bassin versant. Des études complémentaires sont donc à envisager afin d'évaluer la mortalité induite par les pressions anthropiques autre que la pêche.

Cette étude s'est particulièrement concentrée sur la population de la lagune par l'établissement d'un modèle de dynamique de la population, en s'appuyant sur le modèle de Bevacqua *et al.* (2007), afin d'évaluer l'échappement des anguilles argentées. Ce modèle a ainsi permis d'évaluer une abondance actuelle de 223 171 anguilles argentées, un taux d'échappement actuel de lagune de 81% mais aussi un taux d'échappement par rapport à la

biomasse pristine (ici considérée comme la biomasse produite pour un effort de pêche nul) de 36,2%. Celui-ci apparaît donc en dessous de l'objectif des 40% du Plan National Anguille tout en étant très proche. Ainsi, il est apparu nécessaire de proposer différents outils et *scenarii* de gestion pour protéger cette espèce à l'échelle du Bassin Versant Or. Les différentes mesures de gestion, si elles sont correctement appliquées, ont un effet bénéfique pour l'espèce mais peuvent avoir des effets désastreux sur la pêche professionnelle. Certains des *scenarii* de gestion comme par exemple la mise en place d'une taille minimale de capture aux alentours de 23 cm permettraient à la fois de protéger l'espèce et de maintenir des niveaux de captures (en biomasse) viables pour les pêcheurs. Dans le but de valider les résultats du modèle une opération de marquage/recapture avec Pit-Tag et antenne a été réalisée. Elle a ainsi permis d'évaluer *in situ*, une abondance de 185 185 anguilles argentées, un taux d'exploitation de 21,1% et un taux d'échappement actuel de 78,9%. Ces résultats sont très proches de ceux estimés avec le modèle et permettent dans une certaine mesure de le valider.

Cette étude aura ainsi permis de récolter de nombreuses données mais aussi de réaliser un premier état des lieux de cette population. Cependant, les différents résultats n'apportent qu'une photographie à un instant T. Il paraît donc opportun de continuer d'étudier cette population pour, à moyen terme, percevoir et comprendre son évolution, puis à plus long terme la prédire. La gestion de la population d'anguille de l'étang de l'Or apparaît nécessaire. Un processus de gestion concertée avec l'ensemble des acteurs doit donc être mis en place.

L'approche mise en place sur l'étang de l'Or, alliant modélisation, études *in situ* et gestion, apparaît pertinente et très intéressante pour l'évaluation de l'échappement. Elle pourrait ainsi être mise en application sur d'autres lagunes...

D'un point de vue global, cette étude s'intègre complètement dans le contexte actuel de préservation de l'Anguille à l'échelle européenne en renseignant les spécificités locales d'une lagune et de son bassin versant. Elle viendra compléter les données déjà recueillies au niveau méditerranéen notamment en Camargue (Bevacqua, 2008) et sur la lagune de Bages-Sigean (Faliex *et al.*, 2009). Elle permet encore une fois de souligner l'importance des milieux lagunaires pour la préservation de l'anguille mais aussi la volonté d'une gestion concertée au niveau méditerranéen.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDALLAH Y., CRIVELLI A.J., LEBEL I., MAUCLERT V., HENISSART C., MAROBIN D., 2009. *État des lieux de la pêche professionnelle à l'Anguille (Anguilla anguilla) en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Association Migrateurs Rhône Méditerranée, Pôle Relais Lagunes Méditerranéennes, Station biologique Tour du Valat, Comité Régional des Pêches et des Elevages Marins PACA, Parc Naturel Régional de Camargue. 51 p. + annexes.
- ACOU A., LEFEBVRE F., CONTOURNET P., POIZAT G., PANFILI J., CRIVELLI A.J., 2003. Silvering of female eels (*Anguilla anguilla*) in two sub-populations of the Rhône delta. Bull. Fr. Pêche. Piscic. 368 : pp 55-68.
- ACOU A., BOURY P., LAFFAILLE P., CRIVELLI A., FEUNTEUN E., 2005. Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver European eel (*Anguilla anguilla* L.), Arch. Hydrobiol., 164 (2) : 237-255.
- ACOU A., 2006. Bases biologiques d'un modèle pour estimer la biomasse féconde de l'anguille européenne en fonction des recrues fluviales et du contexte de croissance: approche comparative à l'échelle de petits bassins versants, mémoire de thèse, Université de Rennes 1, 316p.
- ACOU A., GABRIEL G., LAFFAILLE P., FEUNTEUN E., 2009. Differential production and condition indices of premigrant eels (*Anguilla anguilla*) in two small Atlantic coastal catchments of France. In: Casselman, J. M., & Cairns, D. K. (eds), Eels at the edge: science, status, and conservation concerns. Amer. Fish. Soc. Symp., Bethesda, Maryland, 157–174.
- ADAM G., 1997. L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.1758): dynamique de la sous population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques, mémoire de thèse, université Paul Sabatier de Toulouse, 353p.
- ADAM G., FEUNTEUN E., PROUZET P., RIGAUD C., 2008. L'anguille européenne, Indicateurs d'abondance et de colonisation, éditions Quae, 393 p.
- AMILHAT E., 2007. Etat sanitaire de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* dans le bassin Rhône Méditerranée et Corse : synthèse bibliographique, Rapport Pôle lagunes et Cépralmar, CBETM, Université de Perpignan. 88p.
- AMILHAT E., FARRUGIO H., LECOMTE-FINIGER R., SIMON G., SASAL P., 2008. Silver eel population size and escapement in a Mediterranean lagoon : Bages-Sigean, France, Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 390-391, 05.
- ANDERSON, J.T., 1988. A review of size dependent survival during prerecruit stages of fishes in relation to recruitment, Journal of Northwest Atlantic Fishery Science, 8, 55-66.
- ANONYME, 1984. Rapports thématiques. Groupe National Anguille. 218 p.
- AQUASCOP, 1983. Étang de l'Or, étude des populations piscicoles, écobiologie des espèces et pêche, 161p.
- AQUASCOP, 1997. Aide à l'amélioration de la production halieutique de l'Étang de l'Or – Etude des conditions de migration et de vie en lagune. Syndicat Mixte de Gestion de l'Étang de l'Or : 82 p + annexes.
- AQUASCOP, 2004. Qualité des cours d'eau des bassins versants de l'étang de Thau et l'étang de l'Or – Rapport d'étape. Conseil Général de l'Hérault.
- ASHWORTH S.T., BLANC G., 1997. *Anguillicola crassus*, un colonisateur agressif récemment introduits dans les stocks européens d'anguilles, Bull. Fr. Pêche Piscic. , 344/345, 335-342.

AUDENAERT V., HUYSE T., GOEMANS G., BELPAIRE C., VOLCKAERT F. A. M., 2003. Spatio-temporal dynamics of the parasitic nematode *Anguillicola crassus* in Flanders, Belgium, Dis. Aquat. Org., 56: 223–233.

BAISEZ A., non daté. Indicateurs anguille Loire : Mortalités Naturelles par prédation. Tableau de bord anguille du bassin de la Loire, des Côtiers Vendéens et de la Sèvre Nioisaise : 10p.

BAISEZ A., non daté. Indicateurs Anguille Loire, mortalité sanitaire, rapport LOGRAMI, 8p.

BARICHE M., BOCQUEE N., 1997. Etang de l'Or : Les poissons et la pêche en milieu lagunaire sous influence potamique (Cabanes de Lunel). Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc : 31 p + annexes.

BEDDINGTON J.R., RETTIG R.B., 1984. Approaches to the Regulation of Fishing Effort, FAO, Document Technique sur les Pêches n°243, 39p.

BELLIARD J., ROSET N., 2006. L'indice Poissons Rivière (IPR) : notice de présentation et d'utilisation. Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques : 24 p.

BENAJIBA M.H., SILAN P., MARQUES A., BOUX G., 1994. Protozoaires et métazoaires parasites de l'anguille *Anguilla anguilla* L., 1758 : structures temporelles de leurs populations dans une lagune méditerranéenne. Ann. Sci. Nat. Zool. Biol. Anim., 15, 141–149.

BEVACQUA D., MELIA P., CRIVELLI A. J., GATTO M., DE LEO G., 2007. Timing and rate of sexual maturation of European eel in brackish and freshwater environments, Journal of Fish Biology, 69, 200-208.

BEVACQUA D., MELIA P., CRIVELLI A. J., GATTO M., DE LEO G., 2007. Multi-objective assessment of conservation measures for the European eel (*Anguilla anguilla*) : an application to the Camargue lagoons, ICES Journal of Marine Science, 64, 1483-1490.

BEVACQUA D., 2008. A modelling approach for conservation of European eel (*Anguilla anguilla*) and related fisheries, mémoire de thèse, Université de Parme, 87p.

BEVACQUA D., DE LEO G., GATTO M., MELIA P., 2009. Size selectivity of fyke nets for European eel *Anguilla anguilla*, Journal of Fish Biology, 74, 2178-2186.

BEVERTON R.J.H., HOLT S.J., 1957. On the dynamics of Exploited Fish Populations, Fisheries Investigations, Series II Volume XIX, UK Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.

BOURQUARD C., 1980. Les poissons de l'Etang de l'Or ou de Mauguio : inventaire, écologie, phénologie des espèces migratrices. DEA, Ecologie Générale et Appliquée, Université de Montpellier II : 84 p.

BRGM, 2007. Evaluation des échanges ente eaux souterraines et l'étang de l'Or – Action IV.2 Contrat de baie Etang de l'Or. Bulletin d'information n°4 : 6 p.

BRIAND C., FATIN D., FONTENELLE G., FEUNTEUN E., 2005. Effect of re-opening of a migratory axis for eel at a watershed scale (Vilaine river, Southern Brittany). Bull. Fr. Pêche Piscic. 378: pp 67:86.

BRIAND C., BAISEZ A., BARDONNET A., BEULATON L., FEUNTEUN E., LAFFAILLE P., LAMBERT P., PORCHER J. P., PROUZET P., RIGAUD C., ROBINET T., 2006. Connaissances, 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), Paris.

BRUSLE J., 1994. L'anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes, Bull. Fr. Pêche Piscic. 335, 237-260.

BUSH A. O., LAFFERTY K. D., LOTZ J. M., SHOSTAK A.W., 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis *et al.* revisited. J Parasitol 83:575-583.

CARPENTIER A., PAILLISSON J-M., MARION L. 2003. Etude des changements du peuplement ichtyologique du lac de Grand-Lieu et conséquences sur l'impact du Grand Cormoran, CNRS, UMR Ecobio, Univ. Rennes 1, 48p.

CARSS D., EKINS G., 2002. Further european integration: mixed sub-species colonies of Great Cormorants *Phalacrocorax carbo* in Britain – Colony establishment, diet, and implications for fisheries management, ARDEA, 90(1), 23-41.

CCE, 2003. Communication de la commission au conseil et au parlement européen. Développement d'un plan d'action communautaire concernant la gestion des anguilles européennes. COM(2003) 573 final, Bruxelles.

CEMAGREF, 1988. Suivi de l'influence de l'amenée d'eau douce du Vidourle dans l'Etang de l'Or – Compte-rendu de deux années d'étude physico-chimique et biologique : 22 p.

CEPRALMAR, 2002. Prud'homies du Languedoc Roussillon, Suivi de la pêche aux petits métiers. Conseil Régional du Languedoc Roussillon, Cépralmar : 65 pages.

CEPRALMAR, 2003. Suivi de la pêche aux petits métiers, année 2003, Prud'homies du Languedoc-Roussillon, Région Languedoc Roussillon, 47p.

CHASSOT E., GUITTON J., GASCUEL D., 2006. Analyse rectifiée des pseudo-cohortes, Activité « Modèles en Environnement Data-Poor, GT ISTAM, 6-12 Novembre 2006, 19 p.

COMPARINI A., RIZZOTTI M., RODINO E., 1977. Genetic control and variability of Phosphoglucose Isomerase (PGI) in eels from the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea. Marine Biology, 43: 109–116.

COMPARINI A., RODINO E., 1980. Electrophoretic evidence for 2 species of *Anguilla leptocephali* in the Sargasso Sea, Nature, 287, 435–437.

COGEPOMI, 1999. La filière anguille, d'après le dossier d'étude de L'ISARA, 31p.

COGEPOMI, 2006. Programme de gestion de l'anguille sur les lagunes méditerranéennes 2006-2008), Direction Régionale de l'Environnement Rhône-Alpes Bassin Rhône – Méditerranée ; 6 p.

CRIVELLI A., 1998. L'anguille méditerranéenne: synthèse bibliographique, COGEPOMI bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 81p.

CRIVELLI A.J., AUPHAN N., CHAUVELON P., SANDOZ A., MENELLA J.-Y., POIZAT G., 2008. Glass eel recruitment, *Anguilla anguilla* (L.), in a Mediterranean lagoon assessed by a glass eel trap : factors explaining the catches.

CROZE, O., LARINIER, M. - 2001. Libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière. Agence de l'eau ; DIREN, Lyon ; Lyon, Bassin Rhône Méditerranée Corse, guide technique n° 4 : 51 p.

DAEMEN E., CROSS T., OLLEVIER F., VOLCKAERT A. M., 2001. Analysis of the genetic structure of European eel (*Anguilla anguilla*) using microsatellite DNA and MtDNA markers., Marine Biology, 139, 755–764.

DANNEWITZ J., MAES G. E., JOHANSSON L., WICKSTROM H., VOLCKAERT A. M., JARVI T., 2005. Panmixia in the European eel: a matter of time, Proceedings of the Royal Society of London Series B, 272, 1129–1137.

- DARNAUDE A., MARCEL S., 1998. Suivi Ichtyique de la zone Nord-Est de l'Etang de l'Or (Cabanes de Lunel). Université de Montpellier II Sciences et Techniques : 13 p + annexes.
- DAROBIN D., 1998. Vertébrés et macroinvertébrés des lagunes de la région de Palavas : Biologie et Pêche (Cabanes de Pérols). Université de Montpellier II Sciences et Techniques : 14 p + annexes.
- DAVERAT F., LIMBURG K., THIBAUT I., SHIAO J.-C., DODSON J., CARON F., TZENG W.-N., IIZUKA Y., WICKSTROM H., 2006. Phenotypic plasticity of habitat use by three temperate eel species, *Anguilla anguilla*, *A. japonica* and *A. rostrata*, Mar Ecol Prog Ser, Vol. 308: 231–241.
- DAVEY A., JELLYMAN D., 2005. Sex determination in Freshwater Eels and Management Options for Manipulation of Sex, Reviews in Fish Biology and Fisheries, 15, 37-52.
- DEKKER W. 1999. A Procrustean assessment of the European eel stock. ICES Journal of Marine Science, 57, 938–947.
- DEKKER W., 2003. On the distribution of the European eel and its fisheries, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 60, 787-799.
- DEKKER W., 2004. Slipping through our hands, Population dynamics of the European eel, mémoire de thèse, université de Natuurwetenschappen, 186 p.
- DE LEO G. A., GATTO M., 1995. A size- and age-structured model for the European eel *Anguilla anguilla* L. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 52:1351-1367.
- DE LIGNY W. D., PANTELOURIS E. M., 1973. Origin of European eel, Nature, 246, 518–519.
- DIREN RHONE-ALPES, 2008. Plan de Gestion Anguille de la France - Volet local de l'Unité de Gestion Rhône Méditerranée. Secrétariat du COGEPOMI : 32 p.
- DUPONT F., PETTER A. J., 1988. 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
- DURIF C., DUFOUR S., ELIE P., 2005. The silvering process of *Anguilla anguilla*: a new classification from the yellow resident to the silver mirating stage, Journal of Fish Biology, 66, 1025-1043.
- EELREP. 2005. Estimation of the reproduction capacity of European eel. Quality of Life and Management of Living Resources. Final report Period 1 Nov 2001-31 Jan 2005.
- EGUSA S., 1979. Notes on the culture of the European eel (*Anguilla anguilla*, L.) in Japanese eelfarming ponds. Rapp. P.-V. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 174, 51-58.
- EL HILALI M., YAHYAOUI A., CHETTO N., 2004-2005. Etude de l'infestation des anguilles (*Anguilla anguilla*) par le parasite (*Anguillicola crassus*) dans l'estuaire du Sebou au nord-ouest du Maroc. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie n°26-27:39-42.
- ELIE P., ROCHARD E., 1994. Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus, Bull. Fr. Pêche Piscic. 335 : 81-98.
- ENGSTRÖM H., 2001. Effects of Great Cormorant Predation on Fish Populations and Fishery, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 670, Acta Universitatis Upsaliensis Uppsala, 43p.

FALIEUX E., AMILHAT E., LECOMTE-FINIGER R., FAZIO G., 2009. Protocoles de suivi de l'échappement et de la qualité sanitaire des anguilles argentées (*Anguilla anguilla*) en Méditerranée - Cas du bassin versant de la lagune de Bages-Sigean. Rapport Grisam. CBETM, Université de Perpignan. 65p.

FAO, 1999. Aménagement des pêcheries, Directives techniques pour une pêche responsable n°4, Rome, 91p.

FAZIO G., SASAL P., LECOMTE-FINIGER R., DA SILVA C., FUMET B., MONE H., 2008. Macroparasite communities in European eels, *Anguilla anguilla*, from French Mediterranean lagoons, with special reference to the invasive species *Anguillicola crassus* and *Pseudodactylogyrus* spp, Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 06, 90-391.

FDAAPPMA de l'Hérault, En cours. Schéma Départemental pour la Préservation, Restauration et Mise en valeur des Milieux Aquatiques de l'Hérault – Document de travail. Fédération de Pêche de l'Hérault, MISE Hérault, DIREN Languedoc-Roussillon, CG Hérault, CR Languedoc-Roussillon, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, ONEMA (SD et DIR 8) : 385 p.

FEUNTEUN E., ACOU A., LAFFAILLE P., LEGAULT A., 2000. European eel (*Anguilla anguilla*): prediction of spawner escapement from continental population parameters, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57,1627–1635

FEUNTEUN, E. 2002. Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. Ecological Engineering, 18 (5): 575-591.

FONTENEAU F., LE GENTIL J., PAILLISSON J-M., CARPENTIER A., MARION L., 2004. Etude de la prédation des grands cormorans (*Phalacrocorax carbo*) hivernant dans l'ouest de la France, CNRS, UMR Ecobio, Univ. Rennes 1, 62p.

FONTENELLE G., 1991. Age et longueur moyenne des anguilles (*A. anguilla*) en Europe, une revue critique. EIFAC working party on eel (Dublin), 16 p.

GASCUEL D., 1986. Flow carried and active swimming migration of the glass eel (*Anguilla anguilla*) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast, Helgoland Marine Research, 40, 321-326.

GASCUEL D., FONTENELLE G., 1994. Approche conceptuelle de la modélisation de la dynamique du stock d'anguilles dans un bassin versant : intérêt et adaptation du modèle de rendement par recrue, Bull. Fr. Pêche Pisciculture, 332, 43-56.

GASCUEL D., 1995. Effort et puissances de pêche : redéfinition des concepts et exemple d'application, p.159-182 in GASCUEL *et al.* (éd.), Les recherches françaises en évaluation quantitative et modélisation des ressources et des systèmes halieutiques, Premier Forum Halieutique, Rennes 29 juin au 1^{er} juillet 1993, ORSTOM Editions, collection colloques et séminaires, 380p.

GASCUEL D., 2007. Dynamique des populations et gestion des stocks halieutiques, Support de cours en ligne, Agrocampus Rennes/Campus numérique ENVAM éd., Rennes, France, 126p.

GARGOURI BEN ABDALLAH L., MAAMOURI F., 2005. Dynamique évolutive des communautés des digènes parasite de *Anguilla anguilla* dans les lagunes du nord-est de la Tunisie. Bull. Soc. zoll. Fr. 130:95-106.

GERMAIN L., 1927. La distribution géographique des anguilles, Bull. Soc. Océa. Fr.

GIRARD P., 1998. Le poisson sentinelle des milieux aquatiques : pertinence et optimisation des indicateurs sanitaires. Bull. Fr. Pêche Pisci : pp 429-443.

GORDO L., JORGE I., 1991. Age and Growth of the European eel (*Anguilla anguilla*) in the Aveiro Lagoon, Portugal, SCI. MAR., 55, 389-395.

GOSSET C., TRAVADE F., DURIF C., RIVES J., GARAICOECHEA C., 2000. Etude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée – Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique de Halsou (Nive-64). INRA/EDF rapport de contrat 35 p.+annexes.

GREMILLET D., 1997, Catch per unit effort, foraging efficiency, and parental investment in breeding great cormorants (*Phalacrocorax carbo carbo*), ICES Journal of Marine Science, 54, 635-644.

GREMILLET D., ENSTIPP M.R., BOUDIFFA M., LIU H., 2006. Do cormorants injure fish without eating them? An underwater video study, Mar. Biol., 148, 1081–1087.

GRISAM, 2006. Connaissance, outils et méthode 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), 82p.

GULLAND J.A., 1987. Natural mortality and size, Marine Ecology Progress Series, 39, 197-199.

GUNDERSON D.R., DYGERT P.H., 1988. Reproductive effort as a predictor of natural mortality rate, J. Cons. Int. Explor. Mer., 44:200-209.

HAMPTON J., 2000. Natural mortality rates in tropical tunas : size really does matter, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 57, 1002-1010.

HENAUX V., 2006. Dynamique d'une population gérée par l'homme : dispersion, densité-dépendance et destructions hivernales chez le grand cormoran, mémoire de thèse, Université de Montpellier II, 251p.

ICES, 2003. Report of the Study Group on Age-length Structured Assessment Models, 3-6 juin 2003, Bergen, Norvège, 94p.

ICES, 2003. Report of the Joint EIFAC/ICES. Working Group on Eels (WGEEL). Pasaia, Spain.

IFREMER, 2002. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2001. Rapport RSL-02/2002.

IFREMER 2006. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2005. Rapport RSL-04/2004 : 450 p

IFREMER, 2007. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2006. Rapport RSL-07/2007 : 482 p.

IFREMER, 2008. Réseau de Suivi Lagunaire du Languedoc-Roussillon : Bilan des résultats 2007. Rapport RSL-08/2008, 363 p.

JELLYMAN D.J., 1989. Diet of two species of freshwater eel (*Anguilla spp.*) in Lake Pounui, New Zealand. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, Vol. 23 : pp 1-10.

KELLER T., 1995. Food of cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* wintering in Bavaria, Southern Germany, ARDEA 83(1), 185-192.

KETTLE J., HAINES K., 2006. How does the European eel (*Anguilla anguilla*) retain its population structure during its larval migration across the North Atlantic Ocean?, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 63: 90–106.

KIRBY J.S., HOLMES J.S., SELLERS R.M., 1996. Cormorants *Phalacrocorax carbo* as fish predators: an appraisal of their conservation and management in Great Britain. Biological Conservation, 75, 191-199.

- 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(3):211-218.
- KNIGHTS B., BARK A., BALL M., WINTER E., DUNN S., 2001. Eel and Elver stock in England and Wales - status and management options, Rep. No. R&D technical report N° W248. Environment Agency, Bristol.
- KNOPF K., WURTZ J., SURES B., TARASCHEWSKI H., 1998. Impact of low water temperature on the development of *Anguillicola crassus* in the final host *Anguilla anguilla*. *Dis Aquat Organ* 33(2):143-149.
- KORTAN J., ADAMEK Z., FLAJSHANS M., PIACKOVA V., 2008. Indirect manifestation of cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis* (L.)) predation on pond fish stock, *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* (2008) 389, 01.
- LAFFAILLE P., FEUNTEUN E., BAISEZ A., ROBINET T., ACOU A., LEGAULT A., LEK S., 2003. Spatial organization of European eel (*A. Anguilla*) in a small catchment, *Ecology of freshwater fish*, 12, 254-264.
- LAFFAILLE P., BAISEZ A., RIGAUD C., FEUNTEUN E., 2004. Habitat preferences of different European eel size classes in a reclaimed marsh: a contribution to species and ecosystem conservation. *Wetlands*, 24 : pp 642–651.
- LAFFAILLE P., ACOU A., GUILLOUET J., LEGAULT A., 2005. Temporal changes in European eel, *Anguilla anguilla*, stocks in a small catchment after installation of fish passes. *Fisheries Management and Ecology*, 12 : pp 123-129.
- LAFFAILLE P., CARAGUEL J.-M., LEGAULT A., 2007. Temporal patterns in the upstream migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*) at the Couesnon estuarine dam.
- LAMBERT P., FEUNTEUN E., CRIVELLI A. J., 2003. L'anguille, un défi pour les scientifiques compte rendu des journées anguilles du GRISAM, la Tour du Valat, 26-29 mars 2001, *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 368, 1-8.
- LAMBERT P., 2005. Exploration multiscalaire des paradigmes de la dynamique de la population d'anguilles européennes à l'aide d'outils de simulation, mémoire de thèse, université de Bordeaux 1, Cemagref, 219p.
- LAMBERT P., ROCHARD E., 2007. Identification of the inland population dynamics of the European eel using pattern-oriented modelling. *Ecological Modelling* 206: 166-178.
- LANGON M., DARTIGUELONGUE J., 1997. La dévalaison des anguilles (*Anguilla anguilla*) argentées. Test de deux éxutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique EDF d'Halsou (Nive-64). Toulouse, SCEAA, rapport, 100 p.
- LASNE E., LAFFAILLE P., 2008. Assessing the freshwater distribution of yellow eel. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.* 04 : pp 390-391.
- LAUREC A., LE GUEN J.-C., 1981. Dynamique des populations marines exploitées : 1. Concepts et modèles, CNEXO, Rapports Scientifiques et Techniques, 45, 118 p.
- LECOMTE-FINIGER R., 1976. Contribution à l'étude biologique et écologique des civelles (*Anguilla anguilla* Linné 1758) lors de leur pénétration dans un étang méditerranéen, *Vie Milieu*, 26, 123-144.
- LECOMTE-FINIGER R., 1983. Contribution à la connaissance de l'écobiologie de l'anguille, *Anguilla anguilla* L. 1758, des milieux lagunaires méditerranéens du Golfe du Lion : Narbonnais et Roussillon. Thèse de doctorat. Université de Perpignan, 203p.

LECOMTE-FINIGER R., 1992. Growth history and age at recruitment of European glass eels (*Anguilla anguilla*) as revealed by otolith microstructure, Marine Biology, vol. 114, n°2, pp. 205-210.

LEFEBVRE F., CONTOURNET P., CRIVELLI A. J., 2002. The health state of the eel swimbladder as a measure of parasite pressure by *Anguillicola crassus*, Parasitology, 124, 457-463.

LEFEBVRE F., ACOU A., POIZAT G., CRIVELLI A. J., 2003. Anguillicolosis among silver eels : a 2 year survey in 4 habitats from Camargue (Rhone delta, South of France), Bull. Fr. Pêche Piscic. 368, 97-108.

LEFEBVRE F., SERGENT E., ACOU A., LECOMTE-FINIGER R., CRIVELLI A. J., 2003b. Recrutement des civelles (*Anguilla anguilla*) sur la côte méditerranéenne française: Analyse comparée des caractéristiques biométriques et pigmentaires des saisons 1974-1975 et 200-2001, Bull. Fr. Pêche Piscic., 368, 85-96.

LEFEBVRE F., CRIVELLI A., 2004. Anguillicolosis : dynamics of the infection over two decades. Dis. Aquat. Org. 62:227-232.

LEGAULT A., 1988. Le franchissement des barrages par l'escalade de l'anguille. Etude de la sèvre niortaise. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 308 : 1-10.

LEGAULT A., 1993. L'anguille. Aménagement des obstacles à la migration, ADA, 37, 33 p.

LE LOUARN H., 2003, Qualitative and quantitative estimation of the great cormorant *Phalacrocorax carbo* diet, Cormorant Research Group Bulletin, No. 5, 5p.

LEKUONA J.M., 2002. Food intake, feeding behaviour and stock losses of cormorants, *Phalacrocorax carbo*, and grey herons, *Ardea cinerea*, at a fish farm in Arcachon Bay (Southwest France) during breeding and non-breeding season, Folia Zool., 51(1): 23–34.

LEPAGE M., ALIAUME V., CRIVELLI A., LABEL I., ABDALLAH Y., BOUCHACHA M., ORSONI V., 2008. Etat des lieux des peuplements piscicoles dans les eaux de transition du bassin Rhône Méditerranée et Corse. Cemagref : 209 p.

LEPREVOST G., 2007. Développement d'un indicateur pour caractériser l'impact migratoire sur le stock d'anguilles européennes à l'échelle des bassins. Université de Tours.

LINTAS C., HIRANO J., ARCHER S., 1998. Genetic variation of the European eel (*Anguilla anguilla*), Molecular Marine Biology and Biotechnology, 7, 263–269.

LOBON-CERVIA J., UTRILLA C. G., RINCON P. A., 1995. Variations in the population dynamics of the European eel *Anguilla anguilla* (L.) along the course of a Cantabrian river, Ecol. Freshw. Fish 4: 17-27.

LORENZEN K., 1996. The relationship between body weight and natural mortality in juvenile and adult fish: a comparison of natural ecosystems and aquaculture, Journal of Fish Biology, 49, 627-642.

MAES G. E., VOLCKAERT F. A. M., 2002. Clinal genetic variation and isolation by distance in the European eel *Anguilla anguilla* (L.), Biological Journal of the Linnean Society, 77, 509–521.

MALLAWA A., 1987. Dynamique des stocks exploités et halieutique de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) des lagunes du Narbonnais et du Roussillon (Bages-Sigean et Canet-Saint Nazaire), Golfe du Lion, mémoire de thèse, Université de Perpignan, 406 p.

MARECHAL C., 2004. Prévention des dégâts occasionnés dans les piscicultures et les milieux sensibles par les oiseaux piscivores, Groupe d'Intérêt pour les Poissons, la Pêche et l'Aquaculture, Rapport technique, 119p.

MARION, L., 1995. Where two subspecies meet: origin, habitat choice and niche segregation of cormorant *Phalacrocorax c. carbo* and *P. c. sinensis* in the common wintering area (France), in relation to breeding isolation in Europe. *Ardea*, 83 (1), 103-114.

MARION L., 1997. Le Grand cormoran en Europe: dynamique des populations et impacts in P. CLERGEAU P., 1997. "Oiseaux à risques en ville et en campagne". I.N.R.A. Editions, Paris, 133-178.

MARION L., 2003. Recensement national des Grands cormorans hivernant en France durant l'hiver 2002-2003, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, D.N.P, M.N.H.N., Université de Rennes 1, 35 p.

MARQUISS M., CARSS D.N., 1997. Methods of estimating the diet of sawbill ducks *Mergus spp.* And Cormorants *Phalacrocorax carbo*. *Suppl. Ric. Biol. Selvaggina XXVI*, 247-258.

MAZEL V., 2009. Amélioration de la connaissance de la dynamique de la population d'anguilles à l'échelle du bassin versant du Frémur, rapport de master 2 IMACOF, Université François Rabelais de Tours, 75 p.

MC CLEAVE J.D., KLECHNER 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.

MELIA P., BEVACQUA D., CRIVELLI A., DE LEO A., PANFILI J., GATTO M., 2006a. Age and growth of *Anguilla anguilla* in the Camargue lagoons, *Journal of Fish Biology*, 68, 876-890.

MELIA P., BEVACQUA D., CRIVELLI A., DE LEO A., PANFILI J., GATTO M., 2006b. Sex differentiation of the European eel in brackish and freshwater environments: a comparative analysis, *Journal of Fish Biology*, 69, 1228-1235.

MORRISON W.E., SECOR D.H., 2003. Demographic attributes of yellow phase American eels (*Anguilla rostrata*) in the Hudson River Estuary, *Can. J. Fish. Aquat. Sci*, 60, 1487-1501.

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

MUCHIUT S., SUSPERREGUI N., URRIZALKI OROZ I., 2005. INDICANG - Guide méthodologique : Boîte Thématique environnement. Institut des Milieux Aquatiques, Ekolur Asesortia ambiental : 76 p + annexes.

NILO P., FORTIN R., 2001. Synthèse des connaissances et établissement d'une programmation de recherche sur l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). Université du Québec à Montréal, Département des Sciences biologiques pour la Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune, Québec, 298 p.

OBERDOFF T., PONT D., HUGENY B., CHESSEL D., 2001. A probabilistic model characterising fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment. *Freshwater Biol.* 46 : pp 399-415.

ONEMA, 2008. Plan de gestion anguille de la France, volet national, 114 p.

ONEMA, 2008b. Plan de gestion anguille de la France, volet local de l'unité de gestion Rhône-Méditerranée, 32p.

PALSTRA A. P., VAN GINNEKEN V.J.T., MURK A. J., VAN DEN THILLART G.E.E.J.M., 2005. Are dioxin-like contaminants responsible for the eel (*Anguilla anguilla*) drama? *Naturwissenschaften* : 4 p.

PANFILI J., 1993. Estimation de l'âge individuel des poissons : Méthodologies et applications à des populations naturelles tropicales et tempérées, mémoire de thèse, Université de Montpellier 2, 456p.

PANFILI J., XIMENES M.-C., 1994. Evaluation de l'âge et de la croissance de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) en milieu continental : Méthodologies, Validation, Application en Méditerranée et Comparaisons en Europe, Bull. Fr. Pêche Piscic., 335, 43-66.

PANFILI J., PONTUAL H., TROADEC H., WRIGHT P.J. (éd.), 2002. Manuel de sclérochronologie des poissons. Coédition Ifremer-IRD, 464 p.

PAULY D., 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth, parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks, J. Cons. Int.Explor. Mer, 39(2), 175-192.

PAULY D., MOREAU J., 1997. Méthodes pour l'évaluation des ressources halieutiques. Collection POLYTECH de l'I.N.P. de Toulouse, Cépaduès-Editions, France, 288 pp.

PONS M., 1976. L'Étang de l'Or, étude d'ensemble du milieu saumâtre, de son environnement et structure et dynamique des populations de Carcinus mediterraneus (Czerniavski, 1884). Université Paul Valéry Montpellier III : 150 p.

POPE J.G., 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis, ICNAF Research Bulletin, 9, 65-74.

PROUZET P., coord., 2003. Etude de la civelle (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de l'Adour: Pêche, biologie, comportement. Modélisation hydrodynamique et comportementale. Estimation des flux de civelle en estuaire. Rapport final du contrat Ifremer/DRV/RH-LA, Agence de l'Eau Adour-Garonne, MEDAD-Institution Adour, 295 p.

QUIGNARD J.P., MAZOYER C., VIANET R., MAN WAI R., BENHARRAT K., 1983. Un exemple d'exploitation lagunaire en Languedoc, l'Étang de l'Or (Mauguio), Science et Pêche, 336, 3-23.

RICKER W.E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population, Bull. Fish. Res. Board Can., 191, 383p.

RIKHTER C., EFANOV V., 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations, ICNAF, Res.Doc., 76/8.

ROBINET T., FEUNTEUN E., 2002. Sublethal Effects of Exposure to Chemical Compounds: A Cause for the Decline in Atlantic Eels?, Ecotoxicology, 11, 265-277.

ROBSON D.S., CHAPMAN D.G., 1961. Catch curves and mortality rates. Transactions of the American Fisheries Society, 90, 181-189.

ROSSI R., 1979. An estimate of the production of silver eel in the Valli di Comacchio during 1974-1976, Boll. Zool., 46, 217-223.

ROSSI R., CANNAS A., 1984. Eel fishing Management in a Hypersaline Lagoon of Southern Sardinia, Fish. Res., 2, 285-298.

RUIZ J.F., 1994. Les étangs palavasiens, un complexe lagunaire dégradé – Approche de l'évolution de la pêche et réflexion pour une restauration du milieu. CEPRALMAR, AQUASCOP : 59 p + annexes.

SAUVAGET B., FATIN D., BRIAND C., 2003. Contamination par *Aguillicola crassus* de cinq populations d'anguilles (*Anguilla anguilla*) du littoral de Bretagne Sud (France), Bull. Fr. Pêche Piscic., 368, 21-26.

SCHABUSS M., KONECNY R., BELPAIRE C., SCHIEMER F., 1997. Endoparasitic helminths of the European eel, *Anguilla anguilla*, from four disconnected meanders from the rivers Leie and Scheldt in western Flanders, Belgium. Folia Parasitol., 44, 12-18.

- SCHMIDT J., 1922. The breeding places of the eel. Phil. Trans. R. Soc. London, 211 : 179-208.
- SCHMIDT J., 1924. The transatlantic migration of the eel larvae, Nature, Lond. 113, 12.
- SCHNUTE I., 1981. A versatile growth model with statistically stable parameters, CAN. J. FISH. AQUAT. SCI., 38, 1128-1140.
- SOUCHON Y., ANDRIAMAHEFA H., COHEN P., BREIL P., PELLA H., LAMOUREUX N., MALAVOI J.R., WASSON J.G., 2000. Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire. Agence de l'eau Loire-Bretagne : 261 p.
- SPARRE P., 1985. Introduction to tropical fish stock assessment, Manuel 1, FAO Project training in fish stock assessment, GCP/INT/392/DEN, 338p.
- SPRENGEL G., LÜCHTENBERG H., 1991. Infection by endoparasites reduces maximum swimming speed of European smelt *Osmerus eperlanus* and European eel *Anguilla anguilla*, Dis. aquat. Org. , 11, 31-35.
- SVEDANG H., 1999. Vital population statistics of the exploited eel population on the Swedish west coast, Fish. Research, 40, 251-265.
- TESCH F.W., 1977. The eel. Biology and management of anguillid eels. London, Chapman & Hall. 434 p.
- TESCH F.W., WEGNER G., 1990. The distribution of small larvae of *Anguilla* sp. related to hydrographic conditions 1981 between Bermuda and Puerto Rico, Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, 6 : 845-858.
- THOMAS K., OLLEVIER F., 1992. Paratenic hosts of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus*. Dis. Aquat. Org., 13, 165-174.
- THILLAR G., DUFOUR S., ELIE P., VOLCKAERT F., SEBERT P., RANKIN C., SZEKELY C., RIJSINGEN J.V., 2005. Estimation of the reproduction capacity of European eel. Rapport Q5RS-2001-01836 : 272 p.
- VOLLESTAD L., JONSSON B., 1988. A 13-year study of the population dynamics and growth of the European eel *Anguilla anguilla* in Norwegian river: Evidence for density-dependent mortality and development of a model for predicting yield, Journal of Animal Ecology, 57, 983-997.
- WGEEL, 2006. Report of the 2006 session of the joint EIFAC/ICES Working Group on Eels, EIFAC Occasional Paper, 38, 351p.
- WHITE E., KNIGHTS B., 1997. Dynamic of upstream migration of the European eel, *Anguilla anguilla* (L.), in the River Severn and Avon, England, with special reference to the effect of man-made barriers. Fish. Man. Ecol. 4 : pp 311-324.
- WICKSTROM H., WESTIN L., CLEVESTAM P., 1996. The biological and economic yield from a long-term eel-stocking experiment, Ecol. Freshw. Fish, 5: 140-147.
- WIRTH T., BERNATCHEZ L., 2001. Genetic evidence against panmixia in the European eel., Nature, 409, 1037-1040.
- WURTZ J., KNOPF K., TARASCHEWSKI H., 1998. Distribution and prevalence of *Anguillicola crassus* (Nematoda) in eels *Anguilla anguilla* of the rivers Rhine and Naab, Germany, Diseases of Aquatic Organisms, Vol. 32: 137-143.
- XIMENES M.C., 1986. L'anguille en Méditerranée française: aspects écobiologiques et halieutiques, CEMAGREF Montpellier, 166p.
- ZIMMERMAN J.L., WELSH S.A., 2008. PIT TAG retention in small (205-370mm) American eels, *Anguilla rostrata*., Proceeding of the West Virginia Academy of Science, 79:2.

ZYDELIS R., KONTAUTAS A., 2008, Piscivorous birds as top predators and fishery competitors in the lagoon ecosystem, *Hydrobiologia*, 611, 45-54.