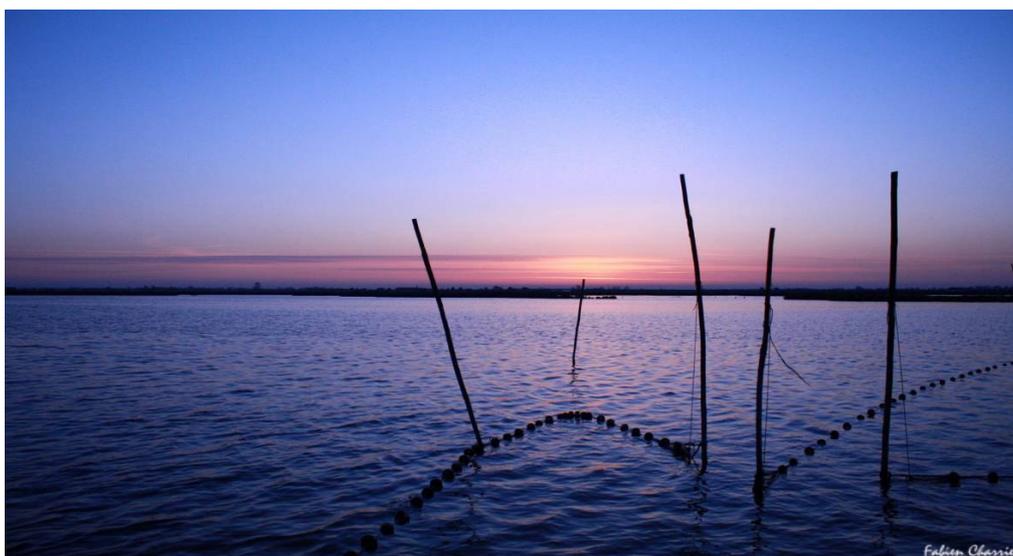


CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DES CONNAISSANCES ET A LA GESTION DE
L'ANGUILLE EUROPEENNE, *ANGUILLA ANGUILLA*, DANS LES LAGUNES
MEDITERRANEENNES

– CAS DE L'ÉTANG DE L'OR –



REFERENCE A CITER :

CHARRIER F., LE GURUN L., ABDALLAH Y., LEGAULT A., CARAGUEL J.-M., 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'Étang de l'Or. Rapport CEPRALMAR. Groupement MRM/FISH PASS, 135 p. + annexes.

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier toutes les personnes qui par leur collaboration, leurs avis ou leurs suggestions ont permis la réalisation de cette étude : Roland Guerrero, Nicolas Guerrero, le GEAL, les pêcheurs de l'Étang 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.

RESUME

A l'échelle européenne, l'Anguille est en très nette régression. Afin de protéger cette espèce, de nombreuses mesures de gestion sont actuellement en cours d'élaboration et d'application. Cependant, au niveau méditerranéen, peu d'informations sont disponibles sur cette espèce, ne permettant pas de connaître l'état initial des populations. De plus, cette espèce est d'une importance économique et social majeures faisant vivre de nombreux pêcheurs;

Cette étude a été initiée par le CEPRALMAR afin de mieux connaître et gérer la population d'Anguille de l'étang de l'Or et *in fine*, de servir de référence au niveau méditerranéen. Elle a été réalisée par le groupement FISH PASS/MRM et s'est déroulé entre novembre 2008 et décembre 2009.

Dans un premier temps, une attention particulière a été portée sur la description de la lagune et de son bassin versant afin de bien cadrer le système dans lequel se déroule l'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, la présence de nombreux obstacles à la migration...

Dans un second temps, cette étude s'est particulièrement concentrée sur la population d'anguille du bassin versant. La caractérisation de la population de la lagune et des tributaires a permis différentes comparaisons (croissance, relation taille-poids, parasitisme) montrant des différences entre les anguilles de la lagune et celles des affluents. Pour la population de la lagune, un modèle de dynamique de la population a été établi, en s'appuyant sur le modèle de Bevaqua *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%. Ces résultats ont été validé par une opération de marquage/recapture avec Pit-Tag et antenne qui a 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%.

A la vue des différents résultats, différents *scenarii* de gestion ont été établis à partir du modèle pouvant servir d'aide à la décision pour les acteurs locaux. Il apparaît ainsi que les différentes mesures de gestion proposées ont un effet bénéfique pour l'espèce mais peuvent avoir des effets désastreux sur la pêche professionnelle.

GLOSSAIRE

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CEMAGREF : Centre d'Étude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts

CEPRALMAR : Centre d'Etude pour la Promotion des Activités Lagunaires et Maritimes

CIEM : Conseil International pour l'Exploration de la Mer

COGEPOMI : Comité de Gestion des Poissons Migrateurs

CPUE : Capture Par Unité d'Effort

DCEE : Directive Cadre Européenne sur l'Eau

DIREN : Direction Régionale de l'Environnement

DRAM : Direction Régionale des Affaires Maritimes

EELREP : Projet Européen pour l'estimation des capacités de reproduction de l'anguille européenne

FAO : Food and Agriculture Organization

FDAAPPMA : Fédération Départementale des Associations Agrées pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques

GEAL : Groupement d'Exploitation des Anguilles du Languedoc

GRISAM : Groupe d'Intérêt Scientifique pour les espèces Amphihalines

HAP : Hydrocarbure Polycyclique Aromatique

IFREMER : Institut Français pour la Recherche et l'Exploitation des Mers

IPR : Indice Poisson Rivière

LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

LOGRAMI : Loire Grands Migrateurs

MOOX : Matières Organiques Oxydables

MRM : Association Migrateurs Rhône-Méditerranée

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

PACA : Provence Alpes Côte d'Azur

PCB : PolyChloroByphényl

PLAGEPOMI : Plan de Gestion des Poisson Migrateurs

PNA/PGA : Plan National Anguille/Plan de Gestion de l'Anguille

PSDI : Prévalence du SDI

RINBIO : Réseau Intégrateurs Biologiques

RMC : Rhône Méditerranée Corse

RSL : Réseau de Suivi Lagunaire

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau

SDI : Swimbladder Degenerative Index (Indice de dégénérescence de la vessie)

SEQ-EAU : Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau

SLIME : Study Leading to Informed Management of Eels (Etude pilote pour la gestion de l'anguille)

SMGEO : Syndicat Mixte de Gestion de l'Etang de l'Or

WGEEL : Working Group on Eel (Groupe de travail sur l'anguille)

ZAP : Zone d'Action Prioritaire

TABLE DES MATIERES

RESUME	3
GLOSSAIRE	4
I. INTRODUCTION.....	1
II. CONTEXTE DE L'ETUDE	3
II.1. <i>Cadre biologique</i>	3
II.2. <i>Cadre géographique</i>	6
II.3. <i>Cadre réglementaire</i>	12
III. FACTEURS INFLUENÇANT LE STOCK D' ANGUILE	17
III.1. <i>Obstacles à la migration</i>	18
III.2. <i>Qualité des habitats</i>	21
III.3. <i>Pêcherie</i>	27
III.4. <i>Prédation</i>	31
III.5. <i>Parasitisme par Anguillicola crassus</i>	33
IV. CARACTERISTIQUES DE LA POPULATION D' ANGUILES DU BASSIN VERSANT DE L'ÉTANG DE L'OR	37
IV.1. <i>Sous population de l'étang de l'Or</i>	37
IV.2. <i>Sous-population d'anguilles des tributaires de l'Etang de l'Or</i>	49
IV.3. <i>Comparaison affluents/lagune</i>	56
V. MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DE LA POPULATION D'ANGUILLE DE L'ETANG DE L'OR	59
V.1. <i>Calibration des sous modèles et des paramètres d'entrées</i>	59
V.2. <i>Le Modèle de dynamique des populations</i>	81
V.3. <i>Validation du modèle par l'expérimentation : estimation de l'échappement actuel, du stock et du taux d'exploitation des anguilles argentées</i>	88
VI. GESTION DE LA PECHERIE.....	96
VI.1. <i>Analyse de la pêche</i>	96
VI.2. <i>Des scénarii de gestion de la pêche</i>	97
VI.3. <i>Vers une gestion de la lagune</i>	109
VII. CONCLUSION	115
BIBLIOGRAPHIE	117
TABLE DES FIGURES & TABLEAUX	134
ANNEXES	I

I. 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. Des travaux récents publiés par Dekker (2004) montrent une forte chute des indices d'abondances de civelles, divisés par plus de 10 à 100 en 30 ans. Sur cette même période, les captures totales (Figure 1) ont diminué de plus de 75% au niveau européen.

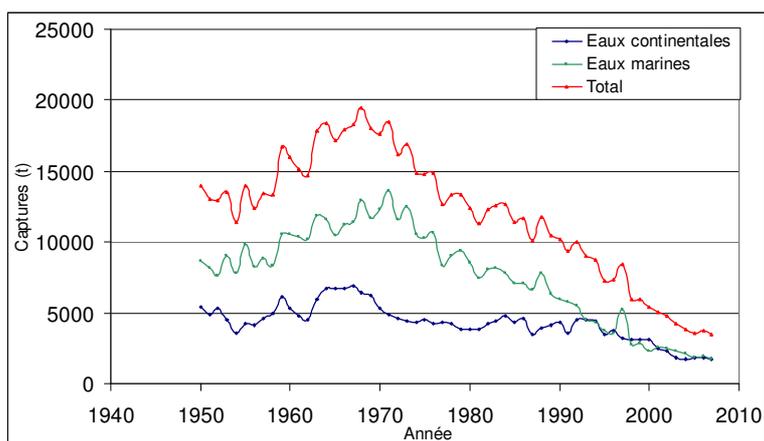


Figure 1 : Evolution des captures d'anguilles européennes (réalisée à partir des données FAO, www.fao.org/figis/)

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 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)...

A une échelle locale, la mise en place de ces mesures doit tout d'abord passer par un inventaire de l'existant : caractérisation des différentes sous-populations d'anguilles, de leurs habitats et des contraintes anthropiques qui s'exercent sur elles. Dans ce contexte, de nombreuses études ont été mises en place en France et en Europe, comme par exemple : le Tableau de bord Anguille du bassin de la Loire (LOGRAMI), le projet Indicang (IFREMER), le projet européen SLIME (Study Leading to Informed Management of Eels)...

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 sont disponibles au niveau méditerranéen, ne permettant pas 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 pêche (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 scénarii de gestion ont été établis à partir du modèle permettant d'élaborer des préconisations pour la gestion future de la lagune.

Après une présentation de l'espèce et un rappel du contexte réglementaire, cette synthèse abordera tout d'abord les caractéristiques du bassin versant de l'Étang de l'Or et de la lagune afin de comprendre le fonctionnement général de l'étang et ses interactions avec son environnement. Ensuite, cette partie sera mise en relation avec les menaces et perturbations sur le stock d'Anguille dans le but de décrire et hiérarchiser les facteurs influençant celui-ci. Puis, les principales caractéristiques de la population d'anguilles de l'étang de l'Or seront présentées et permettront par la suite l'élaboration d'un modèle de dynamique des populations et de sous modèles. Enfin, la gestion future de la population sera abordée par l'intermédiaire de scénarii de gestion et la mise en place d'outils opérationnels.

II. Contexte de l'étude

II.1. Cadre biologique

L'Anguille européenne est un poisson migrateur amphihalien thalassotoque. Son cycle de vie comprend deux trajets migratoires importants qui lui confèrent le titre de "grand migrateur".

II.1.1. Aire de répartition

L'aire de reproduction de l'Anguille européenne (Figure 2) se situe dans la mer des Sargasses (Schmidt, 1922). Elle s'étend entre 22° et 29° Nord, et entre 50° et 70° Ouest (Tesch, 1977). Les larves sont présentes dans l'Atlantique Nord et en Méditerranée occidentale, avec des tailles plus importantes à l'approche des côtes européennes.

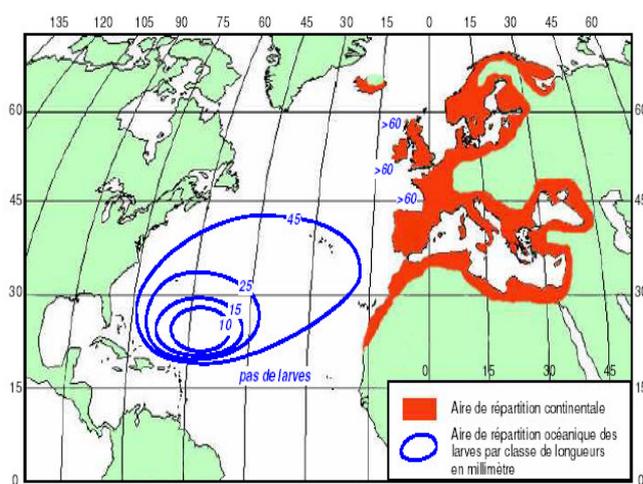


Figure 2 : Aire de répartition de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L. 1758) (Adam, 1997 (adaptée de Germain, 1927 et Schmidt, 1924))

La zone de croissance correspond aux zones côtières et aux cours d'eau d'Europe et d'Afrique du nord, s'étendant de l'Islande au Maroc (Germain, 1927 ; Dekker, 2003). A l'intérieur de cette vaste aire de répartition, l'Anguille occupe des habitats très variés : eaux saumâtres (baies, fjords, lagunes, estuaires), milieux dulçaquicoles lotiques (fleuves, rivières, torrents) et lenticules (lacs, étangs, canaux) (Adam, 1997). Seules les limites physiques (obstacles à la migration) semblent restreindre l'aire de répartition vers l'amont (Legault, 1988 ; Legault, 1993).

II.1.2. Cycle de vie

Le cycle biologique de l'Anguille (Figure 3) est complexe et encore caractérisé par de nombreuses zones d'ombre, notamment en milieu marin (Adam *et al.*, 2008).

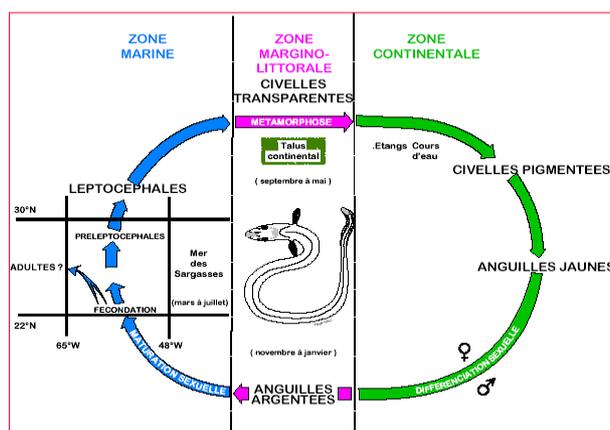


Figure 3 : Cycle biologique de l'Anguille européenne (ANONYME 1984b in Adam, 1997)

II.1.2.1. La reproduction

La reproduction de l'Anguille a lieu dans la mer des Sargasses. Elle n'a cependant jamais été observée en milieu naturel et aucun œuf ou adulte n'a encore été capturé dans l'aire de frai présumée (Nilo et Fortin, 2001). La période de reproduction s'étalerait de janvier à juillet avec un pic de reproduction en mars (Tesh et Wegner, 1990). Même si quelques publications récentes suggèrent l'existence de différentes sous-populations d'anguilles européennes selon un gradient Nord-Sud (Daemen *et al.*, 2001 ; Wirth et Bernatchez, 2001 ; Maes et Volckaert, 2002), de nombreux autres travaux (De Ligny et Pantelouris, 1973 ; Comparini *et al.*, 1977 ; Comparini et Rodino, 1980 ; Lintas *et al.*, 1998 ; Dannewitz *et al.*, 2005) permettent de considérer la population d'anguilles européennes comme panmictique.

II.1.2.2. Développement embryonnaire et phase larvaire

Les larves les plus petites, environ 5 mm, ont été capturées au niveau de l'aire de reproduction présumée. Ces larves, en forme de feuilles de saules, sont appelées leptocéphales, étymologiquement « à tête mince ». Elles effectuent une migration passive, portées par les courants océaniques, pour rejoindre le continent européen. Cette traversée dure de moins d'un an à 3 ans selon les auteurs (Lecomte-Finiger, 1992 ; Kettle et Haines, 2006).

II.1.2.3. Stade civelle

Aux abords du talus continental, la larve leptocéphale débute sa métamorphose en civelle pour pénétrer dans les eaux continentales. Cette métamorphose, pouvant durer plusieurs mois, se termine par l'acquisition complète de la pigmentation. La pénétration des civelles en estuaire ne se fait pas de manière continue mais par vagues successives (Elie et Rochard, 1994). Leur migration vers l'amont se fait passivement derrière l'avancée du front de marée dynamique (Prouzet, 2003). Puis, lorsque les conditions deviennent défavorables (recul du front de marée), les civelles s'enfouissent dans les sédiments en attendant le prochain cycle de marée (Gascuel, 1986). En Méditerranée, la marée dynamique étant très faible, les conditions hydroclimatiques locales ont un rôle prépondérant pour la colonisation.

II.1.2.4. Stade Anguille jaune

Le stade Anguille jaune est une phase de colonisation des eaux continentales. Cette phase est soumise à des modifications comportementales qui marquent la fin de la migration passive du stade civelle pour un transport actif et autonome. Les anguilles sont peu exigeantes en termes d'habitat, certaines vont migrer vers l'amont des fleuves et des rivières, d'autres vont se sédentariser dans les parties basses des fleuves et des estuaires ainsi que dans les eaux de transition littorales comme les lagunes et les marais salés (Daverat *et al.*, 2006). A ce stade, la croissance des anguilles est importante. Cependant, elle est très variable en fonction des habitats et des latitudes (Fontenelle, 1991). De plus, la croissance des femelles est plus importante que celle des mâles, ces derniers dépassant rarement 45 cm (Melia *et al.*, 2006a). La différenciation sexuelle est en partie influencée par les densités d'anguilles dans chaque habitat. Les mâles dominent dans les parties basses des bassins versants où les densités d'anguilles sont les plus fortes, alors que les femelles, plus âgées, dominent en amont du bassin versant où les densités d'anguilles sont plus faibles (Vollestad et Jonsson, 1988). Mais ce constat ne semble pas se vérifier dans les bassins versants de petite taille (Laffaille *et al.*, 2003).

II.1.2.5. Stade Anguille argentée

Ce stade marque le début de la migration de l'Anguille des eaux continentales vers les eaux marines. Il se caractérise par des modifications comportementales, morphologiques et physiologiques. Les modifications morphologiques les plus visibles sont un changement de coloration passant du jaune/vert à l'argenté avec une pigmentation de la ligne latérale (Tesch, 1977), une augmentation du diamètre oculaire, ainsi qu'une augmentation en longueur des nageoires pectorales (Durif *et al.*, 2005 ; Acou *et al.*, 2005). La dévalaison s'effectue tout au long de l'année mais avec un pic en automne/hiver sous nos latitudes (Langon et Dartiguelongue, 1997, *in* Adam *et al.*, 2008). Parmi les individus dévalant, les mâles ont une taille et un âge inférieurs à ceux des femelles (Melia *et al.*, 2006a).

II.2. Cadre géographique

II.2.1. Bassin versant de l'étang de l'Or

Situé dans le département de l'Hérault à l'Est de la commune de Montpellier, le bassin versant de l'Etang de l'Or prend sa source dans les premiers massifs cévenols ; le bassin du Lez constituant sa limite Ouest tandis que celui du Vidourle, sa limite Nord et Est. Ce territoire, d'un périmètre de 97 km, draine une surface de 405 km² (Figure 4).

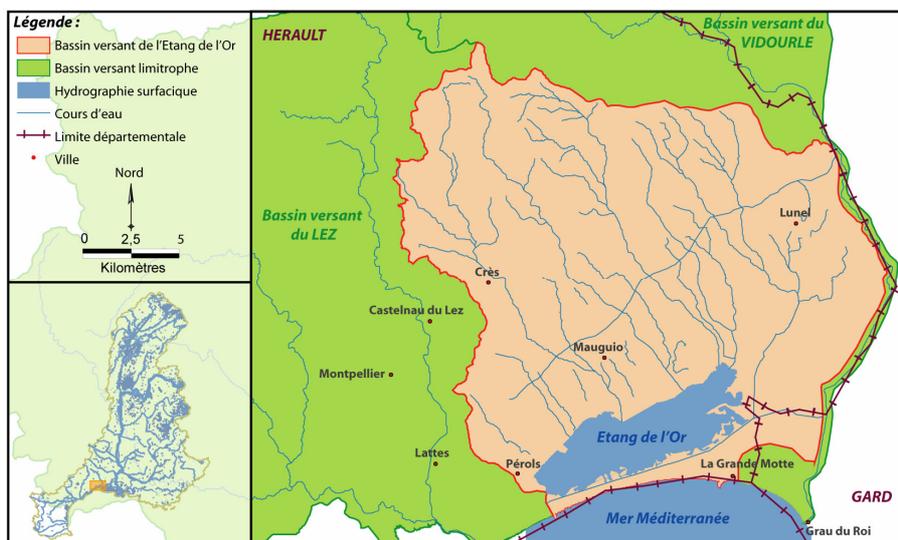


Figure 4 : Situation géographique du bassin versant de l'Etang de l'Or (BD Carthage)

Trois unités géomorphologiques distinctes se dessinent sur une ligne Nord-Ouest/Sud-Est sur le bassin versant de l'étang de l'Or (FDAAPPMA 34, *en cours*) :

- **La partie amont du territoire :**

Les formations géologiques de l'Eocène et de l'Oligocène sont ponctuées de dépôts calcaires du Crétacé et Jurassique, mis à jour par l'érosion des matériaux les plus tendres et, par la présence de failles et plis orientés Nord-est ou Sud-ouest (PONS, 1976)

Sa géologie lui confère donc un relief vallonné et très accidenté plus particulièrement dans l'extrémité Nord. Ce secteur de bas-relief présente des pentes fortes de l'ordre de 3 % et une altitude maximale de 202 m.

Les pentes relativement élevées (Figure 5) sont à l'origine du caractère plutôt érosif de l'amont du bassin et le soumettent à un fort lessivage, notamment si le type d'occupation du sol présente des terrains découverts. Sa morphologie engendre de plus des temps de concentration des écoulements courts lors d'événements pluvieux.

- **La partie médiane du bassin :**

Héritage du Pliocène (Ere tertiaire), les sols se composent de formations très hétérogènes du Villafranchien (cailloutis sableux) et de diverses formations tertiaires (mollasses, argiles et grès)

La diminution progressive des pentes (de 1,5 à 0,1%) lui confère un caractère plutôt sédimentaire. Ainsi, ces sols se composent de sables et cailloutis c'est-à-dire des dépôts du Quaternaire. Cette morphologie joue un rôle tampon dans l'apport des éléments minéraux et organiques sur la ressource en eau.

- **La partie aval du bassin :**

Ses pentes quasi-nulles (< 0,01%), à l'origine des dépôts alluviaux du Quaternaire, et la présence d'un lido sableux - obstacle naturel aux écoulements - a généré l'Etang de l'Or et ses zones humides associées (marais dulçaquicoles, pelouses sclérophylles ...).

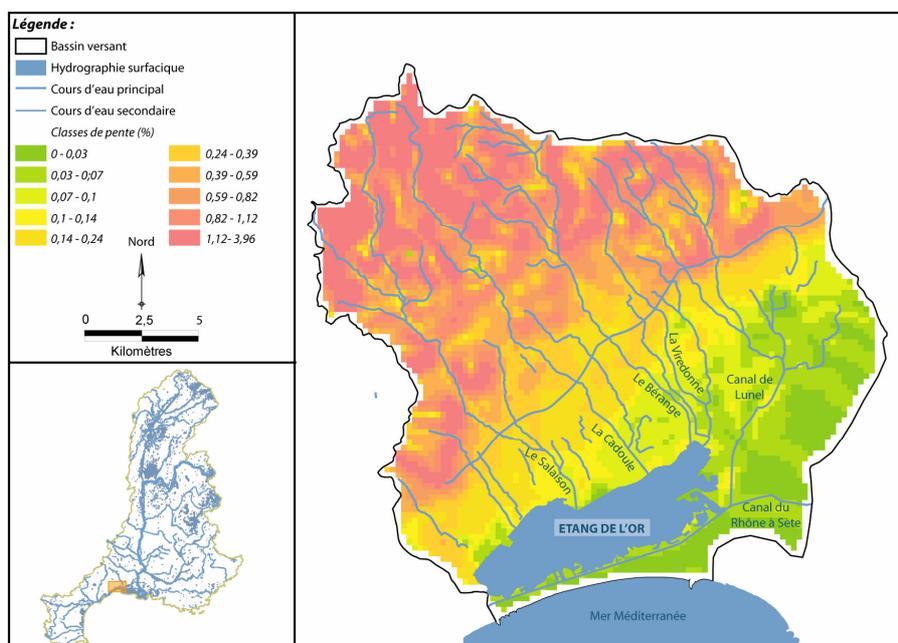


Figure 5 : Carte des pentes du bassin versant de l'Etang de l'Or (BD Carthage, IGN Alti)

Bien qu'au relief peu accentué, le bassin versant de l'Etang de l'Or présente un dénivelé moyen relativement élevé (Pente moyenne $I_m = 2,06 \%$) avec une opposition entre un bassin amont à caractère plutôt érosif et ceux médian et inférieur à caractère plutôt sédimentaire.

L'occupation du sol du bassin versant de l'Etang de l'Or, dont l'organisation générale apparaît déséquilibrée, épouse les caractéristiques topographique, géologique et pédologique du milieu (Figure 6).

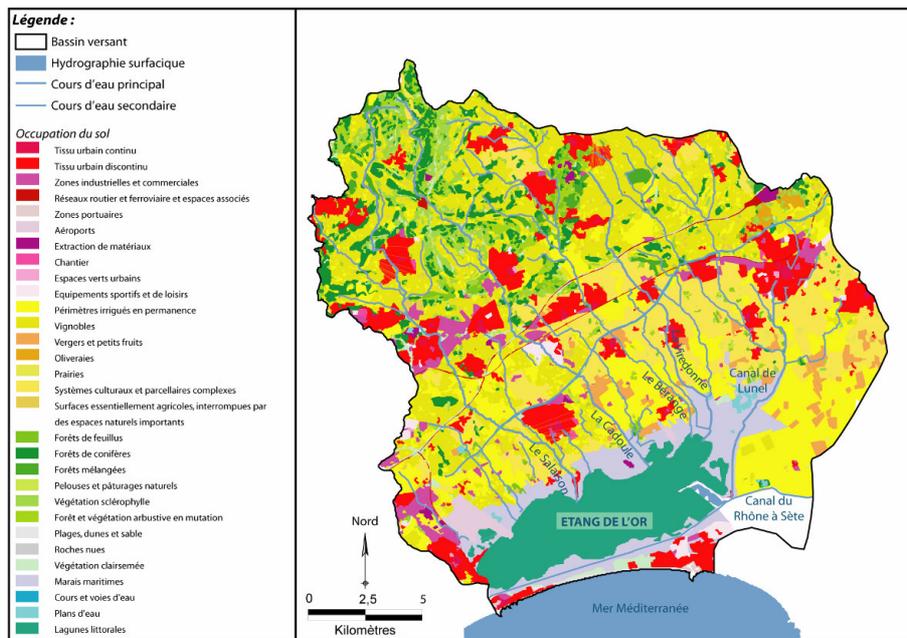


Figure 6 : Occupation du sol du bassin versant de l'Etang de l'Or (Corin Land Cover)

En effet, l'occupation du sol de la partie amont peut se décrire comme hétérogène, les forêts s'associant aux vignes pour former un système parcellaire relativement complexe. Ces sols couverts réduisent ainsi les risques de lessivage, notamment des intrants agricoles.

Sur la partie médiane, l'occupation du sol se compose essentiellement de cultures céréalières et maraîchères. Par ailleurs, la plaine de Mauguio est la plus densément peuplée. La proximité de l'agglomération de Montpellier conditionne et explique dans une large mesure la croissance démographique vertigineuse sur le bassin (hausse de 10 % sur 7 ans entre 1999 et 2006).

L'étroite bande côtière est, quant à elle, urbanisée sur ces deux extrémités (Mauguio-Carnon et La Grande Motte). Les conditions et l'hostilité du milieu sont à l'origine de sa très faible anthropisation, excepté au niveau des stations balnéaires. La partie aval est essentiellement composée de milieux lagunaires avec l'étang de l'Or et ses pelouses sclérophylles (12% de la superficie totale).

Le bassin versant de l'étang de l'Or est sous un climat de type méditerranéen caractérisé par de très fortes précipitations, soudaines et violentes, au printemps et en automne (103,9 mm). *A contrario*, un déficit hydrique est observé de mai à septembre avec un minimum en juillet (17,8 mm). Les températures, quant à elles, atteignent des valeurs très élevées en été et restent douces en hiver. L'amplitude thermique entre le mois le plus chaud (juillet avec 23,5 °C) et le mois le plus froid (janvier avec 7,0°C) est relativement élevée (16,5°C). Ces particularités, associées aux contraintes du milieu, influent directement sur les caractéristiques hydrologiques du réseau hydrographique.

II.2.2. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de l'Etang de l'Or, d'une longueur de 285 km, est assez dense et se compose d'une part, de l'ensemble des émissaires naturels et d'autre part, des canaux et fossés (Figure 7).

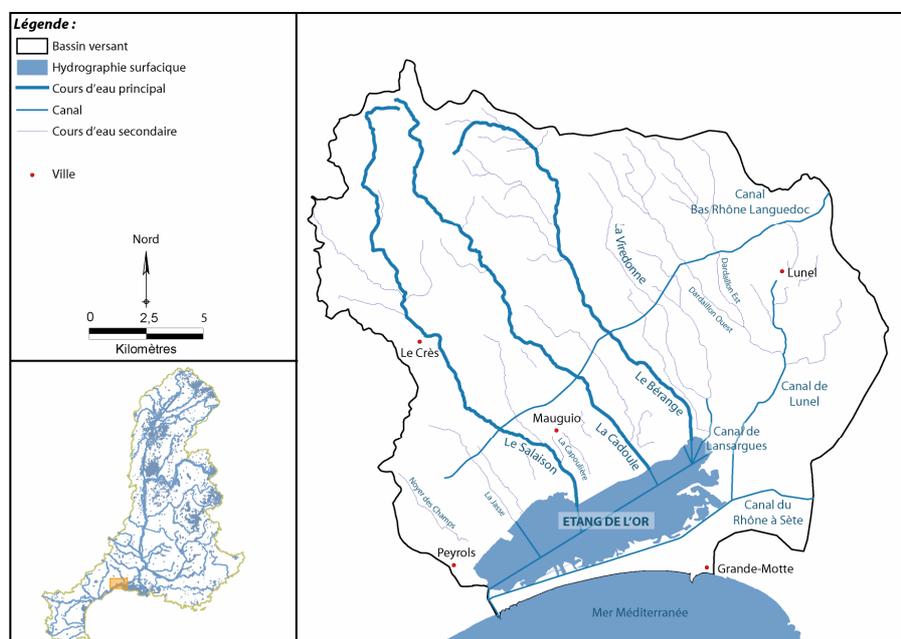


Figure 7 : Réseau hydrographique du bassin versant de l'Etang de l'Or (BD Carthage)

Cinq principaux cours d'eau drainent ce bassin versant et prennent naissance dans sa partie Nord (Salaison, Cadoule, Bérange, Viredonne et Dardaillon). De manière générale, ils se caractérisent par un court linéaire, un bassin versant de petite taille et de faibles pentes (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques des principaux tributaires de l'Etang de l'Or

	Surface du bassin versant (km ²)	Linéaire (km)	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Pente moyenne (%)	Débits caractéristiques
Noyer des Champs	17	4.8	26.9	1.49	0.53	
Jasse	14	6.2	41.45	0.67	0.66	
Salaison	69	24.9	164.35	0.32	0.66	Module = 0,345 m ³ /s Q _{MNAS} = 0,011 m ³ /s
Capoulière	4	2.5	6.51	0.66	0.23	
Cadoule	39	22.8	171.06	0.51	0.75	
Bérange	43	20.9	116.82	0.78	0.56	
Viredonne	37	14.5	82.81	0.35	0.57	
Canal de Lansargues						
Dardaillon Est et Ouest	69	21.3	72.82	2.72	0.33	Module = 0,125 m ³ /s
Canal de Lunel		11	5.38	1.63	0.03	Q _{MNAS} = 0,005 m ³ /s

Même si les pentes moyennes sont faibles, les affluents présentent sur leur partie supérieure un fort dénivelé qui décroît vers l'aval. Ainsi, les débits de crue peuvent être parfois élevés (temps de concentrations courts), d'autant plus que la superficie de leur bassin versant est faible (Figure 8). *A contrario*, la pérennité des écoulements n'est pas assurée en été à cause de la nature du sous-sol (réseau karstique) et des faibles apports pluviométriques. La période estivale s'accompagne ainsi d'un assèchement de la majorité du réseau hydrographique, certaines portions restant en eau à la faveur d'une retenue, d'un soutien d'étiage localisé ou d'un rejet d'effluent de station d'épuration (AQUASCOP, 1997 ; FDAAPPMA 34, en cours).

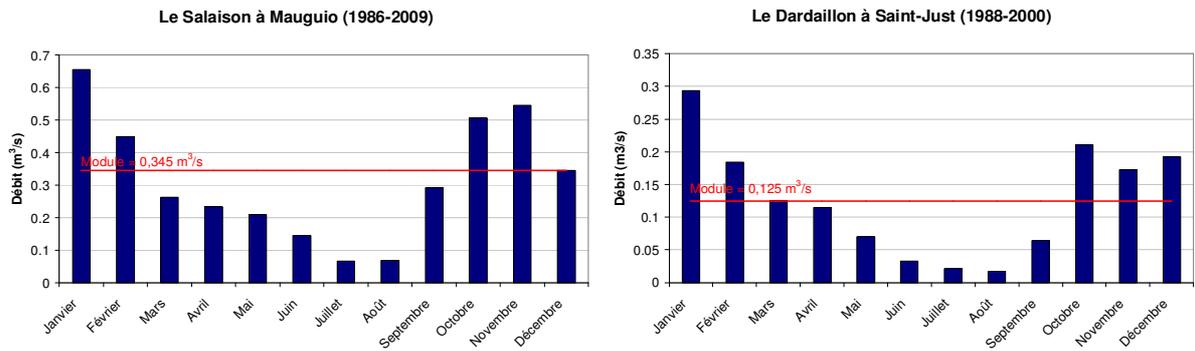


Figure 8 : Evolution interannuelle des débits moyens mensuels sur le Salaison (1986-2009) et le Dardaillon (1988-2000) (Banque Hydro)

En plus de ces affluents, le bassin versant de l'Étang de l'Or est traversé par deux canaux que sont le canal Bas Rhône Languedoc et celui du Rhône à Sète. Alors que le premier ne communique pas directement avec les émissaires de l'étang (système de siphon), le second conflue avec le canal de Lunel.

II.2.3. L'étang de l'Or

La superficie de l'Étang de l'Or, estimée à 3 170 ha, le situe en deuxième place parmi les étangs littoraux de l'Hérault, après l'Étang de Thau. Cette lagune s'oriente suivant un axe Nord-Est/Sud-Ouest et s'étend sur 11 km de long et 3 km de large (Figure 9). Isolé de la mer par un cordon sableux, il est bordé au Sud par le canal du Rhône à Sète, à l'Est par le canal de Lunel et à l'Ouest par l'Étang du Méjean.

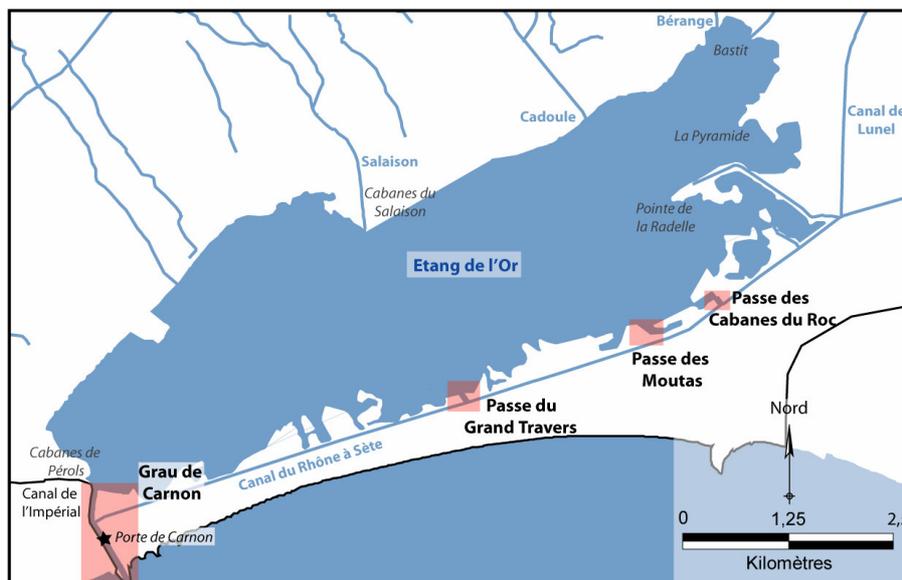


Figure 9 : Présentation de l'Étang de l'Or – Localisation des passes (BD Carthage)

Cette lagune communique directement avec la mer, à son extrémité Sud-Ouest par le grau de Carnon dont la longueur est de 1 050 m, la largeur d'environ 15 m et la profondeur de 1,50 m. La porte de Carnon, barrage mobile, a néanmoins été aménagée sur cette communication afin d'éviter les intrusions massives d'eau salée (SMGEO, *Comm. Pers.*).

De plus, quatre passes permanentes relient l'étang au canal du Rhône à Sète (QUIGNARD *et al.*, 1983 ; AQUASCOP, 1997) :

- La passe de l'Avranche large d'environ 5 m pour une profondeur de 1 m,
- La passe du Grand Travers large de 8 à 15 m,
- La passe de Moutas,
- La passe des cabanes du Roc large de 4 m.

À ceci s'ajoute une communication avec l'étang de Pérols, situé à l'ouest de l'étang de l'Or, par une passe ouverte dans le canal de l'Impérial.

Par ailleurs, la station de pompage sur le Vidourle, construite en 1985, influence également le fonctionnement hydraulique de la lagune en l'alimentant en eau douce, afin de favoriser le renouvellement des eaux lagunaires. Il est de l'ordre de 1 à 3 millions de m³ selon les années. Sur le canal de Lunel, le barrage anti-sel associé à ce dispositif doit contraindre l'écoulement de ces eaux dérivées vers l'Etang de l'Or, tout en évitant les remontées d'eau salée. Aussi, cet ouvrage est ouvert entre janvier et avril, en cas de malaïgues et lors de fortes crues, dispositions favorisant ainsi la circulation piscicole (alevinage, dévalaison...). Actuellement, ce barrage n'est fermé que pendant le fonctionnement de la station de pompage (généralement d'octobre à juin).

Le bilan hydrique de l'étang (Tableau 2), établi par le CEMAGREF (1988) puis PERDIEU (1992 in AQUASCOP, 1997), reflète la complexité de son fonctionnement hydraulique, largement influencé par les conditions hydro-climatiques. En effet, les vents du Nord, en plus d'apporter le froid, créent une vidange de l'étang vers la mer (dépression). *A contrario*, les vents marins, véhiculeurs de pluie, provoquent une augmentation des niveaux d'eau (surpression) par les entrées marines (AQUASCOP, *ibidem*).

Tableau 2 : Bilan hydrique de l'Etang de l'Or (en millions de m³) (AQUASCOP, 1997)

		CEMAGREF (1988)	Perdieu (1992)
APPORTS	Précipitations	23	15-30
	Apports bassin versant	106	60-100
	Apport souterrain	40	15-30
	Pompage Vidourle	21	20
	Pompage Marsillargues	23	50
EVAPORATION		41	30-60
ECHANGE MER		(49?)	40-150

Les apports continentaux de l'étang sont ainsi régis par ses émissaires, indirectement influencés par les précipitations. La contribution des affluents diffère selon la taille de leur bassin :

- 65 % des apports par les affluents orientaux (Bérange, Viredonne, Canal de Lunel et drainage de la plaine de Marsillargues),
- 16 % par le Salaison,
- 13 % par le Cadoule,
- 6 % par les ruisseaux occidentaux.

En parallèle, les échanges mer-lagune, même s'ils demeurent difficilement quantifiables, ne sont pas négligeables dans le fonctionnement hydraulique de l'étang et sont fortement dépendants du niveau des masses d'eau et du vent.

II.3. Cadre réglementaire

II.3.1. Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCEE)

La directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau et préconise le retour au bon état écologique des masses d'eau à l'horizon 2015. La libre circulation des poissons est un élément fondamental de la qualité des eaux superficielles et doit à ce titre faire l'objet d'une attention renforcée. Cette conception nouvelle sera déclinée par bassin hydrographique et ainsi intégré au Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) 2010-2015 du bassin RMC par plusieurs orientations dont un volet franchissement piscicole. Sur le bassin Rhône Méditerranée, ce document a été approuvé en octobre 2009 et est de fait, opposable à l'administration, ce qui lui confère une valeur juridique non négligeable (Croze et Larinier, 2001).

II.3.2. Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA)

Tout comme la DCEE, la LEMA (loi n°2006-1772 du 30/12/2006) met au premier plan la notion de fonctionnement morpho-écologique d'un cours d'eau. L'objectif principal est la restauration de la continuité écologique tant au niveau des organismes aquatiques vivants qu'au niveau du transport sédimentaire.

Cette nouvelle loi crée les conditions qui permettront d'atteindre l'objectif ambitieux de bon état écologique des eaux d'ici 2015 fixé par la DCEE.

A ce titre, sur le bassin versant de l'étang de l'Or, plusieurs cours d'eau ont été identifiés comme masses d'eau dans le cadre du Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) :

- Le Dardaillon, la Viredonne, le Bérange et la Cadoule doivent atteindre le bon état chimique en 2015 et écologique en 2021. Ce délai s'explique par des paramètres hydrogéomorphologiques (recalibrage, extractions...),
- Le Salaison doit atteindre le bon état chimique en 2015 et écologique en 2021. Outre les paramètres hydrogéomorphologiques, ce retard s'explique par la dégradation de la qualité physico-chimique liée aux concentrations excessives de Matières Organiques Oxydables (MOOX), aux pesticides et nutriments,
- Le Dardaillon Est doit atteindre le bon état chimique en 2015 et écologique en 2027 pour les mêmes raisons que le Salaison.

Cette loi apporte également plusieurs modifications concernant les ouvrages hydrauliques dont (Abrogation des Art. 432-5 et 432-6 du Code de l'Environnement) :

- Un nouveau dispositif de classement des cours d'eau au titre de la continuité d'ici 2014 (L214-17 CDE) :
 - Liste 1 : Cours d'eau en très bon état écologique ou identifiés par les SDAGE comme jouant le rôle de réservoir biologique nécessaire au maintien ou à l'atteinte du bon état écologique ou dans lesquels une protection complète des poissons migrateurs – eau douce et eau salée - est nécessaire, c'est-à-dire que toute autorisation ou concession relative à un ouvrage – nouveau ou existant - pourra être modifiée par l'autorité publique dès lors que son fonctionnement ne permet pas la préservation des grands migrateurs (Art. L214-4 et L215-10 CDE).
 - Liste 2 : Cours d'eau dans lesquels il est nécessaire d'assurer le transport sédimentaire et la libre circulation des poissons migrateurs, c'est-à-dire que tous les ouvrages doivent être gérés, entretenus ou équipés de dispositifs de franchissement piscicole efficaces.
- Le passage de la notion de débit réservé à celle de régime réservé (modulation à l'année),
- Mise en place d'un débit minimum (passage au 1/10^{ème} du module sur la plupart des cours d'eau avec des exceptions au 1/20^{ème}) sur les tronçons aménagés.

Les articles L.432-5 et L.432-6 du Code de l'Environnement demeurent applicables jusqu'à leur substitution par les articles L.214-17 et L.214-18 avant le 1^{er} janvier 2014. Sur les cours d'eau classés au titre de l'article L.432-6 et régis par le double classement (décret et arrêté ministériel fixant la liste d'espèces migratrices), la libre circulation des poissons migrateurs doit être assurée à la montaison et à la dévalaison. Les nouveaux ouvrages ou ceux dont le renouvellement

d'autorisation ou de concession est en cours doivent s'équiper dans un délai de 5 ans de dispositifs assurant la libre circulation des poissons. En complément, l'article L.432-5 vise à maintenir un débit minimum à l'aval de chaque ouvrage, afin de permettre la vie, la circulation et la reproduction des espèces piscicoles.

En outre, cette nouvelle loi renforce la gestion locale et partagée de la ressource en eau à travers les schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) dont la portée juridique est renforcée.

II.3.3. Plan de gestion en faveur de l'Anguille (règlement européen n°1100/2007)

Les préoccupations concernant la préservation de l'Anguille européenne se sont faites croissantes ces dernières années et la nécessité des mesures de préservation et de gestion a été clairement mise en évidence par les scientifiques, les gestionnaires et même par le grand public.

Le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) recommandait, dans son rapport d'octobre 2002, l'adoption d'urgence d'un programme de reconstitution des stocks d'Anguille européenne (CCE, 2003). Le parlement européen a donc adopté en novembre 2005 une résolution conviant la Direction des Pêches de la Commission européenne à présenter un Règlement pour la reconstitution des stocks de l'Anguille européenne.

Ainsi, le Conseil des ministres a voté le 18 septembre 2007 un règlement européen (n°1100/2007) instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes. Par son statut de « Loi communautaire », ce règlement s'applique directement à l'Etat Français, sans transposition dans les textes nationaux.

L'article 2 précise que « l'objectif de chaque Plan de Gestion Anguille sera de réduire la mortalité d'origine anthropique et d'atteindre 40% d'échappement vers la mer de la biomasse d'anguilles argentées, cela en fonction de la meilleure estimation sur le taux d'échappement qui aurait existé si aucune influence anthropique n'avait eu d'impact sur le stock ». Les articles 3 et 4 précisent que « *tous les Etats membres devront présenter leurs Plans de Gestion Anguille à la Commission au plus tard le 31 décembre 2008 pour une mise en œuvre à partir du 1^{er} juillet 2009, ou dans les plus brefs délais avant cette date* ».

L'objectif de cette proposition est la gestion durable de l'Anguille européenne c'est-à-dire en ramenant la biomasse du stock de cette espèce à ses niveaux historiques et en permettant la migration des civelles. Cet objectif de gestion durable est traduit par la commission en une cible de biomasse locale, soit 40 % de la biomasse de géniteurs produite par bassin versant dans un environnement et un habitat pristine (non perturbé). L'évaluation directe de cette biomasse n'est possible que dans de rares cas. La plupart du temps, elle se base sur les anguilles jaunes en place dans le bassin (Briand *et al.*, 2006).

Les mesures prises en application dudit règlement seront par la suite intégrées aux PLAGEPOMI ainsi qu'aux documents à portée juridique nationale tels que les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE).

Pour mettre en œuvre le règlement européen, la France a rédigé un plan de gestion composé d'un volet national et autant de volets locaux interrégionaux que de bassins hydrographiques. La rédaction de ces derniers a été pilotée au niveau national le MAP et le MEEDDAT et, relayée au niveau local par les Directions Régionales de l'Environnement (DIREN secrétaires du COGEPOMI). Cette rédaction est basée sur une collaboration entre les différents services compétents : Directions Régionales des Affaires Maritimes (DRAM), Délégations régionales et inter-régionales de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA), Agences de l'Eau, Associations Migrateurs, pêcheurs, organismes de recherche...

Les Plans de Gestion locaux ont pour premier objectif de dresser des diagnostics précis de l'état de la population d'anguilles et des habitats ainsi que des pressions qui y sont exercées. Le volet national a ensuite pour rôle de compléter ces diagnostics en proposant une analyse systémique.

Concernant la problématique « ouvrage », une méthodologie nationale a été adoptée pour identifier des zones d'actions et ouvrages prioritaires ainsi qu'une zone d'actions à long terme pour l'Anguille à l'intérieur de chaque bassin. Il est ainsi prévu sur les Zones d'Actions Prioritaires (ZAP) d'effectuer un diagnostic à l'ouvrage en procédant de l'aval à l'amont pour rechercher les meilleures solutions techniques pour permettre le passage des anguilles tant à la montaison qu'à la dévalaison. Une liste d'ouvrages, préalablement définie, a permis de hiérarchiser ces derniers selon des critères biologiques, techniques et économiques. Ainsi sur chaque ouvrage prioritaire, ce diagnostic à l'ouvrage devra être lancé dès 2009/2010 afin de mettre en œuvre la solution de franchissement choisie entre 2009 et 2015. Les zones d'actions à long terme ont pour objectif l'amélioration des connaissances sur ces territoires en termes d'état de la population et de potentialités pour l'Anguille afin de les désigner comme ZAP dans le second plan de gestion.

A ce titre, des ZAP ont été définies sur le bassin versant de l'Etang de l'Or et concernent l'intégralité des linéaires du Salaison, de la Cadoule, du Bérange et de la Viredonne.

Un programme d'actions (notamment en termes d'équipement par des dispositifs de franchissement d'amontaison et d'avalaison et d'expertise de la franchissabilité) a donc été établi pour les 6 années à venir sur les ouvrages prioritaires et ceux présents dans les zones d'actions prioritaires. **Néanmoins, aucun ouvrage sur le bassin de l'Etang de l'Or n'a été inscrit comme prioritaire dans ce programme d'actions.**

Sur l'Etang de l'Or, le cœur des mesures de gestion concerne la pêche dont les actions sont fixées au niveau national, par le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche. La ligne directrice adoptée par l'Etat français est de définir des mesures de gestion concernant les principales sources de mortalité anthropique de l'Anguille. Pour les pêcheries, l'objectif du Plan de Gestion est de réduire la mortalité par pêche de 30% en 3 ans à une échelle nationale. Toutefois, afin de prendre en compte les spécificités des différentes pêcheries, tant du point de vue du stade biologique ciblé, que de la technique de pêche utilisée, certaines modalités de mise en œuvre des mesures nationales ont été décidées par les bassins.

Sur le bassin Rhône Méditerranée (RM), les objectifs de gestion sont de suivre l'effort de pêche, de l'encadrer et de protéger la ressource. Ainsi, la pêche professionnelle de l'Anguille sur les lagunes est soumise, depuis le 1^{er} janvier 2009, à (DIREN Rhône-Alpes, 2008) :

- La détention d'une licence « Anguille » est instituée par délibération des comités régionaux des pêches maritimes et des élevages marins sur le fondement de l'article 5 de la Loi n°91-411 du 2 mai 91. Cette licence se compose de deux timbres ouvrant droit aux pêches à de l'Anguille Jaune et de l'Anguille Argentée,
- L'interdiction de la pêche à la civelle (taille minimale de capture de 12 cm),
- La limitation de l'effort de pêche à 60 verveux et de la longueur du bateau à 12 m :

Le Plan de Gestion en faveur de l'Anguille (PGA) prescrit un effort de pêche limité au maximum à 60 verveux (20 capétchades) pour un professionnel titulaire d'une ou plusieurs licences. Le maillage réglementaire est quant à lui fixé à 10 mm par l'arrêté du 19 décembre 1994 sur la réglementation technique pour la pêche professionnelle en Méditerranée faisant référence au décret du 19 novembre 1859 (Crivelli, 1998). Cependant, cette réglementation n'est pas appliquée et la pêche s'effectue majoritairement avec des mailles de 6 mm en queue de verveux (Crivelli, *ibidem* ; Pêcheurs professionnels, *Comm. Pers.*).

Il demeure interdit de former des barrages dans les étangs, lagunes, anses, fleuves et canaux qui occupent plus des deux tiers de la largeur mouillée du plan d'eau au titre de ce même article (décret n°90-94 du 25 janvier 1990 pris pour l'application des articles 3 et 13 du décret du 9 janvier 1852 modifié sur l'exercice de la pêche maritime).

- L'ouverture de la pêche (Arrêté ministériel du 7 Août 2009) :
 - Anguille jaune : du 1^{er} mars au 31 décembre avec un mois de fermeture du 15 juillet au 15 août
 - Anguille argentée : du 15 septembre au 15 février.
- La déclaration de leurs captures.

III. Facteurs influençant le stock d'Anguille

Ubiquiste, l'Anguille européenne peut s'adapter à tout type de milieu aquatique (Jellyman, 1989). Aussi suivant la complexité du réseau hydrographique (cours d'eau, canaux, zones humides, étangs...), la surface en habitats potentiellement colonisables par cette espèce peut être considérable.

Le bassin versant de l'étang de l'Or comprend (Figure 10) :

- Des zones humides représentant une superficie de 79,34 km² : étang saumâtre, marais littoraux et d'eau douce,
- Des cours d'eau et canaux (excepté canal du Bas Rhône Languedoc) représentant une surface estimée de 0,95 km² (largeur moyenne évaluée selon le rang de Strahler (Souchon et al., 2000)).

La surface potentiellement disponible pour la croissance des anguilles est de 80,29 km² dont 99% sont l'étang et ses zones humides associées. Toutefois, ces dernières ne sont pas nécessairement favorables au cortège piscicole (présence temporaire de l'eau, notion de connectivité avec la lagune ou les affluents...).

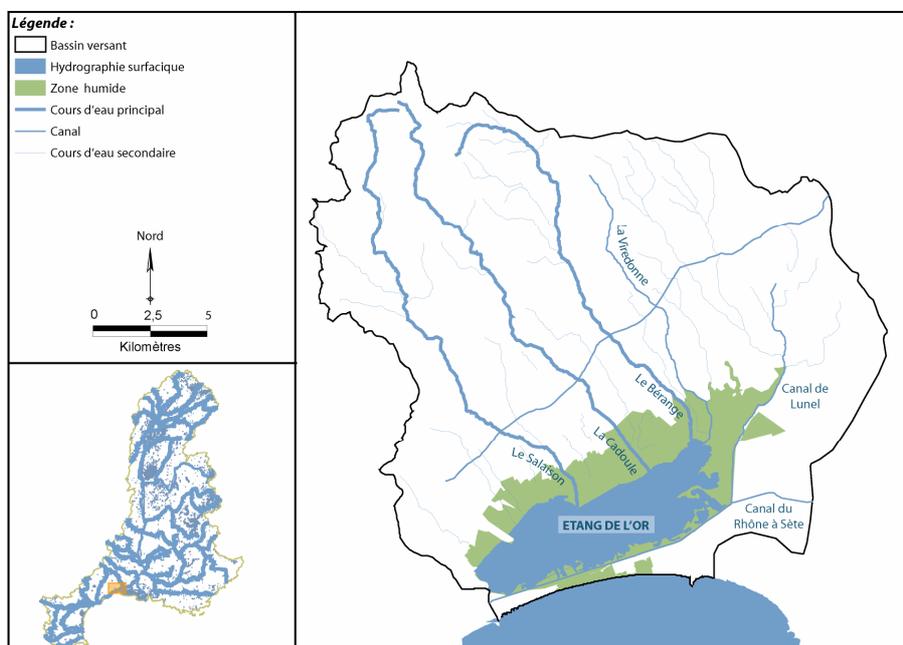


Figure 10 : Surfaces potentiellement disponibles sur le bassin versant de l'Etang de l'Or (BD Carthage, DIREN Languedoc-Roussillon)

Sans perturbation anthropique, la population d'anguilles peut coloniser la quasi-totalité du réseau hydrographique. Une diminution graduelle de la population d'Anguille s'observe de l'aval vers l'amont sur un bassin versant et s'expliquerait par l'éloignement à la mer (Knights et al.,

2001), le niveau typologique (Oberdorff *et al.*, 2001) ou encore le phénomène de densité-dépendance (Briand, 2002 in Muchiut *et al.*, 2005 ; Ibbotson *et al.*, 2002 in Leprevost, 2007).

Néanmoins, l'altération des habitats à l'échelle du bassin versant semble jouer un rôle majeur dans le déclin du stock de l'Anguille européenne (Laffaille *et al.*, 2004 ; Laffaille *et al.*, 2005). En effet, les ouvrages transversaux, la gestion des débits, l'assèchement des zones humides, les pompages... entravent l'accès aux zones de croissance réduisant de ce fait la surface en habitats. Il est donc important de connaître la surface réellement colonisable pour l'Anguille sur le bassin et son évolution dans le temps.

La description du milieu est basée sur les indicateurs préconisés par INDICANG (Muchiut *et al.*, 2005) qui ont été dans certains cas, adaptés au contexte lagunaire et à l'échelle du bassin versant de l'Étang de l'Or. Dans l'objectif de définir des orientations de gestion, ce choix a été motivé par l'utilisation de critères synthétiques décrivant de manière pertinente les habitats, dans lesquels évolue l'Anguille, en termes de pressions directe et indirecte. En outre, ces descripteurs sont facilement actualisables et comparables entre bassins versants. En plus d'un état des connaissances sur la relation entre l'espèce et les différentes composantes du milieu, l'influence de chaque indicateur sur ce migrateur sera appréciée dans la mesure du possible.

III.1. Obstacles à la migration

III.1.1. Caractérisation des obstacles

Les barrages et seuils perturbent la libre circulation en engendrant un retard voire un blocage de la migration (Laffaille *et al.*, 2003). Ils ont donc un effet plus important sur la répartition des anguilles que la distance à la mer (White et Knights, 1997 ; Briand *et al.*, 2005).

Les capacités de franchissement de l'Anguille sont spécifiques. Contrairement aux autres poissons migrateurs, ses faibles capacités de saut et de nage limitent le franchissement des seuils et des dispositifs de franchissements à aloses et/ou salmonidés. Seule sa disposition à la reptation sur des parois humidifiées et la nage - dépendante des vitesses d'écoulement, de la longueur à franchir... - lui permet d'accéder aux zones amont.

Sur le bassin versant de l'étang de l'Or, le recrutement est en grande partie conditionné par la Porte de Carnon (Figure 9) dont le type de gestion détermine sa transparence. Bien qu'elle ne soit fermée que périodiquement, les manoeuvres, fonction de la côte de la mer, sont plus fréquentes en hiver, conditionnant la migration des civelles. Aucune information n'est néanmoins disponible sur les périodes et durées de fermeture des portes.

25 seuils entravent la migration des anguilles sur ses tributaires. Leur cloisonnement moyen reste modéré puisque 1 ouvrage est présent tous les 2,5 km à 14,5 km (Tableau 3).

Tableau 3 : Densité moyenne d'obstacles sur les principaux tributaires de l'Etang de l'Or

Affluents	Nombre de seuils	Linéaire (km)	Densité d'obstacles (1 ouvrage tous les X km)
Salaison	10	24.9	2.5
Cadoule	7	22.8	3.3
Bérange	4	20.9	5.2
Canal de Lansargues	1	14.5	14.5
Dardaillon	3	10.8	3.6

Toutefois, la répartition spatiale des obstacles à la migration met en évidence une concentration de ces derniers sur la partie inférieure des cours d'eau tels le Salaison, la Cadoule, le Bérange et le Canal de Lansargues (Figure 11).

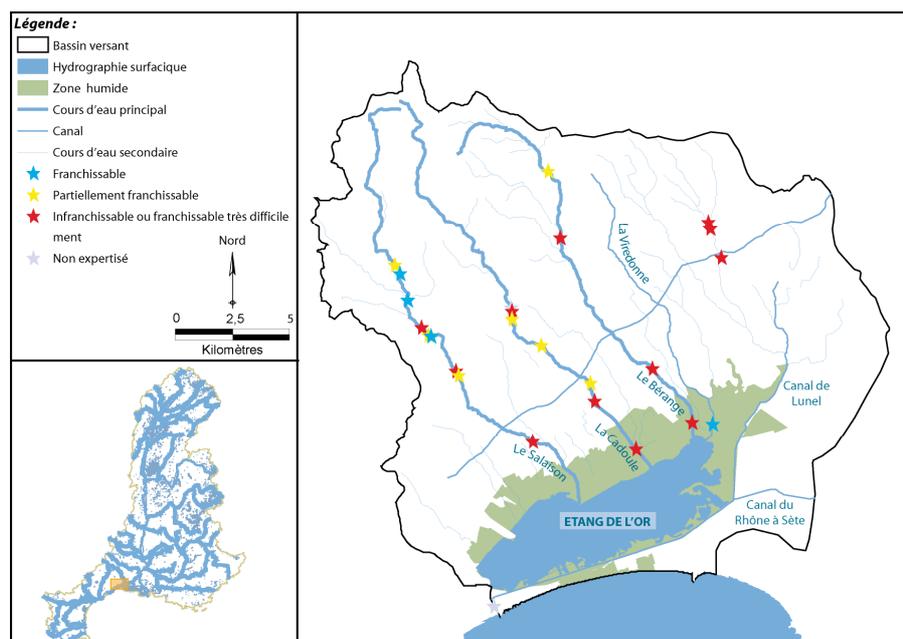


Figure 11 : Localisation des obstacles à la libre circulation piscicole (ONEMA, FDAAPPMA 34) et expertise de leur franchissabilité pour l'Anguille (individu > 110 mm) (Legault, 2009) (BD Carthage)

Aussi, la franchissabilité expertisée spécifiquement pour l'Anguille (longueur > 110 mm) sur ces ouvrages montre un impact élevé des ouvrages sur les migrations de montaison dès les premiers obstacles. Néanmoins, la sélectivité des ouvrages dépend fortement de la taille des individus. Les anguilles en migration sont essentiellement de jeunes anguilles (groupe d'âge 0+) en raison de la faible distance à la mer. Ces individus se caractérisent par de meilleures capacités de reptation, ce qui rend la plupart des ouvrages partiellement voire totalement franchissables (Tableau 4).

Tableau 4 : Linéaire potentiellement colonisable par l'Anguille en fonction de la taille des individus

Cours d'eau	Linéaire potentiellement colonisable (km)	
	Longueur < 110 mm	Longueur > 110 mm
Salaison	9,0	3,9
cadoule	1,1	1,1
Bérange	0,8	0,8
Dardaillon	Totalité du linéaire	6,0

Au regard des conditions hydrologiques, situées entre 2 et 3 fois le module, dans lesquelles

se sont déroulées les expertises, ces dernières surestiment le franchissement des seuils par l'Anguille (lames d'eau plus élevées, hauteurs de chutes plus faibles...). En outre, ces expertises ne reflètent qu'en partie les conditions rencontrées par cette espèce lors de la colonisation des affluents.

La dévalaison des anguilles n'est pas à omettre. Actuellement sur les tributaires de l'étang de l'Or, les caractéristiques des seuils (absence de centrales hydro-électriques) n'induisent aucun impact sur la migration catadrome des géniteurs vers la mer.

III.1.2. Restauration des voies de migration de l'anguille

L'effacement d'un ouvrage est la solution la plus efficace pour rétablir les voies de migration. En effet quelque que soit le dispositif de franchissement, la qualité de sa conception ainsi que son attractivité, il induit toujours une sélection et un retard de migration. Travade et Larinier (1992) souligne que l'effet cumulatif des aménagements sur un cours d'eau peut même atteindre rapidement des proportions non compatibles avec le maintien d'une population de migrants. La meilleure solution est donc l'arasement voire la réalisation d'ouvrages franchissables par conception. Elle a ainsi été proposée sur le seuil 1 du Mas du Haut Bois sur le Salaison. Par ailleurs, trois types d'aménagement (Figure 12) sont ainsi préconisés en fonction des caractéristiques des obstacles :

- **Barrages mobiles et seuils à fort dénivelé** : goulotte à Anguille pour les barrages anti-sel sur la Cadoule, le Bérange et le canal de Lansargues, le barrage du domaine des Mazes sur le Salaison et le seuil Pont A9 sur le Dardaillon,
- **Buses et radier de pont** : pré-barrages pour les seuils Pont D112 E6, du parcours sportif (le Crès) et du Mas du Haut Bois sur le Salaison, les seuils du pont « Mas de la plaine », du golf de Montpellier et du pont de Vendargues sur la Cadoule et du Pont SNCF sur le Dardaillon,
- **Obstacles verticaux** : aménagements de zones de transit propices (substrat à plots/brosse) pour les seuils du Pont de Moulines sur le Bérange, du pont "Mas le petit Cannebeth" et du parcours de santé sur la Cadoule, du Pont "Fontcendreuse" sur le Dardaillon et du Pont D24E3 sur le Salaison.



Figure 12 : Aménagements proposés pour la restauration des voies de migration chez l'Anguille : goulottes, pré-barrages et aménagement de rive (de gauche à droite) (Fish-Pass)

Néanmoins, il apparaît délicat de hiérarchiser de manière très strictes les actions d'aménagements des seuils uniquement sur des critères techniques. Même si une stratégie d'aménagement est systématiquement définie d'aval en amont du fait des spécificités écobioécologiques de l'Anguille, ce travail ne constitue qu'une première base puisque la hiérarchisation des priorités d'actions devra prendre en considération dans une seconde étape la notion de gain écologique apporté à l'espèce, associée à la notion d'investissement.

III.2. Qualité des habitats

III.2.1. Aspect quantitatif

Caractérisés par un régime méditerranéen, les tributaires de l'Etang de l'Or connaissent une période d'étiage sévère, s'accompagnant d'un assèchement d'une grande partie du réseau hydrographique (Figure 13).

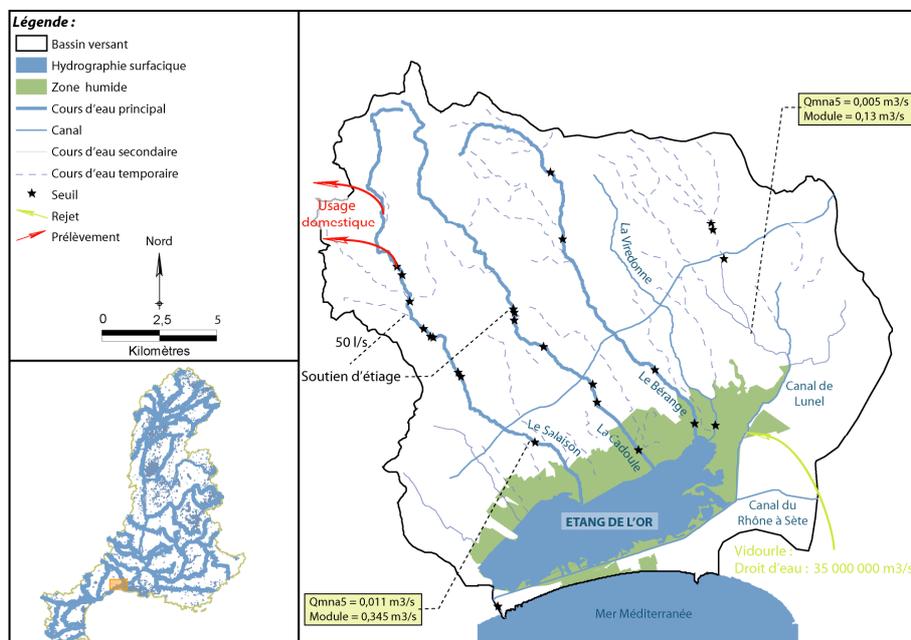


Figure 13 : Qualité hydrologique des affluents de l'Etang de l'Or (BD Carthage, Banque Hydro, FDAAPPMA 34)

En plus des prélèvements souterrains (15,5 millions de m³/an pour captage d'Adduction en Eau Potable ou à vocation agricole), ces étiages sont accentués par des captages de sources (38 506 m³/an sur le Dardaillon) et plusieurs prélèvements à usage agricole. Ces derniers se

concentrent sur la partie supérieure du Salaison. Le débit prélevé reste faible, mais leur effet cumulatif peut avoir des impacts sur l'hydrologie du Salaison en période de basses eaux (FDAAPPMA 34, *en cours*). Les éventuels prélèvements sauvages ne sont pas à omettre, mais leur méconnaissance rend difficile l'évaluation de leur impact sur l'hydrologie des affluents.

Au regard du déficit hydrique en période estivale, certains cours d'eau bénéficient d'un soutien d'étiage :

- Le Salaison : prélèvement dans le canal Bas Rhône Languedoc (50 l/s),
- La Cadoule : forage.

Par ailleurs, il est important de souligner l'apport d'eau provenant du drainage de la plaine de Marsillargues, de la station de pompage du Vidourle et des rejets des 24 stations d'épuration qui participent indirectement à la pérennisation des écoulements.

Aussi, l'aspect quantitatif de la ressource en eau reflète les conditions dans lesquelles se déroulent les phases de colonisation et de croissance de l'Anguille. Sur la période estivale, le débit d'appel devient quasi-nul à partir de juin (Figure 8) perturbant significativement la migration des anguilles (attractivité, franchissement). Durant cette même période, les assèchements récurrents du réseau hydrographique (Figure 13), à l'exception de la partie aval des affluents principaux (Salaison, Cadoule, Bérange, Viredonne et le canal de Lunel), dégradent fortement la qualité du milieu et entraînent une perte en habitat pour cette espèce.

III.2.2. Aspect qualitatif

Depuis plusieurs décennies, l'anthropisation, et plus particulièrement l'agriculture et l'urbanisation, n'a cessé de croître, induisant des apports plus élevés en matières organiques et xénobiotiques dans le milieu. Chez l'Anguille, la dégradation des systèmes aquatiques n'a pas d'effets immédiats sur le stock (mortalité) mais agit indirectement sur la population en affaiblissant ses capacités de migration et de reproduction (Girard, 1998 ; Robinet et Feunteun, 2002 ; Palstra et *al.*, 2005 ; Thillart et *al.*, 2005). Comme le précise l'ICES (2003), l'augmentation des pesticides en agriculture doit avoir un effet sur l'Anguille bien qu'aucune donnée sur ces effets ne soit disponible dans la littérature.

Deux voies de contamination existent chez l'Anguille : le transfert trophique et le transfert par l'eau *via* les branchies et la peau. Par ailleurs, les traits de vie de l'Anguille rendent cette espèce très vulnérable : pourcentage lipidique élevé, niveau trophique élevé, longue durée de vie, semelparité (Amilhat, 2007).

En l'état actuel des connaissances, il reste difficile de quantifier les effets des polluants sur la biologie et leurs impacts sur le stock d'Anguille en milieu naturel ainsi que les concentrations

pour lesquelles ils ont un effet délétère sur les individus (Amilhat, 2007 ; Muchiut *et al.*, 2008 in Adam *et al.*, 2008). De plus, les pollutions organiques et minérales rendraient le poisson plus sensible aux agents pathogènes responsables de déformations, lésions tissulaires et tumeurs (Bruslé, 1994 ; Girard, 1998).

Aussi, les relations de causes à effets entre la qualité du milieu et la population d'Anguille - méconnues- se reflètent à l'échelle de l'individu mais également à l'échelle de la population d'Anguille (transfert de la pollution dans les ovaires puis les larves, ...). Il demeure donc indispensable de suivre la qualité des habitats au travers de la biologie et la physico-chimie de l'eau, dans l'attente d'affiner les connaissances sur l'impact des contaminants.

III.2.2.1. Etang de l'Or

Qualité biologique de l'eau

Le suivi de la qualité de l'eau met en avant l'état de dégradation extrême de l'étang de l'Or quel que soit le niveau trophique étudié (production primaire, macrophytes, macroinvertébrés benthiques) (Données RSL - Ifremer). Plus précisément, la partie orientale de la lagune semble plus sensible au phénomène d'eutrophisation, au regard des proliférations phytoplanctoniques en période estivale.

En ce qui concerne l'ichtyofaune, 93 espèces dont 24 fréquentent l'étang régulièrement (Lepage *et al.*, 2008), ont été recensées dans la bibliographie (Annexe 1). Le peuplement piscicole est principalement liée au domaine marin et fréquentent l'étang généralement pendant les premiers mois de leur vie (alevinage). Aussi, ces connaissances ne permettent pas actuellement d'apprécier la qualité des habitats au regard de l'ichtyofaune. Dans le cadre de la DCE, des inventaires piscicoles ont été réalisés sur les masses d'eau de transition. Outre l'utilisation de cet état initial dans l'évaluation ultérieure des modifications et évolutions du milieu, cette base doit aboutir à l'élaboration d'un indicateur « Poissons » pour les eaux de transition - en cours de validation - qui vise à apprécier leur qualité au regard de leurs fonctionnalités et services rendus aux poissons.

Qualité physico-chimique de l'eau

L'Etang de l'Or est soumis à une forte dégradation de la qualité physico-chimique de l'eau, généralisée à toute la lagune, dont aucune amélioration n'a été décelée depuis 1999 (Tableau 5).

Tableau 5 : 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)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Les sels nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium et phosphate) sont consommés par le phytoplancton, dont des proliférations sont observées en été (teneur en chlorophylle a très élevée), et restent alors à des niveaux faibles - excepté en 1999, 2004, 2005 et 2008. Malgré cela, les concentrations en azote et phosphore totaux, présents sous la forme biologique, sont extrêmement fortes dans la colonne d'eau et dénotent une eutrophisation de la lagune.

Même si le Tableau 5 n'indique pas de différence significative Est-Ouest, l'anoxie de la colonne d'eau, révélatrice des phénomènes de malaïgue, est plus prononcée sur la partie Est de la lagune qui est plus confinée (faible brassage des eaux) et sujet à des apports d'eau douce.

A noter qu'aucune pollution organique et n'a été décelée dans l'étang de l'Or (RINBIO - Ifremer).

III.2.2.2. Tributaires

Qualité biologique de l'eau

De manière générale, l'étude des peuplements de macro-invertébrés révèle une mauvaise qualité de l'eau sur le Salaison et la Cadoule (Figure 14). Cet indice traduit une faible diversité taxonomique (entre 7 et 10 taxons) mettant en évidence une homogénéisation des habitats. Chaque station se caractérise par un Groupe Faunistique Indicateur (GFI) de 5 représenté par les familles d'*Hydroptilidae* (Trichoptères), d'*Heptageniidae* (Ephéméroptères), de *Polymitarcidae* (Ephéméroptères) et/ou de *Potamanthidae* (Ephéméroptères). Familles moyennement pollu-sensibles, elles dénotent d'une dégradation de la qualité de l'eau par des apports nutritifs excessifs.

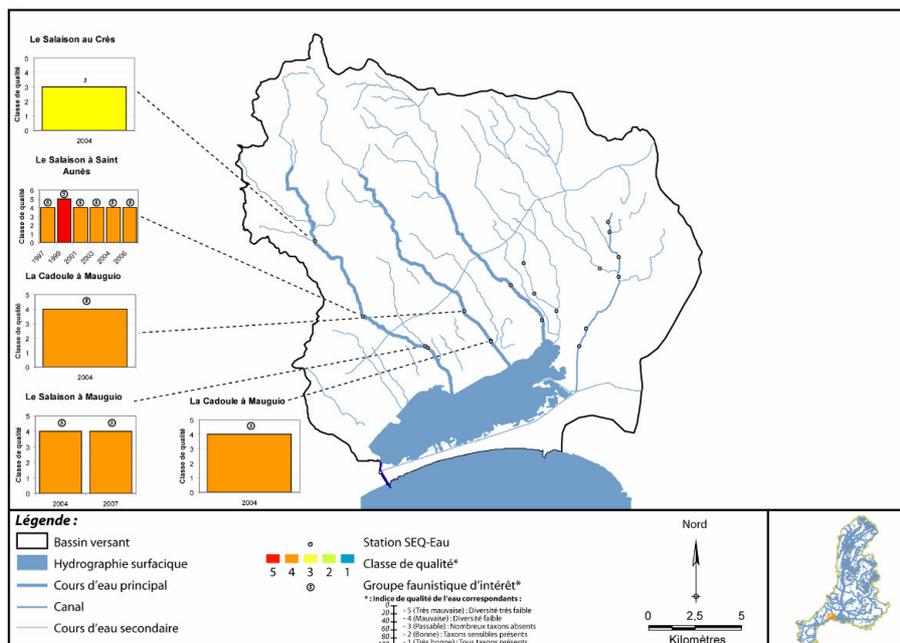


Figure 14 : Evolution des Indices Biologiques Globaux Normalisés (IBGN) sur les tributaires de l'Etang de l'Or (SEQ-Eau)

La composition du peuplement piscicole met également en avant une altération des habitats (Figure 15). Globalement, la richesse spécifique est moyenne voire faible - les espèces les plus représentées étant l'Anguille, le Chevaine, le Gardon, la Perche Soleil et le Vairon – et quasi-homogène sur le gradient longitudinal.

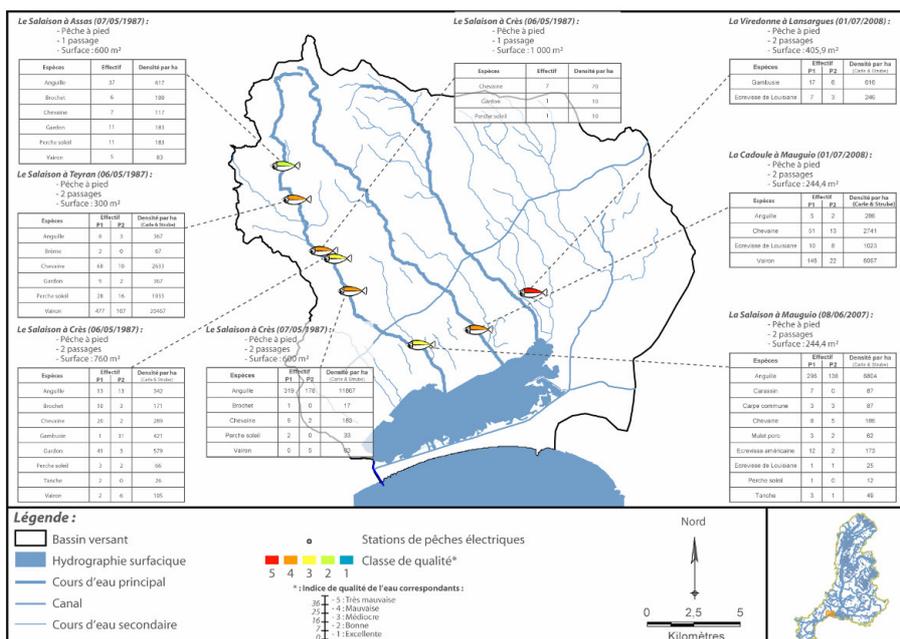


Figure 15 : Evolution de l'Indice Poisson en Rivière (IPR) sur les tributaires de l'Etang de l'Or (ONEMA)

Ces espèces sont pour la plupart ubiquistes présentant un large spectre d'habitats (Anguille, Chevaine). Elles sont, de plus, peu exigeantes en matière de qualité physico-chimique de l'eau en termes d'oxygène dissous, de température et de salinité (Anguille, Chevaine, Brochet et Gambusia). Espèces plutôt lenticques, la présence entre autres du Gardon, de la Perche Soleil, du Brochet et de la Gambusia dénote l'existence d'une végétation dense dans le lit des cours

d'eau, utilisée comme habitat ou siège de la reproduction. Seul le Vairon souligne une diversification des écoulements et une bonne qualité de l'eau, tout du moins sur les stations d'échantillonnage du Salaison et de la Cadoule, puisque cette espèce rhéophile affectionne pour sa reproduction une granulométrie de type gravier non colmaté et des eaux bien oxygénées.

Qualité physico-chimique de l'eau

Au regard des Matières Organiques et Oxydables (MOOX), la qualité de l'eau sur le Salaison demeure bonne, excepté au niveau de la commune de Saint Aunès provenant vraisemblablement du dysfonctionnement de sa station d'épuration (Annexe 2). La Cadoule, le Bérange et le Canal de Lansargues présentent quant à eux une bonne voire très bonne qualité de l'eau. En revanche, les affluents de la partie orientale du bassin, et plus particulièrement le Canal de Lunel, sont les plus dégradés. L'apport d'intrants provenant de la plaine d'irrigation de Marsillargues dans ce système reste la cause la plus probable de ce constat.

De même, les tributaires de l'Etang de l'Or sont peu chargés en Azote (Nitrite et Ammoniac), excepté sur le salaison au niveau de Saint Aunès (qualité mauvaise), sur la partie aval de la Viredonne (qualité passable) et sur el canal de Lunel (qualité passable) (Annexe 3).

Concernant les nitrates, aucune pollution n'a été décelée, la qualité demeurant bonne pour ce paramètre (Annexe 4). Toutefois, le suivi de la qualité de l'eau réalisé par le Conseil Général de l'Hérault (AQUASCOP, 2004) n'aboutit pas à ces mêmes observations et met en évidence une qualité moyenne du Salaison et du canal de Lunel, une mauvaise qualité du Bérange et de la partie aval de la Viredonne.

Les matières phosphorées, issues des rejets domestiques, dégradent fortement la qualité de l'eau du Salaison (mauvaise à très mauvaise). Les tributaires de la partie orientale du bassin ne sont pas épargnés. En effet, le Canal de Lunel présente une qualité de l'eau passable en aval de sa confluence avec le Dardaillon, tout comme le Bérange et le canal de Lansargues. Seule la Cadoule demeure de bonne qualité pour ce paramètre (Annexe 5).

La qualité physico-chimique est également révélatrice d'apports domestiques excessifs au vu des concentrations en MOOX, azote et phosphore des tributaires. Aussi, la dégradation de la qualité de l'eau sur le Salaison semble provenir du dysfonctionnement de la station d'épuration de Saint Aunès, auquel s'ajoute une saturation du réseau d'assainissement en période pluvieuse de la commune de Jacou. L'Aigues Vives, affluent de la Cadoule, et le Dardaillon connaissent également de fortes perturbations du milieu dont le mauvais fonctionnement des stations d'épuration de Baillargues, Vendargues et de Restinclières en serait la cause (FDAAPPMA 34, *ibidem*).

L'activité agricole contribue à la dégradation de la qualité de l'eau des tributaires de l'Etang de l'Or et plus particulièrement ceux de la partie orientale du bassin, drainés par la plaine d'irrigation de Marsillargues (Dardaillon, Canal de Lunel et dans une moindre mesure, Bérange et Canal de Lansargues). Même si il n'existe aucun élément quantifié sur les apports nutritifs agricoles dans ces milieux aquatiques (FDAAPPMA 34, *en cours*), il n'en reste pas moins qu'il s'agit d'une source non négligeable de pollution à l'origine d'un dysfonctionnement général des systèmes aquatiques (réduction de la quantité d'oxygène, dystrophie).

Les pesticides

L'absence de données ne permet pas de conclure sur une éventuelle pollution par les pesticides sur les affluents de l'Etang de l'Or. Leur recherche sur le Dardaillon n'a mis en évidence aucune contamination de l'eau par ces derniers (AQUASCOP, 2004).

Les polluants organiques

Exclusivement suivie sur le Salaison, la qualité des sédiments au regard des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), reflets des activités humaines, demeurent passable depuis 1997, c'est-à-dire que leurs concentrations dans les sédiments engendrent l'absence de nombreux taxons (SEQ-Eau). L'existence de zones industrielles et commerciales sur la commune de Vendargues peut en être à l'origine.

Les micro-polluants

Une pollution par l'Arsenic a été constatée en 2003 sur le Salaison sur sa partie amont (Le Crès), seul cours d'eau suivi dans le cadre de campagne d'étude réalisée par le Conseil Général de l'Hérault (AQUASCOP, 2004).

III.3. Pêche

La pêche sur l'Etang de l'Or, comme sur les autres étangs palavasiens, est restée très artisanale. Bien qu'elle cible plusieurs espèces telles que l'Anguille, l'Athérine, la Dorade, le Loup, la Sole et les muges, les captures d'Anguille représentent à elles seules 80 % de la production halieutique annuelle (CEPRALMAR, 2002).

III.3.1. Réglementation

L'étang de l'Or appartenant au Domaine Public maritime, ses pêcheurs professionnels sont donc soumis au régime de la marine (marins pêcheurs).

Comme sur toute la façade méditerranéenne, la pêche maritime sur cette lagune est institutionnellement régie par les prud'homies. Celles de Palavas et du Grau du Roi gèrent respectivement 2/3 et 1/3 de l'étang. La pêche à l'Anguille nécessite la détention d'une licence

« Anguille ». Elle est instituée par délibération des comités régionaux des pêches maritimes et des élevages marins sur le fondement de l'article 5 de la Loi n°91-411 du 2 mai 91.

Sur la façade méditerranéenne, la pêche à la civelle est interdite. la taille minimale de capture est fixée à 12 cm.

Le maillage réglementaire est quant à lui fixé à 10 mm par l'arrêté du 19 décembre 1994 sur la réglementation technique pour la pêche professionnelle en Méditerranée faisant référence au décret du 19 novembre 1859 (Crivelli, 1998). Cependant, cette réglementation n'est pas appliquée et la pêche s'effectue majoritairement avec des mailles de 6 mm en queue de verveux (Crivelli, *ibidem* ; Pêcheurs professionnels, *Comm. Pers.*).

Par ailleurs, il demeure interdit de former des barrages dans les étangs, lagunes, anses, fleuves et canaux qui occupent plus des deux tiers de la largeur mouillée du plan d'eau au titre de ce même article (décret n°90-94 du 25 janvier 1990 pris pour l'application des articles 3 et 13 du décret du 9 janvier 1852 modifié sur l'exercice de la pêche maritime).

Depuis le 1^{er} janvier 2009, la pêcherie professionnelle est soumise au Plan de Gestion en faveur de l'Anguille. Il fixe entre autres les ouvertures et l'effort maximal de la pêche.

III.3.2. Organisation de la pêche

Le calage des capétheades est réglementé dans l'étang une partie de l'année, le reste étant libre. Aussi, chaque poste est tiré au sort et le titulaire de cet emplacement jouit donc de l'exclusivité de la pêche du 1^{er} juillet au 31 janvier (Prud'homme de Palavas-les-Flots). Ces postes sont théoriquement placés dans la partie Sud de l'étang (Figure 16), la zone Nord pouvant être librement exploitée.

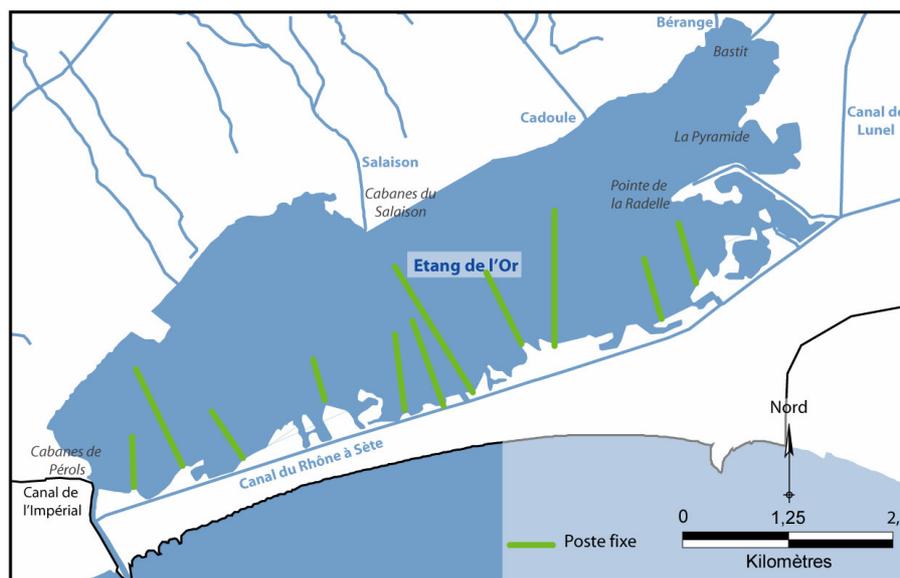


Figure 16 : Localisation des postes fixes hivernaux sur l'Étang de l'Or - année non précisée (Natura 2000)

Deux types de postes se distinguent (Quignard *et al.*, 1983) :

- Le poste simple correspond à une unité poste destinée à un pêcheur (400 brasses),
- Le poste quadruple correspond à quatre unités (1 600 brasses) destinées à quatre pêcheurs.

III.3.3. Activité de pêche

III.3.3.1. Matériel et technique de pêche

Aujourd'hui, l'activité de pêche est principalement dédiée à l'Anguille. Sur l'étang de l'Or, le principal engin utilisé est la capétchade palavasienne. Elle se compose d'une paradière d'au moins 50 m de long sur 1,5 m de haut (occupation de l'intégralité de la colonne d'eau) et d'un tour constitué de trois verveux (Figure 17).

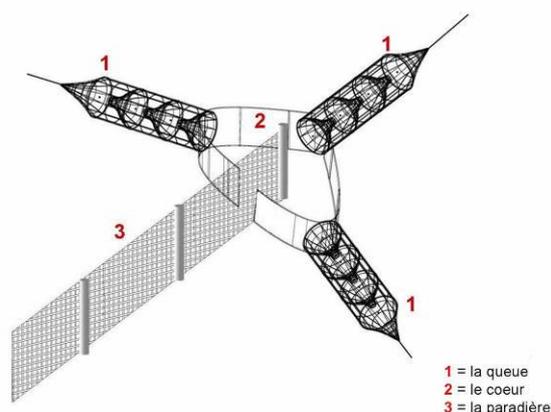


Figure 17 : Schéma d'une capétchade (Abdallah *et al.*, 2009)

Pour la prise des anguilles et des athérines, les dimensions de mailles sont de 10 à 16 mm pour la paradière et de 4 à 10 mm pour les verveux. Aussi selon la localisation sur l'étang et la période de l'année, les pêcheurs utilisent différentes combinaisons avec cette unité de base afin d'augmenter l'efficacité de leur engin (Quignard *et al.*, 1983).

III.3.3.2. Effort de pêche

L'effort de pêche est variable suivant les pêcheurs, excepté la relève qui demeure quotidienne. Il varie entre 8 à 35 capétchades actives sur la lagune par pêcheur. Néanmoins, alors que pour certains, le nombre d'engins est constant sur l'année, une variabilité saisonnière apparaît pour d'autres avec un effort plus élevé en automne et en hiver, en particulier pour la pêche des anguilles argentées (Annexe 6).

III.3.4. Historique et évolution

L'évolution des captures d'Anguille (Figure 18) rend compte d'une chute importante de production entre 1970 (production de 1000 tonnes) et 2008 (production de 43 tonnes).

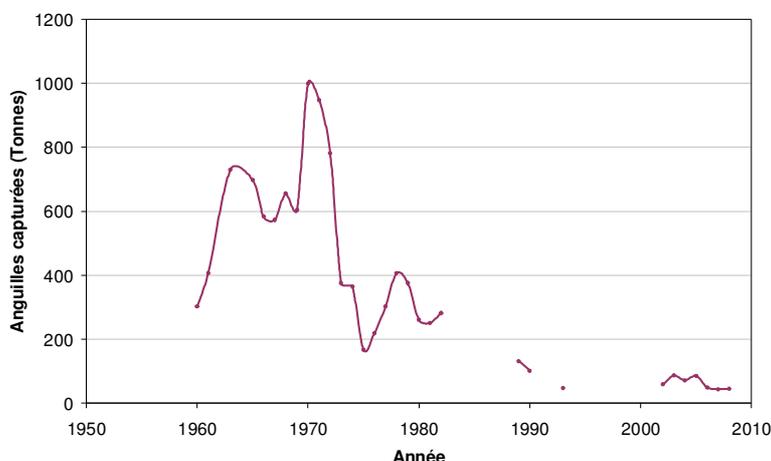


Figure 18 : Evolution des captures d'Anguille entre 1960 et 1982 (AQUASCOP, 1983), entre 1989 et 1993 (Ruiz, 1994) et entre 2002 et 2008 (GEAL) sur l'Étang de l'Or

Les causes de ce déclin sont multiples mais peuvent être dues, entre autres, à une forte augmentation de l'effort de pêche, à une forte diminution du recrutement, aux perturbations environnementales et aux changements climatiques. Quignard *et al.* (1983) soulignent par ailleurs la part beaucoup plus élevée des individus de petites tailles dans les filets. Ces auteurs expliqueraient la rareté des gros individus non par les caractéristiques du milieu mais par la surexploitation de l'étang. Or aujourd'hui, seulement 10 pêcheurs professionnels sont en exercice sur l'étang de l'Or alors qu'ils étaient presque 80 dans les années 1970. Pour une approche plus précise de cette évolution, il aurait été néanmoins nécessaire de disposer des données d'effort relatives aux captures annuelles malheureusement indisponibles.

Depuis 2002, les captures varient entre 85 et 43 tonnes (Figure 19). La pêche est saisonnière avec un pic de captures au mois de juin et un second en octobre. Celui de juin est principalement dû au phénomène de malaïgues qui induit une recherche active des zones plus riches en oxygène par l'Anguille et, celui d'octobre à la dévalaison des anguilles argentées.

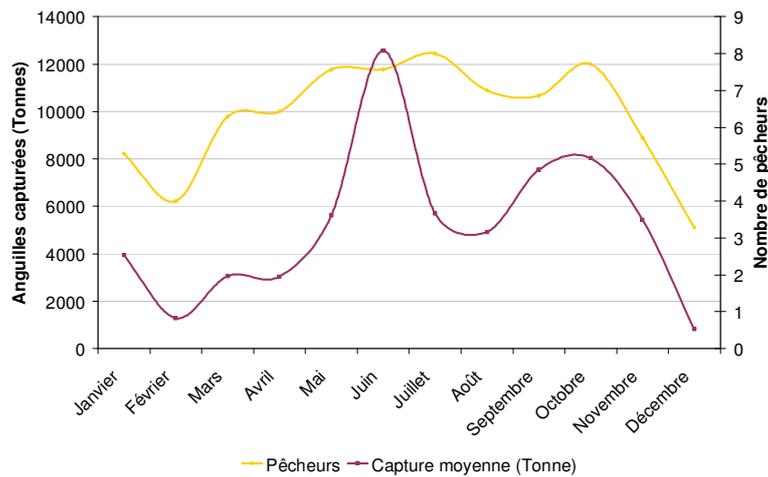


Figure 19 : Evolution moyenne mensuelle des captures d'Anguille et du nombre de pêcheurs sur l'Etang de l'Or entre 2002 et 2008 (GEAL)

Le nombre de pêcheurs reste assez stable entre mars et octobre avec en moyenne 7 pêcheurs par mois. Cependant, ce chiffre tombe aux alentours de 4 durant l'hiver. L'essentiel des captures est donc réalisé entre mai et octobre.

III.4. Prédation

La prédation occasionne des mortalités directes sur la population en place d'Anguille. Elle peut être de trois ordres : piscicole – notamment sur les civelles -, aviaire et mammalien (Baisez, non daté). Le manque de connaissances sur la prédation piscicole ainsi que l'absence de mammifères piscivores sur le bassin versant de l'Etang de l'Or restreint cette partie à la pression aviaire sur la population d'Anguille et plus précisément, par le Grand Cormoran et le Héron cendré.

III.4.1. Le grand cormoran (*Phalacrocorax carbo*)

Le grand cormoran (*Phalacrocorax carbo*) est un oiseau piscivore. Cette espèce migratrice est présente en France durant la période hivernale, même si elle tend à se sédentariser. Les populations hivernantes de cormorans ont fortement augmenté en Europe continentale, et plus particulièrement en France à partir des années 80, passant de 14 000 individus en 1981 à 89 183 en 2003 (Marion, 2003, in Fonteneau *et al*, 2004). Cette explosion démographique a engendré de fortes craintes de la part des pisciculteurs et des pêcheurs professionnels ou amateurs concernant l'impact potentiel de ces oiseaux sur leurs activités (Kirby *et al.*, 1996 ; Marquiss et Carss, 1997, in Fonteneau *et al*, 2004).

Dans les eaux saumâtres, l'Anguille semble être une espèce particulièrement recherchée par le cormoran (Fonteneau *et al*, 2004 ; Lekuona, 2002). Elle représenterait 46,6% de la biomasse ingérée par la plus grande colonie de Grande Bretagne (Carss et Ekins, 2002). En ce qui concerne la taille des proies, plusieurs études ont déjà été effectuées montrant notamment que le cormoran s'attaque préférentiellement à des individus de petite taille inférieure à 20 cm (Le Louarn, 2003 ; Marechal, 2004) mais pouvant aller jusqu'à 60 cm (Keller, 1995; Carss et Ekins 2002).

Dans le milieu naturel, le grand Cormoran est suspecté de diminuer considérablement les stocks de poissons et d'être en compétition avec les pêcheries (Grémillet *et al.*, 2006, in Kortan *et al.*, 2008, Zydulis et Kontautas, 2008). Les dommages causés aux pêcheries par les cormorans sont dus non seulement à la prédation directe des oiseaux, mais également aux pertes indirectes résultant de leur activité de pêche, qui se traduit par des poissons blessés et stressés (Kortan *et al.*, 2008).

A ce jour, aucune étude précise de la prédation par le grand cormoran n'a été réalisée sur l'Étang de l'Or. L'impact du cormoran sur le stock d'anguilles reste donc difficilement évaluable. En effet, aucune étude de contenus stomacaux ou d'abondances relatives de chaque espèce de poissons n'a déjà été effectuée dans la lagune.

Les comptages réalisés sur l'étang de l'Or estiment un nombre moyen de 342 grands cormorans durant sa période d'hivernage. 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. Ces résultats sont supérieurs aux 1,8 kg/ha trouvés par Keller (1995) sur le Lac Chiemsee (Allemagne). Cependant, ils restent dans l'intervalle des 0,2-15 kg/ha estimés par Engström (2001) sur le lac Ymsen (Suède).

Sur l'Étang de l'Or, il serait donc intéressant de quantifier plus précisément l'impact réel du cormoran par une étude du peuplement, ainsi que par des analyses de contenus stomacaux et des pelotes de rejet.

III.4.2. Le héron cendré (*Adea cinerea*)

Les pressions occasionnées par le Héron cendré ne sont pas à omettre puisque les besoins alimentaires de cet oiseau sont évalués à 240 à 300 g / j (Marion, 1990 in Baisez, non daté) avec une consommation de 415 g / j pendant la reproduction. Néanmoins, leur régime varie suivant les saisons ; la part en poissons étant majoritaire au printemps (Marion 1988 in Baisez, non daté).

L'absence de comptage sur l'étang de l'Or ne permet pas d'estimer la consommation totale annuelle en poissons des hérons. Toutefois, leur efficacité de pêche est six fois moindre que les cormorans, auquel s'ajoute une chute par dix de la part d'Anguille dans le régime alimentaire du Héron en 25 ans (Baisez, non daté).

III.5. Parasitisme par *Anguillicola crassus*

Anguillicola crassus est un endoparasite de l'anguille qui s'attaque à la vessie natatoire. Ce nématode, originaire d'Asie, a colonisé toute l'Europe et le pourtour Méditerranéen (Wurtz *et al*, 1998) dans les années 80. Il a été observé pour la première fois dans les eaux douces et salées du delta du Rhône en 1985 (Dupont et Petter 1988). Une des caractéristiques biologiques d'*Anguillicola crassus* qui lui confère une bonne capacité de colonisation dépend certainement de la capacité de survie de la larve libre en milieu dulçaquicole en fonction des facteurs variables de pH, de salinité, de dureté calcique et de température (Ashworth et Blanc, 1997).

L'infestation naturelle se réalise par voie trophique, l'anguille consommant des Crustacés (Copépodes et Ostracodes), hôtes intermédiaires, mais aussi des petits poissons (carpes, perches, gardons, goujons, tanches, éperlans, brèmes, épinoches, gobies...) qui serviraient d'hôtes paraténiques vis-à-vis des anguilles ichtyophages (Bruslé, 1994). Une fois dans l'anguille, les larves d'*A. crassus* traversent la paroi du tube digestif et migrent vers la vessie gazeuse. La femelle adulte peut pondre jusqu'à 150 000 œufs (Amilhat, 2007).

La transmission d'*Anguillicola crassus* au sein d'une population d'anguilles dépend de plusieurs facteurs :

- La disponibilité en hôtes intermédiaires et en hôtes paraténiques (Sauvaget *et al*, 2003) ;
- Le temps passé dans un milieu contaminé et la quantité de nourriture ingérée (Sauvaget *et al*, 2003) ;
- La saison : des études récentes (Fazio *et al.*, 2008, Lefebvre *et al.*, 2002, El Hilali *et al.*, 2004-2005) ont montré de fortes variations saisonnières de l'abondance d'*Anguillicola crassus*, en soulignant une contamination plus importante en été qu'en hiver. Plusieurs études expliquent ce phénomène en montrant que les très basses températures empêchent le développement du cycle du parasite (Gargouri Ben Abdallah et Maamouri 2006 in Amilhat, 2007 ; Knopf *et al.*, 1998), et que les anguilles arrêtent de se nourrir en hiver (Lecomte-Finiger, 1983 in Amilhat, 2007), ce qui limiterait l'infection ;
- La salinité : les niveaux d'infestation par *Anguillicola crassus* semble diminuer avec la salinité (Lefebvre *et al.* 2003 ; Sauvaget *et al.*, 2003 ; Kirk *et al.*, 2000, in Amilhat, 2007 ; Gargouri Ben Abdallah et Maamouri, 2006 in Amilhat, 2007). Il semble donc exister une barrière à la contamination par *Anguillicola crassus* pour les sites de forte salinité. La salinité des baies et des estuaires semble donc pouvoir préserver de la contamination les populations d'anguilles côtières (Sauvaget *et al.*, 2003).
- La biologie de l'anguille : plusieurs études ont mis en évidence une diminution de

l'abondance du parasite avec l'augmentation de la taille des anguilles (Schabuss *et al.* 1997 ; Gargouri Ben Abdallah and Maamouri, 2006 in Amilhat, 2007 ; Fazio *et al.*, 2008). A contrario, d'autres études trouvent une corrélation positive entre la taille de l'anguille et l'abondance du parasite (Thomas and Ollevier, 1992 ; Lefebvre *et al.*, 2002 ; Audenaert *et al.*, 2003), voire aucune relation (Wurtz *et al.*, 1998). Il est donc difficile de se prononcer sur une réelle corrélation entre abondance et taille de l'anguille. Au niveau du sexe des anguilles, aucune étude ne semble exister montrant de quelconques corrélations avec le parasitisme.

Anguillicola crassus a un impact important sur les populations d'anguilles européennes. Il induit de sévères lésions et une dégénérescence de la vessie chez l'anguille européenne (Egusa, 1979 in Ashworth et Blanc, 1997 ; Lefebvre *et al.*, 2003). De plus, l'activité de succion du sang par *A. crassus* peut représenter un coût énergétique important pour les anguilles argentées à un moment où elles arrêtent de se nourrir et que la grande partie de leur énergie est allouée à l'effort de reproduction (Lefebvre *et al.*, 2003). De plus, Sprengel et Luchtenberg (1991), et plus récemment un projet Européen (EELREP, 2005), ont montré que la capacité de nage ainsi que l'endurance des anguilles infestées étaient fortement réduites. Or, pour réussir sa migration transocéanique, l'anguille doit posséder une vessie fonctionnant parfaitement si l'on considère qu'elle s'effectue à une profondeur de 700 m avec des migrations verticales régulières du fond vers la surface (Lefebvre *et al.*, 2003). D'après l'EELREP (2005), les anguilles fortement infestées n'atteindront jamais l'aire de ponte.

Synthèse

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.

Bien que la présence de seuils entrave la colonisation du bassin amont, 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 (mise en place de goulottes à anguille, de pré-barrages et de substrats plots selon les obstacles).

La qualité de l'eau 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 (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.

La dégradation de la qualité de l'eau des affluents contribue nécessairement à l'enrichissement de l'Etang de l'Or. 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 quantifiables. 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.

Malgré le manque de connaissances sur les effets des pollutions chez l'Anguille, 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'Etang 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...).

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.

D'autres pressions que sont la pêche et la prédation influent directement le stock d'Anguille. Plus particulièrement, la pêche prélève annuellement entre 43 et 85 tonnes d'Anguille (entre 2002 et 2008) dans l'étang de l'Or. La pêche à la civelle sur la façade méditerranéenne étant interdite, la pression par pêche ne se réalise que sur les stades « Anguilette », « 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'Etang.

Le suivi halieutique et l'étude sur la mortalité à la dévalaison, associés à la modélisation de la population d'Anguille sur l'Etang 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.

IV. Caractéristiques de la population d'anguilles du bassin versant de l'Étang de l'Or

IV.1. Sous population de 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 par 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.

IV.1.1. Matériel et méthodes

IV.1.1.1. Recrutement des 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, donnée nécessaire pour le sous-modèle de croissance.

IV.1.1.2. Suivi de la pêcherie

Un **suivi de la pêcherie** 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 (sur la base des critères eelrep). Enfin, le poids de chaque échantillon est mesuré. Durant ce suivi, plus de 5 967 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 pêcherie vont également permettre de réaliser le sous-modèle de mortalité par pêche.

IV.1.1.3. *Echantillon et caractéristiques des 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 Annexe 7 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.

IV.1.1.4. *Parasitisme par *Anguillicola crassus**

L'étude parasitologique des anguilles sur la lagune a été réalisée sur 290 individus (187 jaunes, 103 argentées) prélevés entre novembre et mars. La taille des anguilles prélevées est comprise entre 136 mm et 760 mm.

Différents indices de contamination ont été utilisés : les indices épidémiologiques et l'indice de dégénérescence de la vessie (SDI).

Les **indices épidémiologiques** rencontrés dans la littérature sont, pour la majorité, calculés selon (Bush *et al.*, 1997) :

- **Prévalence** (%) : $P = \text{nombre d'hôtes infestés} \times 100 / \text{nombre d'hôtes examinés}$;

- **Intensité** moyenne : $I = \text{nombre total de parasites trouvés dans l'échantillon} / \text{nombre d'hôtes infestés}$;

- **Abondance** moyenne : $A = \text{nombre total de parasites trouvés dans l'échantillon} / \text{nombre total d'hôtes examinés}$.

L'**indice de dégénérescence de la vessie (SDI)** mis au point par Lefebvre *et al.* (2002) permet d'évaluer l'état de dégradation de la vessie natatoire des anguilles en l'extrayant et l'examinant à l'œil nu. En l'absence de parasites, cette méthode permet d'évaluer la contamination passée, c'est-à-dire la possibilité que l'anguille ait été en contact avec le parasite

dans le passé. Trois critères sont alors utilisés afin de quantifier l'état de dégradation, chacun de ces critères pouvant prendre la valeur 0, 1 ou 2, la valeur 0 étant systématiquement attribuée aux vessies intactes.

L'opacité / transparence :

- Vessie transparente : valeur 0
- Vessie nacrée : valeur 1
- Vessie opaque : valeur 2

La pigmentation et les débris :

- Vessie dépourvue d'exudat et de pigmentation des tissus conjonctifs : valeur 0
- Vessie présentant soit un exudat soit une pigmentation : valeur 1
- Vessie présentant à la fois un exudat et une pigmentation : valeur 2

L'épaisseur de la vessie natatoire :

- Épaisseur inférieure à 1 mm : valeur 0
- Épaisseur comprise entre 1 et 3 mm : valeur 1
- Épaisseur supérieure à 3 mm : valeur 2

Ces trois critères, une fois cumulés, permettent d'attribuer une note à chacune des vessies disséquées allant de 0 à 6. On considère qu'une note de 0 équivaut à une vessie parfaitement intacte, n'ayant pas subi de pression parasitaire, une note comprise entre 1 et 3 indique que la vessie reste modérément dégradée, et enfin au delà de la note de 4 la vessie est alors considérée comme sévèrement dégradée, remettant en doute ses capacités de fonctionnement au cours de la migration de l'anguille (GRISAM, 2006 in Amilhat, 2007).

La **prévalence du SDI (PSDI)** est calculée en prenant compte des individus avec un indice de dégénérescence de la vessie (SDI) supérieur ou égale à 2 (Amilhat, 2007).

$$\text{PSDI} = \text{nombre d'hôtes avec SDI} \geq 2 \times 100 / \text{nombre d'hôtes examinés}$$

La comparaison entre la lagune et les affluents a été effectuée par un Welch Two Sample t-test pour l'abondance, l'intensité et le SDI et par une comparaison de proportion (Khideux) pour les différentes prévalences. L'ensemble des tests a été effectué sur le logiciel R.

IV.1.2. Résultats

IV.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.

IV.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 6). Toutes ces pathologies, hormis la peste rouge, sont présentes chez moins de 0,7% de l'échantillon. 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 % 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 0.9% des captures (en nombre). D'après ces résultats, l'état pathologique des anguilles de l'étang de l'Or est assez bon.

Tableau 6 : Etat sanitaire de la population (N=5967)

Pathologie	Total	%
Morsure cormoran	4	0.1
Érosion	12	0.2
Hémorragie	40	0.7
Abcès	3	0.1
Peste Rouge	179	3.0
Necrose	1	0.0
Parasitée	4	0.1
Mortalité	56	0.9

IV.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 20a montre que la population d'anguilles 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 20b). 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.

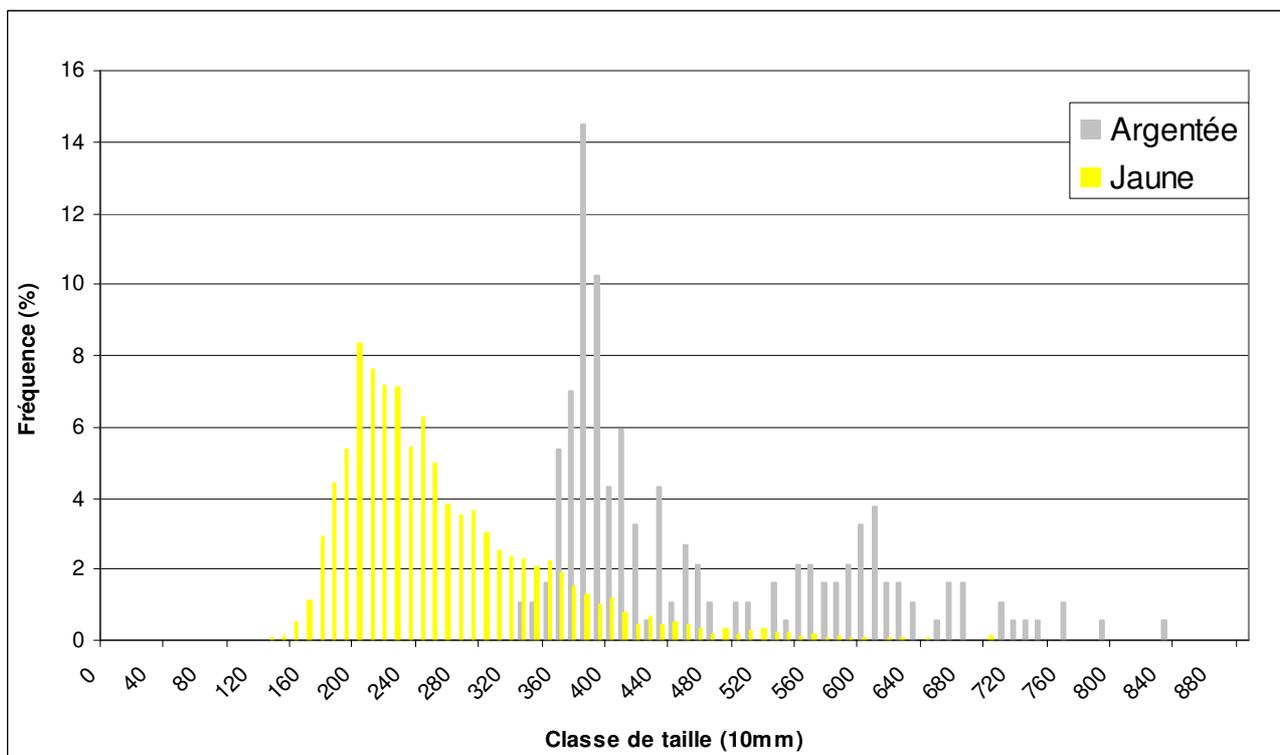
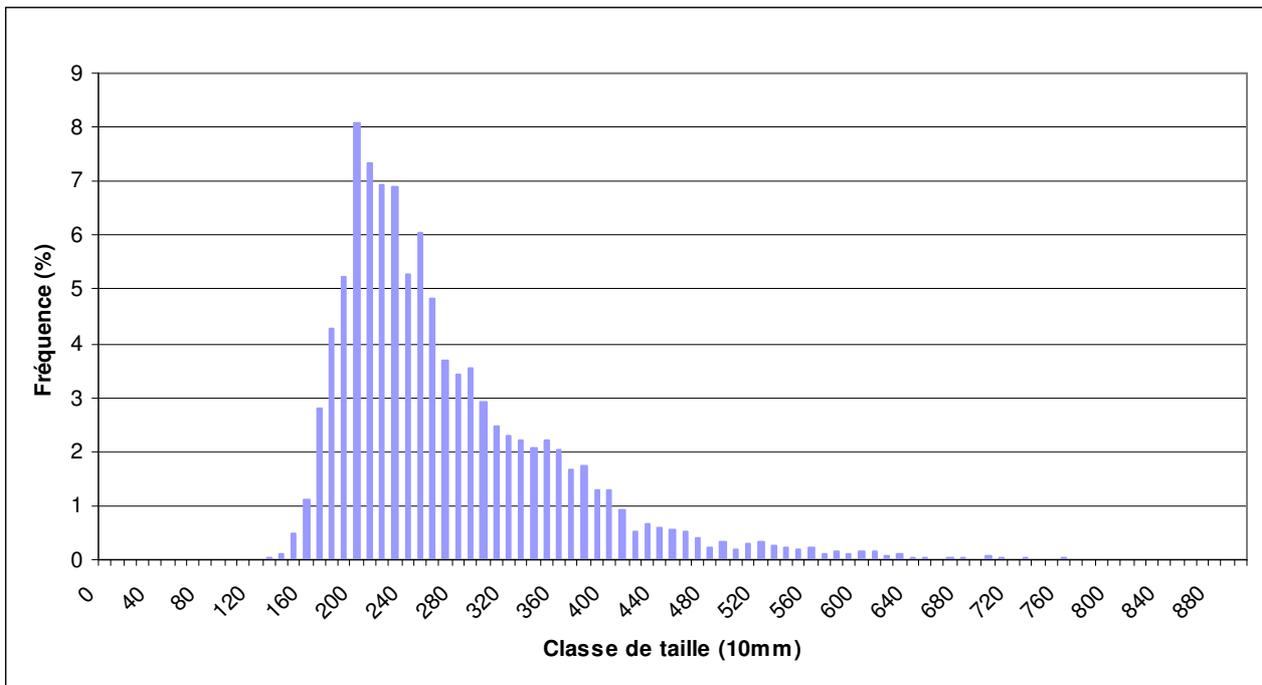


Figure 20 : a) Structure en taille de la population exploitée (N=5967) ; b) Structure en taille de la population exploitée par stade (N=5781 pour les anguilles jaunes et N=186 pour les anguilles argentées)

IV.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 (Tableau7). Les individus indifférenciés argentés n'ont pas pu être sexés, 6 individus n'ont pu être âgés : 2 femelles jaunes, 2 femelles argentées et 2 mâles n'ont pu être âgés.

Tableau 7 : Caractéristiques de l'échantillon (entre () nombre d'individus n'ayant pu être âgé)

	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 21a), 70% ont moins de 4 ans. Cependant, la majorité des mâles a 3 ans et la majorité des femelles 4 ans (figure 21b). Les femelles sont en moyenne plus âgées que les mâles (Welch Two Sample t-test, $p < 0,001$) (Annexe 8). 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).

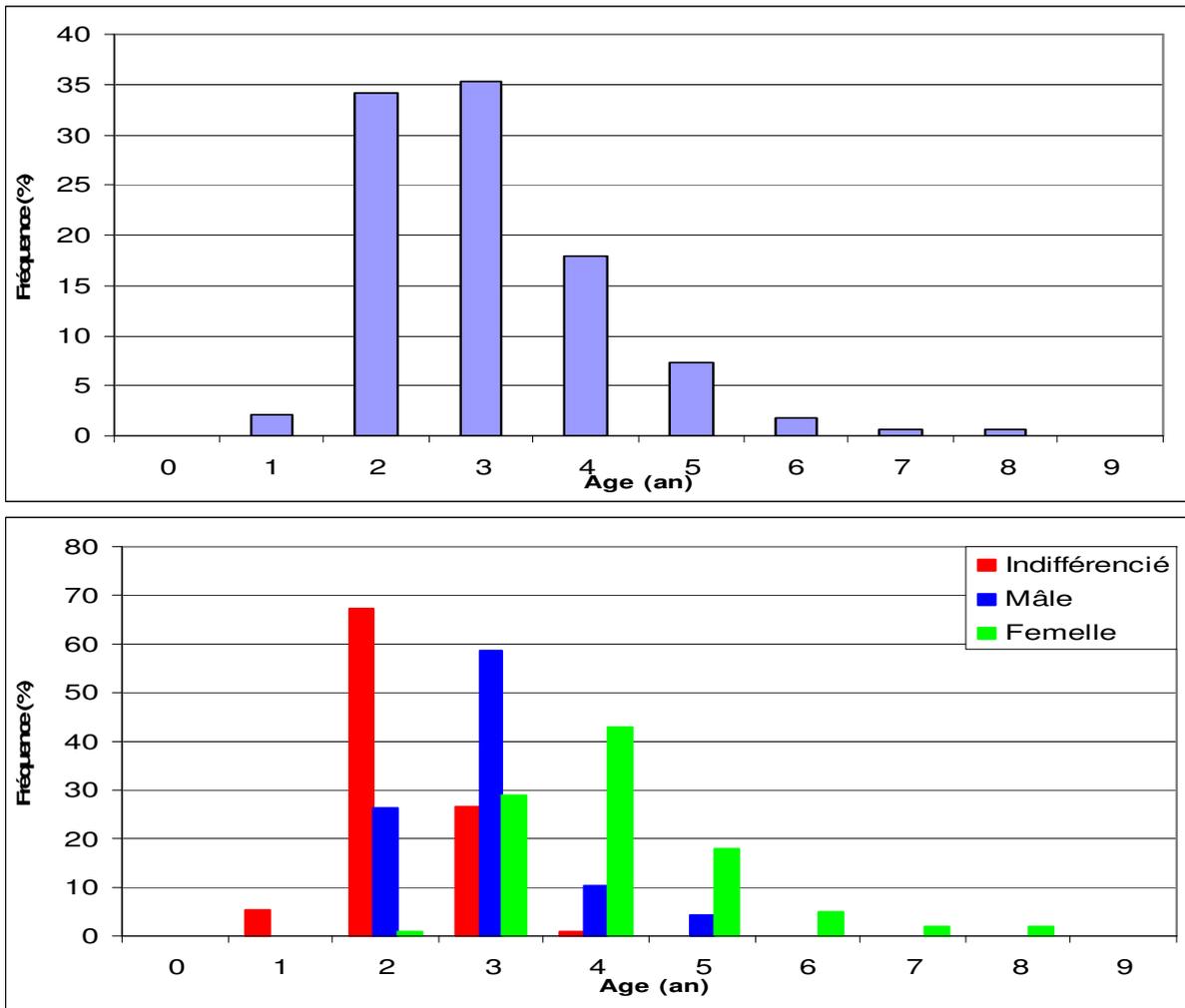


Figure 21 : a) Diagramme en groupe d'âge de l'échantillon (N=284) ; b) Diagramme en groupe d'âge par sexe de l'échantillon (N indifférenciés=116, N mâles=68, N femelles=100)

IV.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 22).

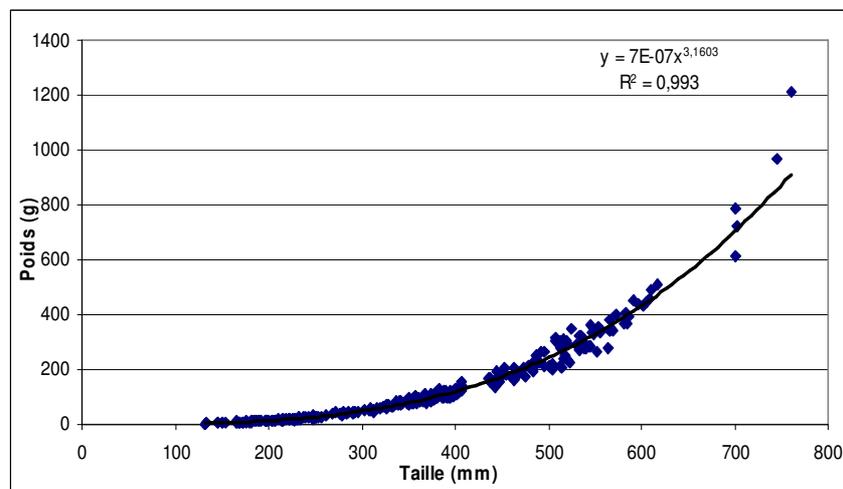


Figure 22 : Relation entre le poids et la taille des anguilles

La relation est la suivante :

$W = aL^b$ où W est le poids (g), L la taille (mm), a et b des coefficients ;

$$\ln(W) = \ln a + b \ln(L)$$

$\ln a = -14,16$ 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, $p < 0,001$, Annexe 9)

Donc $W = 7 \cdot 10^{-7} L^{3,16}$ (L en mm) soit : $W = 1 \cdot 10^{-3} L^{3,16}$ (L en cm).

Cette relation est très importante et sera utile notamment dans l'établissement du sous-modèle de mortalité naturelle et du sous-modèle de mortalité par pêche.

IV.1.2.6. Croissance moyenne

La taille des individus à l'âge 0 est établie par rapport aux 57 civelles mesurées lors du suivi. Les résultats de taille et de croissance moyennes annuelles (Tableau 8) obtenues par otolithométrie (sans rétrocalcul) ne sont fiables que jusqu'à l'âge 6, les effectifs étant trop faible pour les âges 7 et 8. Le Tableau 7 montre que les croissances moyennes sont fortes entre 66 mm et 130 mm. Cependant, un fort ralentissement de croissance entre l'âge 1-2 et l'âge 4-5 est visible. La baisse de croissance entre l'âge 1 et 2 peut être expliquée par une surestimation de la taille moyenne à l'âge 1 : du fait de la sélectivité des engins de pêche, les plus petits individus (<160mm) ne sont pas capturés.

Tableau 8 : 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

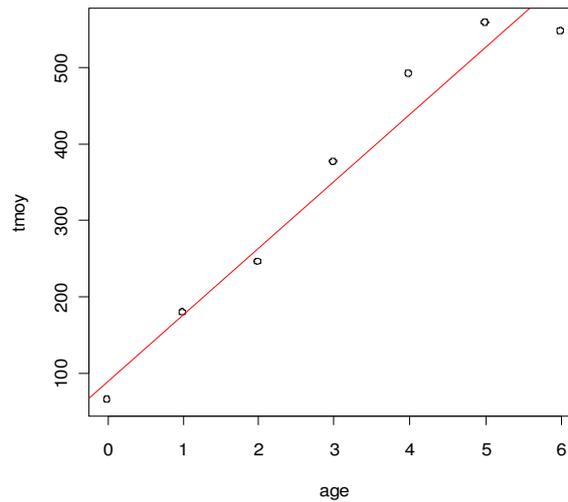


Figure 23 : Taille moyenne des anguilles en fonction de l'âge

$$Y = 87,3 x + 89,6 , r^2 = 0,95$$

(t- test, a et b significatifs, a : $p < 0,001$, b : $p < 0,05$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,001$)

La régression linéaire effectuée sur la figure 23 indique une croissance moyenne de 8,7 cm/an entre l'arrivée des anguillettes dans la lagune et l'âge 6.

IV.1.2.7. *Anguillicola crassus*

Sur l'Étang de l'Or, le parasitisme par *Anguillicola crassus* a pu être quantifié notamment l'abondance, la prévalence, l'intensité et l'état moyen de la vessie natatoire.

En regardant particulièrement la fraction argentée de la sous-population (Tableau 9), on remarque que l'abondance du parasite est semblable à celle de la population entière, tout comme l'intensité et le pourcentage d'anguilles fortement parasitées. La prévalence est, par contre, plus faible. Le SDI est de 3,22, ce qui indique une dégradation plus importante de la vessie. Le plus inquiétant est que 96,12% des anguilles argentées présentent une trace actuelle ou passée de parasitisme, soulignant qu'il serait presque impossible pour une anguille de ne pas se faire parasiter durant son cycle de vie continentale.

Tableau 9 : Résultats du parasitisme par *Anguillicola crassus* sur les anguilles de la lagune

	Critères	Résultats	n	ecart-type	mini-max
Echnatillon Total	Abondance	3.97	290	7.05	(0-48)
	Intensité	6.39	180	8.05	(1-48)
	Prévalence (%)	62.07	290		
	Swimbladder Degenerative Index	1.84	290	1.73	
	Prevalence SDI (%)	53.45	290		
	Prévalence anguille avec trace présente ou ancienne de parasitisme (%)	84.14	290		
	Prévalence anguille fortement parasitée (5 parasites ou plus) (%)	22.76	290		
Anguilles Argentées	Abondance	3.83	103	6.34	(0-30)
	Intensité	7.18	55	7.18	(1-30)
	Prévalence (%)	53.40	103		
	Swimbladder Degenerative Index	3.22	103	1.39	
	Prevalence SDI (%)	91.26	103		
	Prévalence anguille argentée avec trace présente ou ancienne de parasitisme (%)	96.12	103		
	Prévalence anguille argentée fortement parasitée (5 parasites ou plus) (%)	22.33	103		

IV.1.3. Discussion

La taille moyenne des civelles entrant dans l'Étang de l'Or (65,3 mm) est comparable à celle de l'étang de Bages-Sigean (65,4 mm) établie par Lecomte-Finiger (1976, in Lefebvre *et al.*, 2003b) et celle du Grau de la Fourcade (62,9 mm) mise en évidence par Lefebvre *et al.* (2003b).

La structure en taille montre que la population de l'Étang de l'Or est très jeune avec des individus de petite taille comme l'avait déjà montré l'étude d'Aquascop (1983). Ceci peut être dû à l'exploitation halieutique de la lagune (Svedang, 1999 in Adam *et al.*, 2008). Cependant, l'étude d'Aquascop (1983) estime que 90% de la population de 1983 mesurait moins de 30 cm, alors qu'actuellement cette fraction représente 75%. La différence entre cette étude et celle d'Aquascop (1983) peut être expliquée par des méthodes d'échantillonnage différentes ou une augmentation relative de la taille moyenne de la population depuis 1983.

L'observation de la structure en taille des anguilles argentées et des caractéristiques de l'échantillon montre deux modes. Ce type de structure bimodale a déjà été établi sur la lagune de Comacchio (De Leo et Gatto, 1995) et sur le Frémur (Feunteun *et al.*, 2000 ; Acou, 2006), ainsi que sur de nombreux sites européens (Adam *et al.*, 2008). Sur le Frémur et la plupart des sites européens, le premier mode, inférieur à 45 cm, est constitué de mâles et de femelles et le deuxième, supérieur à 45 cm, ne présente que des femelles (Acou, 2006, Adam *et al.*, 2008). *A contrario*, sur la lagune de Comacchio, les mâles ont une taille inférieure à 45 cm et les femelles une taille supérieure à 45 cm. Les résultats concordent avec ceux de De Leo et Gatto (1995), sur l'Étang de l'Or les anguilles argentées inférieures à 45 cm sont donc probablement des mâles et celles supérieures à 45 cm sont des femelles.

La relation entre le poids (en g) et la taille (en cm) des anguilles donne des coefficients a et b respectivement de 1.10^{-3} et 3,1603. Ces valeurs correspondent à ce que l'on retrouve dans la synthèse des valeurs publiée par Adam *et al.* (2008) : les valeurs, en Europe, oscillent, pour le coefficient a, entre $0,16.10^{-3}$ et 2.10^{-3} et, pour le coefficient b, entre 3 et 3,38.

Les données de croissance moyenne annuelle, déterminées par otolithométrie, peuvent être comparées à une précédente étude réalisée sur l'Étang de l'Or en 1993 (Panfili, 1993) (Annexe 10). Cette comparaison montre que, pour les âges 1 et 2, la taille moyenne est plus faible, mais plus importante pour les âges 3, 4 et 5. Cette différence est assez importante puisqu'à l'âge de 5 ans la taille moyenne des anguilles de cette étude est presque supérieure de 8 cm (557 mm vs 480 mm). Il est difficile d'expliquer ces différences mais on peut supposer qu'elles viennent du faible nombre d'individus dans certaines classes d'âge, de la méthode d'âgeage, de l'utilisation des données rétrocalculées dans l'étude de 1993, de l'opérateur ou encore du changement du milieu entre les deux études. L'accroissement moyen des anguilles de l'Étang de l'Or est de 8,7 cm/an (pour les 5 premières années), ce qui est très supérieur à la moyenne européenne de 5 cm/an mais proche des 8 cm/an observés dans les marais littoraux (Adam *et al.*, 2008). La croissance de la première année est de 11,4 cm, ce qui est supérieure à la moyenne de 9,4 cm observée sur 29 sites européens (Panfili et Ximénès, 1994). On peut donc considérer que les anguilles de l'Étang de l'Or ont des performances de croissance assez exceptionnelles, sans doute parmi les plus fortes d'Europe.

Les résultats obtenus comme indice épidémiologique pour *Anguillicola crassus* ($P = 62\%$, $I = 6,39$) sur l'Étang de l'Or sont légèrement plus élevés que ceux de 1988/1989 de Benajiba *et al.* (1994 in Fazio *et al.*, 2008) qui avaient trouvés une prévalence de 30-40% et une intensité de 3 parasites. Toutefois, ils sont beaucoup plus faibles que les résultats de 2004 de Fazio *et al.* (2008) qui avaient estimés une prévalence de 94% et une intensité de 15 parasites. Il y aurait donc eu une diminution du parasitisme entre la population de 2004 (Fazio *et al.*, 2008) et celle de 2009. Cependant, cette différence peut s'expliquer par deux choses : (1) une période d'échantillonnage différente, cet échantillon ayant été prélevé entre novembre et mars alors celui de Fazio *et al.* (2008) a été réalisé en été au mois de juillet ; (2) un échantillonnage peu représentatif, Fazio *et al.* (2008) se basant sur 18 individus avec une taille comprise entre 200 et 312 mm. La comparaison de ces résultats avec ceux des deux études précédentes permet de confirmer une augmentation du parasitisme dans la lagune entre 1988/1989 (Benajiba *et al.*, 1994 in Fazio *et al.*, 2008) et 2009. Cependant, elle ne statue pas véritablement sur la part de cette augmentation au vu des résultats assez différents entre l'étude de Fazio *et al.* (2008) et celle-ci. Par comparaison à d'autres sites, ces résultats sont très proches de ceux de Lefebvre et Crivelli (2004) qui montrent une stabilisation de la prévalence entre 60 et 70% sur le canal de Fumemorte ainsi qu'une intensité moyenne de 6. Cette prévalence est également similaire à celle de 61% déterminée par Sauvaget *et al.* (2003) pour des milieux littoraux peu salés de Bretagne Sud, mais très supérieure aux 7,5% des conditions estuariennes du Golfe du Morbihan (Sauvaget *et al.*, 2003). Sur la fraction argentée de la population, 96,12% ont une trace de parasitisme présente ou passée. Ce résultat est un peu plus élevé que sur 4 sites de Camargue étudiés par Lefebvre *et al.* (2003) qui trouvent des pourcentages entre 71,4 et 94,9%.

L'image de la population est exclusivement issue de l'échantillonnage par pêche basée sur l'utilisation d'un engin unique. Or, nous ne sommes pas en mesure de savoir si cet engin ne sélectionne davantage les petites anguilles. De plus, il n'est pas prouvé que l'utilisation de petites mailles permette de capturer de manière homogène toutes les classes d'anguilles.

Synthèse

Au niveau sanitaire, il apparaît que la population présente peu de signe pathologique externe. Elle est caractérisée par une forte proportion d'individus de petite taille. Peu d'anguilles jaunes de grande taille sont capturées dans la lagune laissant supposer que les anguilles argentées de grandes tailles proviennent des affluents. La population est principalement dominée par les mâles. Elle apparaît également assez jeune avec une majorité de mâles de 3 ans et une majorité de femelles de 4 ans dans notre échantillon. La croissance moyenne des anguilles est évalués 8,7 cm par an, valeur très supérieure à la moyenne européenne de 5 cm/an (Adam *et al.*, 2008) ce qui souligne encore une fois la richesse de ces milieux.

IV.2. Sous-population d'anguilles des tributaires 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...

IV.2.1. Matériel et méthodes

Sur l'Étang de l'Or, six affluents majeurs ont été identifiés (Figure 24) : 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. Les différentes stations de pêche ont été choisies pour leurs représentativités et leurs facilités d'accès.

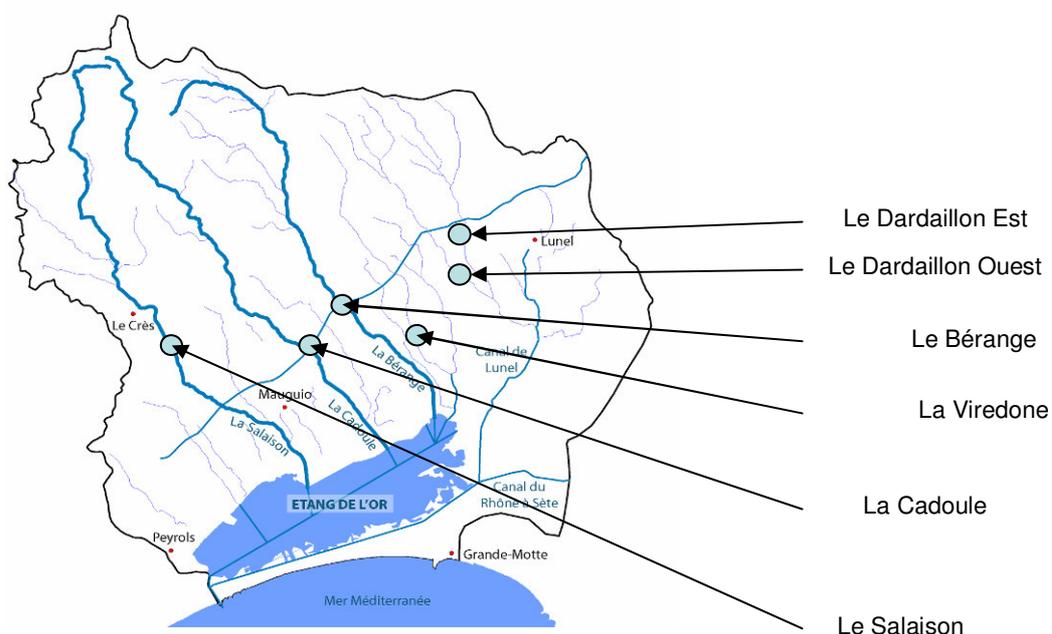


Figure 24 : Bassin versant de l'Étang de l'Or et de ses affluents. Chaque point bleu localise le lieu de la pêche électrique sur les différents cours d'eau.

Les pêches électriques se sont déroulées fin mai. Deux engins ont été utilisés en fonction des cours d'eau :

- le Dekka, appareil portable, 500V 6A , utilisé pour les petits cours d'eau (<2m) de faible largeur, ici le Dardaillon Est
- l'Efko, appareil fixe, 400V, utilisé pour les cours d'eau plus large (Bérange, Viredonne, Cadoule, Salaison, Dardaillon Ouest)

La pêche électrique se réalise avec une équipe de 3 à 4 personnes avec une anode et 1 à 2 épuisettes suivant les cours d'eau. Les différentes stations échantillonnées ont une longueur minimum de 55 m. La pêche électrique se déroule par point d'abondance avec un minimum de 25

points sur chaque station en un seul passage. Chaque point est défini par un temps de pêche de 30 s et une surface d'environ 4 m². Tous les poissons entrant dans le champ d'action de l'anode sont capturés. Les poissons piégés sont ensuite triés par espèce. Si cette dernière est peu représentée, chaque individu est pesé et mesuré. Dans le cas contraire, un sous-échantillonnage est réalisé.

Parmi les anguilles capturées, un échantillon de 63 anguilles a été prélevé : 18 provenant du Salaison et 45 provenant du Bérage. Chaque anguille a été mesurée au centimètre près et pesé au gramme près. Cet échantillon est composé de 40 indifférenciés, 12 femelles et 11 mâles, tous au stade jaune. Leurs âges ont été déterminés par otolithométrie.

Sur cet échantillon, l'analyse du parasitisme a été effectuée selon la même procédure que dans la partie IV.2.7.a. Pour vérifier s'il existe des différences entre les deux affluents, un test de comparaison de moyenne (t-test) a été réalisé pour l'abondance et l'intensité et un test de comparaison de proportion pour les différentes prévalences.

IV.2.2. Résultats

IV.2.2.1. Richesses spécifiques, abondances et biomasses des espèces

Pour les différentes stations, entre 2 et 5 espèces sont observées (Figure 25a). 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 25b). Leur nombre est donc très hétérogène entre les stations.

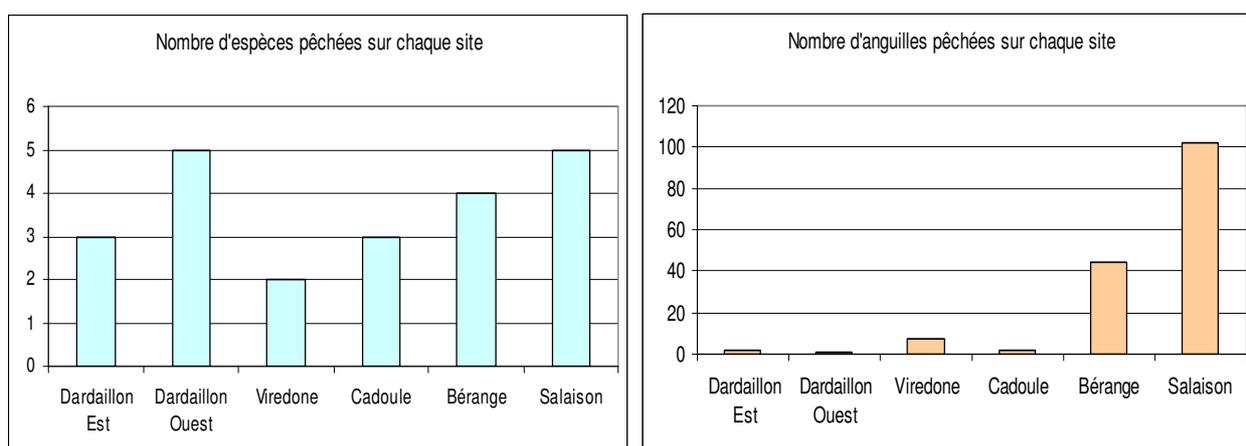


Figure 25 : a) Nombre d'espèces pêchées sur chaque site ; b) Nombre d'anguilles pêchées sur chaque site.

Tableau 10 : Abondance et Biomasse de chaque espèce estimées à partir des résultats de pêche électrique pour chaque site.

Espèces	Salaison		Viredonne		Dardaillon Ouest		Dardaillon Est		Cadoule		Bérange	
	Abondance /100m ²	Biomasse (g/100m ²)	Abondance/ 100m ²	Biomasse (g/100m ²)	Abondance/ 100m ²	Biomasse (g/100m ²)	Abondance/ 100m ²	Biomasse (g/100m ²)	Abondance/ 100m ²	Biomasse (g/100m ²)	Abondance/ 100m ²	Biomasse (g/100m ²)
Anguille	102	7070	7	1160	0,96	50	1,09	21,74	2	64	44	2556
Chevesne	29	2564			134,62	1859,62	101,57	1038,04	2	10	46	580
Vairon	1	2							17	20	573,32	1045
Gardon	8	288			3,85	250					8	270
Pseudorasbora					9,62	25	0,54	1,09				
Perche-Soleil	2	68	2	22								
Goujon					0,96	2,88						

Le Tableau 10 montre tout de même que l'anguille est la seule espèce présente sur tous les sites. La biomasse et l'abondance au 100 m² sont très différentes en fonction des sites, variant de 1 individu pour une biomasse d'environ 22 g sur le Dardaillon Est à plus de 100 individus pour 7 070 g sur le Salaison. Certains affluents sont donc plus propices que d'autres pour la colonisation et le développement de l'anguille. Pour les autres espèces, le chevesne est présent sur tous les sites hormis la Viredonne mais avec des biomasses et des abondances très variables. Le vairon est présent sur le Salaison et la Cadoule mais en faible densité (respectivement 1 et 17 individus au 100 m²) alors que sur le Bérange son abondance est très forte avec plus de 573 individus au 100 m². Le gardon, le goujon, le pseudorasbora et la perche-soleil sont très peu voire pas présents sur les différents sites, avec moins de 10 individus.

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

Les structures en classe de taille (Figure 26) 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.

Sur ces deux affluents, les anguilles sont plutôt de petite taille : environ 50% des anguilles font moins de 24 cm. Il y a très peu d'individus de grande taille, moins de 5% dépassent les 42 cm. On peut donc supposer une faible représentation des femelles dans ces affluents.

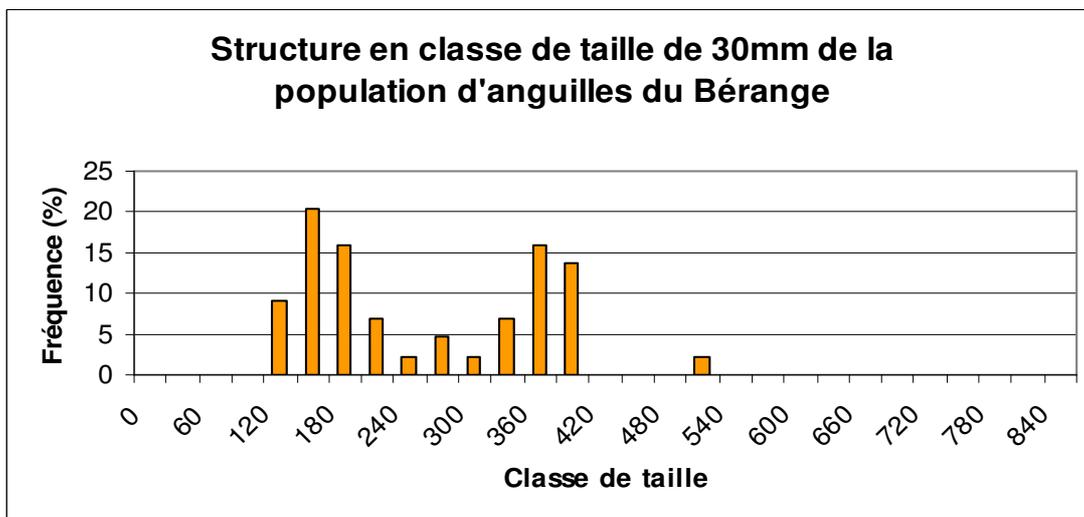
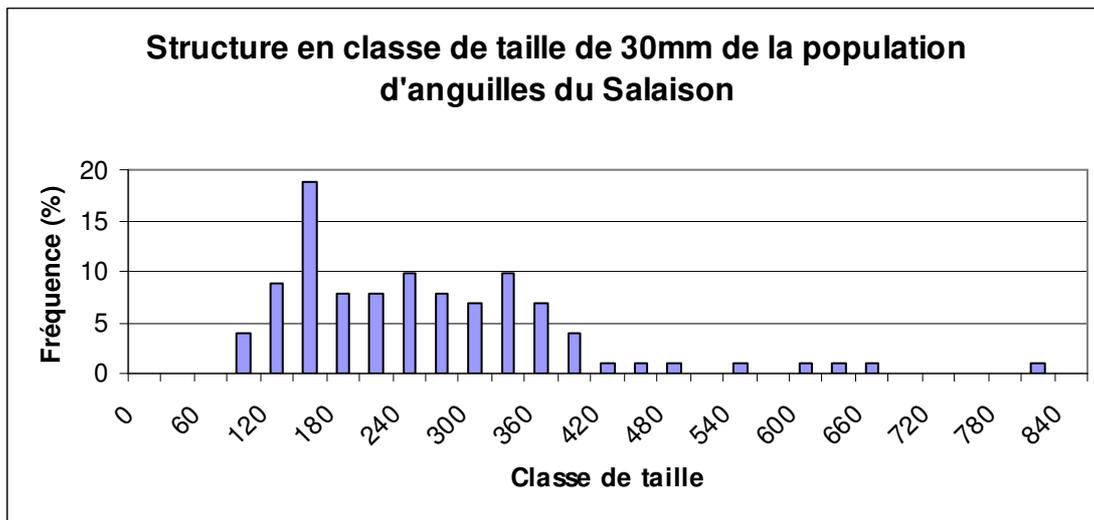


Figure 26 : Structure en classe de taille de 30 mm pour les anguilles du Bérange (N=45) et du Salaison (N=102)

IV.2.2.3. Relation taille/poids

A première vue, la relation taille-poids semble différente entre le Salaison et le Bérange principalement pour les anguilles de taille importante (Figure 27).

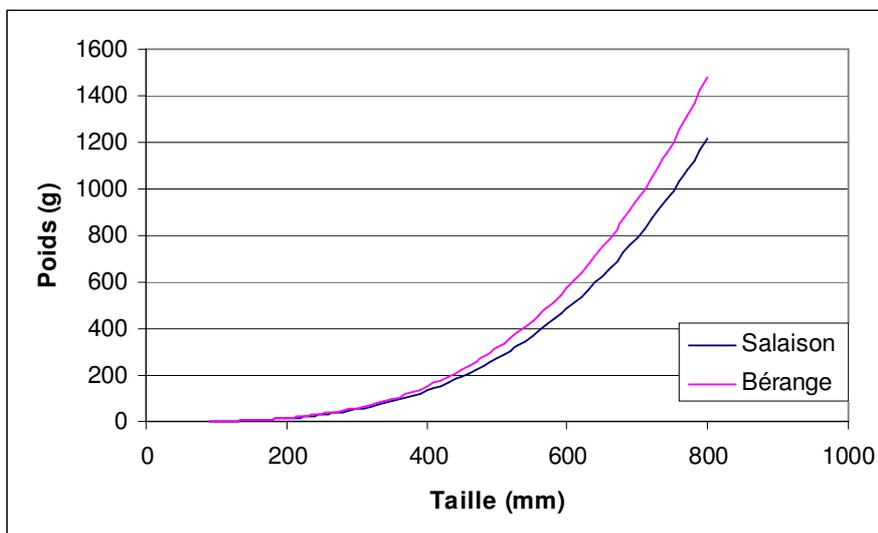


Figure 27 : Relation Taille-Poids pour les anguilles du Salaison (bleu) et du Bérange (rose).

$W = aL^b$ où W est le poids (g), L la taille (mm), a et b des coefficients ;

$$\ln(W) = \ln a + b\ln(L)$$

Bérange : $\ln a = -14,69$ d'où $a = \exp(-14,69) = 4,17 * 10^{-7}$, $b = 3,29$ et $r^2 = 0,99$ (t-test, a, b significatifs, $p < 0,001$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,001$)

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

Salaison : $\ln a = -14,22$ d'où $a = \exp(-14,22) = 6,67 * 10^{-7}$, $b = 3,19$ et $r^2 = 0,99$ (t-test, a, b significatifs, $p < 0,001$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,001$)

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

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

IV.2.2.4. Croissance moyenne

Les 63 anguilles échantillonnées étaient toutes au stade jaune. Leur taille moyenne pour chaque âge est présentée dans le Tableau 11:

Tableau 11 : Taille moyenne des anguilles de l'échantillon à chaque âge (N=60, 3 anguilles n'ont pu être âgées)

Age	N	taille moyenne	ecart-type
1	24	161	27.4
2	4	244	71.8
3	8	344	32.5
4	16	338	44.8
5	2	470	99.7
6	1	456	
7	2	446	99
8			
9	2	702	128
10	1	652	

Dans certaines classes d'âges, il y a très peu d'individus (Tableau 11), certaines croissances peuvent donc apparaître négatives entre deux âges. De plus, aucun individu n'a un âge inférieur à 1 an. Pour ces individus, soit la pêche électrique est inefficace, soit ils n'ont pas encore eu le temps de coloniser les différentes stations.

Sur la Figure 28, la croissance moyenne des anguilles a été linéarisé. La régression effectuée suggère une croissance moyenne de 6,1 cm/an entre 1 et 6 ans.

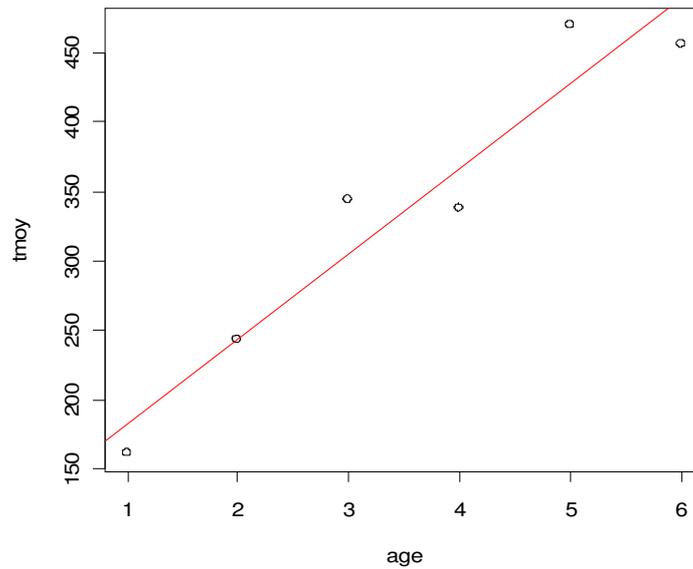


Figure 28 : Taille moyenne en fonction de l'âge

$$Y = 61,3 x + 120,9, r^2 = 0,90$$

(t-test, a et b significatifs, a : $p < 0,01$, b : $p < 0,05$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,01$)

IV.2.2.5. *Anguillicola crassus*

Les résultats (Tableau 12) montrent une abondance plus importante sur le Bérage (1,73) que sur le Salaison (1,28). La prévalence est également supérieure sur le Bérage avec 56,82% contre 38,89% sur le Salaison. De plus, les vessies natatoires des anguilles sont plus dégradées sur le Bérage (SDI=2,39). Sur le Salaison 77,8% des anguilles présentent une trace de parasitisme présente ou passé, contre plus de 95% sur le Bérage. Entre ces deux affluents, le Bérage semble donc le plus contaminé par *Anguillicola crassus*. Mais pour les deux sites, les anguilles ont de fortes chances d'être infectées. Les tests statistiques comparant les deux affluents pour les différents paramètres ne montrent aucune différences significatives ($p > 0,05$) sauf pour le SDI ($p < 0,005$). Du fait du peu de différences entre les affluents et du faible nombre d'individus, une moyenne a été effectuée sur les deux affluents afin de permettre une comparaison avec la lagune.

Tableau 12 : Résultats du parasitisme par *Anguillicola crassus* sur les anguilles des affluents

Sites	Critères	Résultats	N	écart-type	mini-maxi
Bérange	Abondance	1.73	44	2.94	(0-18)
	Intensité	3.04	25	3.36	(1-18)
	Prévalence (%)	56.82	44		
	Swimbladder Degenerative Index	2.39	44	1.42	
	Prevalence SDI (%)	68.18	44		
	Prévalence anguille avec trace présente ou ancienne de parasitisme (%)	95.45	44		
	Prévalence anguille fortement parasitée (5 parasites ou plus) (%)	6.82	44		
Salaison	Abondance	1.28	18	2.16	(0-8)
	Intensité	3.29	7	2.47	(1-8)
	Prévalence (%)	38.89	18		
	Swimbladder Degenerative Index	0.78	18	0.88	
	Prevalence SDI (%)	16.67	18		
	Prévalence anguille avec trace présente ou ancienne de parasitisme (%)	77.78	18		
	Prévalence anguille fortement parasitée (5 parasites ou plus) (%)	5.56	18		
Moyenne Affluents	Abondance	1.60	62	2.73	(0-18)
	Intensité	3.09	32	3.14	(1-18)
	Prévalence (%)	51.61	62		
	Swimbladder Degenerative Index	1.92	62	1.47	
	Prevalence SDI (%)	53.23	62		
	Prévalence anguille avec trace présente ou ancienne de parasitisme (%)	90.32	62		
	Prévalence anguille fortement parasitée (5 parasites ou plus) (%)	6.45	62		

IV.2.3. Discussion

Le peuplement piscicole sur l'ensemble des stations apparaît dégradé avec une diversité et des abondances faibles. Ce résultat est semblable à celui obtenu par l'ONEMA (Figure 15).

La structure en taille montre que la population d'Anguille des deux tributaires est très jeune avec des individus de petite taille. Les individus de moins de 200 mm représentent dans les deux cas presque 50%. Ceci peut être expliqué par la proximité de la zone maritime.

La relation entre le poids et la taille des anguilles donne un coefficient b de 3,19 sur le Salaison et de 3,29 sur le Bérange. Ces valeurs appartiennent à l'intervalle [3-3,38] publiée par Adam *et al.* (2008) pour l'Anguille européenne.

La croissance moyenne sur les affluents est évaluée à 6,1cm, ce qui est légèrement supérieur à la moyenne européenne de 5 cm/an (Adam *et al.*, 2008).

Les résultats de prévalence du parasitisme sur le Bérange (56,8%) sont très proches des 60-70% de l'étude de Lefebvre et Crivelli (2004). En revanche, la prévalence du Salaison est sensiblement plus faible avec 38,9%. L'intensité pour les deux affluents est d'environ 3 ce qui est plus faible que celle de 6 observée sur le canal de Fumemorte par Lefebvre et Crivelli (2004).

Synthèse

Le peuplement piscicole des affluents est très dégradé avec des richesses spécifiques (maximum 5 espèces) et des abondances faibles sur chaque station échantillonnée.

Les densités en anguilles entre les différentes stations échantillonnées sont très hétérogène de 0,96 ind/100m² à 102 ind/100m²moins

La croissance moyenne des individus est d'environ 6,1 cm /an

L'abondance et l'intensité du parasitisme sont très proches pour le Salaison et le Bérage. En revanche, la prévalence est plus faible sur le Salaison (38,9%) que sur le Bérage (56,8%). Les vessies natatoires des anguilles sont plus dégradées sur le Bérage que sur le Salaison.

IV.3. Comparaison affluents/lagune

Grâce aux différents résultats acquis, des comparaisons peuvent être effectuées entre la sous-population de la lagune et celles du bassin versant devraient rendre compte des différences entre ces populations.

IV.3.1. Matériel et méthodes

IV.3.1.1. Relation taille-poids

La comparaison des relations taille-poids des différents sites a été effectuée par une analyse de covariance sur les données taille, poids et site. Cette analyse est couplée à un post test de Tukey afin de déterminer quels sites sont différents entre eux.

IV.3.1.2. *Anguillicola crassus*

Le parasitisme entre la lagune et les affluents a été analysé par une comparaison de moyenne pour l'abondance, l'intensité et le SDI et par une comparaison de proportion pour les différentes prévalences.

IV.3.2. Résultats

IV.3.2.1. Relation taille poids

Plusieurs relations taille-poids ont été déterminées en fonction des différents milieux :

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

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

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

L'analyse de covariance r souligne un effet site significatif ($F < 0,001$). Le 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.

La station échantillonnée sur le Bérage semble assez différente de la lagune et de la station du Salaison. Les anguilles présentent un poids plus important pour une même taille par rapport aux deux autres sites. Ceci peut être expliqué en partie par l'abondance en nourriture disponible (Vairon...) et les caractéristiques physico chimiques des différentes stations.

IV.3.2.2. *Anguillicola crassus*

Ces résultats montrent des différences significatives entre la lagune et les affluents (Salaison + Bérage) en termes d'abondance (p -value $< 0,001$) et d'intensité (p -value $< 0,001$) du parasitisme (Tableau 13). Ceci est confirmé par une forte prévalence des anguilles fortement parasitées sur la lagune (p -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 13 : 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	***

IV.3.2.3. Croissance moyenne

La croissance moyenne des anguilles de la lagune a été évaluée à 8,7cm/an entre leur arrivée 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...).

Synthèse

Pour une même taille, les anguilles ont un poids plus important sur le Bérage que sur le Salaison et la lagune.

L'abondance et l'intensité du parasitisme sont significativement différentes entre la lagune et ses affluents.

La population du bassin versant a des performances de croissance plus faible (6,1 cm/an) que celle de la lagune (8,7 cm/an)

V. Modélisation de la dynamique de la population d'anguille de l'étang de l'Or

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 et de mortalité par pêche et de maturation sexuelle.

V.1. Calibration des sous modèles et des paramètres d'entrées

V.1.1. Le sous modèle de croissance

La croissance de l'Anguille est un sujet complexe et controversé du fait des performances très diverses de cette espèce en fonction des milieux étudiés (Fontenelle, 1991 ; Adam *et al.*, 2008). La phase de croissance de l'Anguille se déroule pendant le stade jaune. En effet, une fois argentées, les anguilles ne semblent plus grandir (Mazel, 2009). Cette phase de croissance dure entre 3 et 15 ans selon les sites. La croissance moyenne de l'anguille, tous sites confondus, est estimée à 5 cm/an (Adam *et al.*, 2008). Cependant, des études ont mis en évidence des disparités de croissance entre mâles et femelles (Davey et Jellyman, 2005 ; Vollestad et Johnson, 1988) à partir de la différenciation sexuelle des individus. Il est donc pertinent de réaliser une courbe de croissance par sexe (Melia *et al.*, 2006a).

Le modèle le plus utilisé afin de retranscrire la croissance des anguilles est celui de Von Bertalanffy (Mallawa, 1987 ; Gordo et Jorge, 1991 ; Mounaix, 1992 ; Panfili, 1993 ; Leo et Gatto, 1995 ; Melia *et al.*, 2006a). Ce modèle est pourtant très critiqué puisqu'il est très sensible à la méthodologie utilisée pour l'estimation des paramètres, les paramètres sont fortement corrélés entre eux et il nécessite d'intégrer deux paramètres sans réalité biologique t_0 et L_∞ , correspondant respectivement à la taille à l'âge 0 et à une longueur théorique maximale asymptotique que peut atteindre l'espèce considérée.

Les lagunes méditerranéennes sont des sites qui induisent de fortes croissances (Panfili, 1993 ; Panfili et Ximénès, 1994 ; Adam, 1997) dues à des conditions environnementales favorables (salinité, latitude) (Fontenelle, 1991). La phase de croissance des anguilles jaunes est donc plus courte et leur différenciation sexuelle plus précoce dans ces milieux (Melia *et al.*, 2006a ; Melia *et al.*, 2006b).

V.1.1.1. Matériel et méthodes

Cette partie présente, un modèle de croissance de Von Bertalanffy pour les anguilles de l'étang de l'Or, calibré avec D. Bevacqua en utilisant la méthode de Mélia *et al.* (2006). L'analyse de la croissance est basée sur l'échantillon de 290 anguilles. L'âge a été retransformé en jours pour chaque individu en fixant la **date d'arrivée dans la lagune au 1er avril et l'âge de mort à la capture.**

Dans la construction des modèles de Von Bertalanffy (1957), les données rétrocalculées ont été utilisées. Elles ont été obtenues pour chaque individu à partir de sa taille, de son âge, du rayon total de l'otolithe et du rayon de chaque annulus. Pour procéder au rétrocalcul, la formule de Fraser-Lee (1920 in Panfili *et al.*, 2002) a été employée (Annexe 11). Parmi les données rétrocalculées, seules les valeurs inférieures à 500 jours ont été retenues. En effet, du fait de la sélectivité des engins, très peu de données sur les anguilles de petites tailles sont disponibles. Ce modèle de croissance de Von Bertalanffy a été réalisé avec D. Bevacqua selon la méthode de Mélia *et al.* (2006) avec le logiciel Matlab. Il utilise les données de l'échantillon ainsi que les données rétrocalculées. Cependant, il ne prend pas en compte les individus indifférenciés de plus de 30 cm (pour la conception du modèle, tous les individus d'une taille supérieure à 30 cm doivent être sexés).

Les équations de croissance de Von Bertalanffy employées sont basées sur la forme différentielle. Elles sont réalisées pour les mâles, les femelles et les indifférenciés, avec une équation différente en fonction du sexe :

$$\text{Pour les indifférenciés : } L(x) = L_0 + (L^* - L_0) \left(1 - e^{-k_U x}\right) \left(1 - e^{-k_U x^*}\right)^{-1} \text{ pour } x \leq x^* \quad (1)$$

$$\text{Pour les femelles : } L(x) = L_{\infty F} + (L_{\infty F} - L^*) e^{-k_F (x - x^*)} \text{ pour } x > x^* \quad (2)$$

$$\text{Pour les mâles : } L(x) = L_{\infty M} + (L_{\infty M} - L^*) e^{-k_M (x - x^*)} \text{ pour } x > x^* \quad (3)$$

Où : L est la taille à l'âge x (mm) ; L_0 est la taille à l'âge 0 (mm) ; x^* est l'âge de différenciation sexuelle (an) ; L^* est la taille à l'âge de différenciation sexuelle (mm) ; $L_{\infty F}$ et $L_{\infty M}$ sont les longueurs asymptotiques moyennes pour les femelles et les mâles (mm) ; k_U , k_F et k_M sont les paramètres liés à la courbure de la trajectoire de croissance respectivement pour les indifférenciés, les femelles et les mâles (mm/an).

Ce modèle a été calibré par D. Bevacqua selon trois étapes :

L_0 est définie comme la moyenne de la taille des civelles issue du suivi, soit 65 mm ;

$L_{\infty F}$ et $L_{\infty M}$ sont estimées en ajustant une courbe de croissance de Von Bertalanffy

respectivement sur les anguilles femelles et les anguilles mâles. Elles sont estimées en minimisant la somme des carrés des écarts. Les valeurs de k associées à ces courbes ne sont pas retenues ;

Après avoir fixé L_0 , $L_{\infty F}$ et $L_{\infty M}$, les équations (1), (2) et (3) sont ajustées aux données en minimisant la somme des carrés des écarts pour estimer les 5 derniers paramètres : x^* , L^* , k_U , k_F et k_M .

Après avoir estimé la taille de différenciation sexuelle, les anguilles indifférenciées de taille supérieure à L^* ont vu leur sexe réattribué selon le sex-ratio des anguilles différenciées.

V.1.1.2. Résultats

La calibration du modèle de Von Bertalanffy par D. Bevacqua selon la méthode de Melia *et al.* (2006a) donne les résultats suivants :

Pour les indifférenciés : $L(x) = 65 + (286.72 - 65) \left(1 - e^{-0.4x}\right) \left(1 - e^{-0.4 \cdot 2.93}\right)^{-1}$

Pour les mâles : $L(x) = 386.42 - (386.42 - 286.72)e^{-6.60(x-2.93)}$

Pour les femelles : $L(x) = 780.30 - (780.30 - 286.72)e^{-0.365(x-2.93)}$

Ce modèle (Figure 29) permet d'obtenir un âge de différenciation sexuelle de 2,93 ans pour une taille de 286,72 mm.

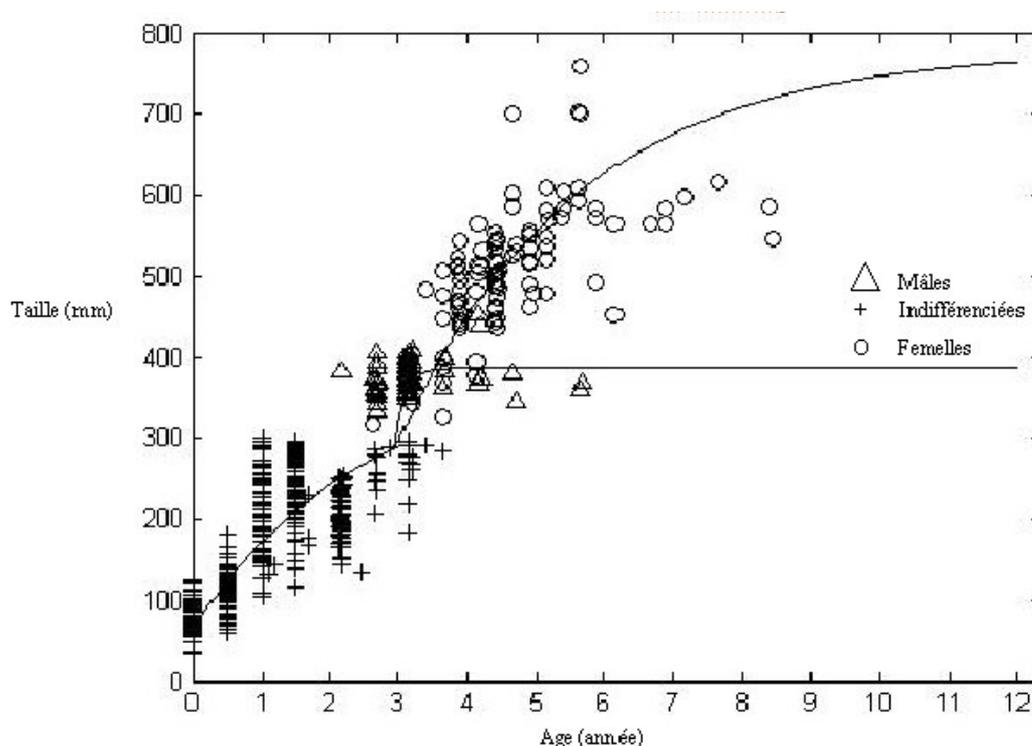


Figure 29 : Modèle de croissance de Von Bertalanffy calibré par D. Bevacqua (Indifférenciés : N=467 (116 observés et 351 recalculés) ; Femelle : N=100 ; Mâle : N=68; 4 femelles et 2 mâles n'ont pas été utilisés n'ayant pu être âgés).

Ce modèle étant celui utilisé dans le modèle Camargue de Bevacqua *et al.* (2007), il sera utilisé pour le modèle de dynamique des populations, même s'il est loin de s'adapter totalement aux données.

V.1.1.3. Discussion

Ce modèle de croissance de Von Bertalanffy est employé dans le modèle de dynamique de la population. Cependant, il modifie quelque peu l'échantillon. En effet, il ne prend en compte que les individus indifférenciés de taille inférieure ou égale à 300 mm, faisant ainsi l'hypothèse que tous les individus se sont différenciés sexuellement après cette taille. Ensuite, pour les individus ayant une taille comprise entre la taille de différenciation sexuelle et 300 mm, un sexe hypothétique est réattribué en fonction du sex-ratio de la classe supérieure, dans le but d'avoir une séparation des courbes en un même point. On peut donc s'interroger sur la bonne représentativité de la réalité par le modèle, les données initiales étant modifiées. De plus, il est difficile de concevoir que les mâles aient une croissance moyenne de 7 cm en deux mois après la date supposée de différenciation sexuelle. Cette date semble aussi assez tardive puisque presque la moitié des mâles de l'échantillon est différenciée sexuellement avant cet âge, avec une taille nettement supérieure à 280 mm, taille estimée par le modèle. Si l'on regarde de plus près les corrélations entre les tailles observées et les tailles estimées par le modèle pour chaque sexe (Annexes 12, 13 et 14), le modèle semble assez bien estimer les tailles des anguilles indifférenciées et des femelles (a et b significatifs, t-test, p-value<0,001 ; r^2 significatif, F test, p-value<0,001) avec respectivement des r^2 de 0,59 et 0,51. En revanche pour les mâles (a non significatif, r^2 non significatif), la corrélation apparaît très faible avec un r^2 proche de zéro. Ce qui confirme la faible représentativité du modèle pour les mâles.

Le modèle de Von Bertalanffy est le plus utilisé pour retranscrire la croissance de l'Anguille mais il est parfois peu adapté (Adam, 1997). Cependant, ce sous modèle est la base du modèle de dynamique de la population. Il sera donc utilisé pour cette étude tout en gardant à l'esprit les limites énoncées auparavant.

V.1.2. Le sous modèle de maturation sexuelle

Chez l'Anguille européenne, la maturation sexuelle est accompagnée de changements comportementaux, physiologiques et anatomo-morphologiques. Les modifications les plus visibles sont le changement de coloration, l'anguille passant d'une couleur jaune à argentée, une pigmentation de la ligne latérale, une augmentation du diamètre oculaire et un allongement des nageoires. Ces changements préparent l'anguille à sa migration vers la mer des Sargasses pour sa reproduction.

V.1.2.1. Matériel et méthodes

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 de Camargue publiés par Bevacqua *et al.* (2006) vont donc être utilisés. 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.**

$$\gamma(L_t) = \gamma_{\max} (1 + e^{(\lambda - L_t)/\eta})^{-1}$$

Avec : γ_{\max} le taux de maturation asymptotique ; λ la constante de semi saturation (mm) ; η le coefficient de forme qui est inversement proportionnel au coefficient de la courbe à $L_t = \lambda$ (mm) ; L_t la taille à l'instant t.

V.1.2.2. Résultats

La maturation sexuelle (Figure 30) s'effectue à une taille plus petite pour les mâles (entre 300 et 400 mm), que pour les femelles (entre 450 et 700mm). D'après le modèle de croissance, les mâles sont donc mûres plus jeunes que les femelles et dévaleront donc avant elles.

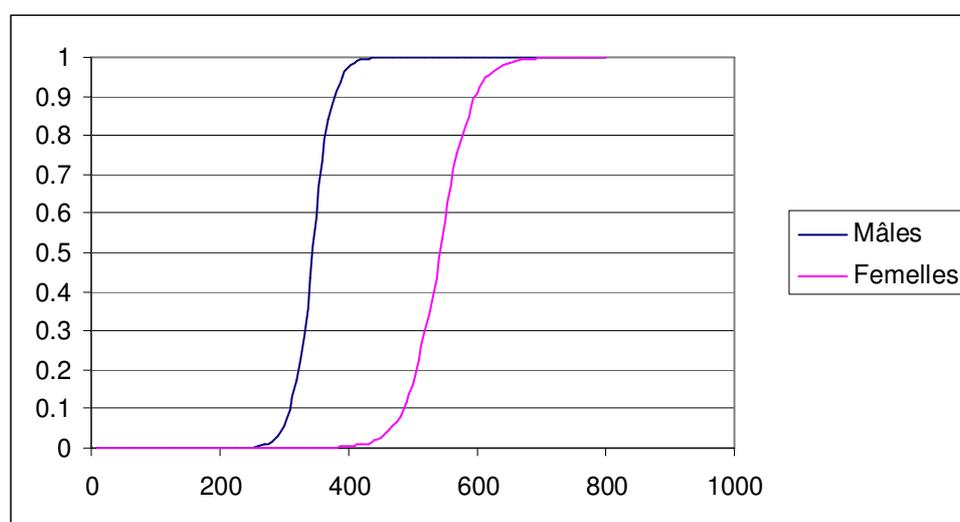


Figure 30 : Taux de maturation sexuelle des mâles et femelles

On obtient donc :

- pour les femelles : $\gamma(L_t) = 1 * (1 + e^{(541,5 - L_t)/25,4})^{-1}$

- pour les mâles : $\gamma(L_t) = 1 * (1 + e^{(344,2 - L_t)/15,4})^{-1}$

V.1.2.3. Discussion

Ce modèle de maturation sexuelle repose sur une hypothèse forte, à savoir que la maturation sexuelle des anguilles a lieu entre septembre et novembre. Or, ce phénomène, tout comme la dévalaison, est très dépendant des conditions climatiques et peut donc se décaler dans le temps. Cette variabilité temporelle n'est pas prise en compte dans le modèle, et peut avoir des répercussions sur les captures mensuelles des anguilles argentées.

V.1.3. Le sous modèle de mortalité naturelle

La mortalité naturelle (M) exprime la mortalité due à toutes causes autres que la pêche (Pauly et Moreau, 1997). C'est le processus qui diminue au fil du temps l'effectif d'un stock de poissons sans intervention humaine, indépendamment des processus de reproduction et de migration (émigration, immigration) (Lambert, 2005). Elle intègre donc différents facteurs de mortalité : la prédation aviaire ou pisciaire, les pathologies, les facteurs environnementaux... Chacun de ces facteurs contribue à la mortalité naturelle globale (Adam, 1997). Il est très difficile d'évaluer séparément les différents facteurs de mortalité naturelle. Une approche largement répandue est donc d'estimer une mortalité naturelle des populations pisciaires à partir de paramètres biologiques ou environnementaux.

D'après Pauly et Moreau (1997), le coefficient instantané de mortalité naturelle M est l'un des paramètres les plus difficiles à évaluer. Pourtant, une valeur aussi exacte que possible de M est nécessaire pour mettre en œuvre la plupart des modèles de gestion des stocks. Différentes méthodes existent. Ainsi, Pauly (1980) a mis au point deux méthodes, l'une basée sur la taille maximale, l'autre sur le taux métabolique et les paramètres de l'équation de croissance de Von Bertalanffy ; Gunderson et Dygert (1988, in Pauly et Moreau, 1997) utilisent l'indice gonadosomatique ; Rikhter et Efanov (1976, in Pauly et Moreau, 1997) font intervenir la stratégie de reproduction et la maturité sexuelle des individus. Ces différentes formules donnent une estimation du coefficient de mortalité naturelle M pour une population. Cette valeur est valable pour toute la durée de vie des individus de la population et suggère donc qu'elle est constante quelque soit l'âge. Certaines des méthodes citées précédemment ont été utilisées pour l'anguille sur le lac de Grand Lieu (Adam, 1997) mais avec des résultats assez différents en fonction des méthodes utilisées, avec $0,15 < M < 0,43$. Cependant, ces valeurs restent dans le même ordre de grandeur que ce qui a été publié à ce jour : 0,139 par Dekker (1999), 0,205 par Wickstrom (1996), entre 0,56 et 0,66 par Lobon-Cervia (1995) et entre 0,17 et 0,65 par Feunteun (2002).

Considérer que la mortalité naturelle est constante au cours de la vie des individus peut poser des problèmes dans la réalisation d'un modèle de dynamique des populations. En effet, elle est souvent plus importante pour les jeunes stades et les stades sénescents. Gulland (1987) a démontré que l'utilisation d'une mortalité taille-dépendante était plus réaliste dans les modèles de gestion des stocks. Pour l'Anguille, seuls Leo et Gatto (1995) et Lambert et Rochard (2007) ont

considéré que la mortalité naturelle était décroissante en fonction de l'âge, ce dernier paramètre étant relativement proportionnel à la taille.

V.1.3.1. Matériel et méthodes

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. 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.

Cette relation a été calibrée précédemment (Figure 22) : $W = 7 \cdot 10^{-7} L^{3.1603}$

Ensuite, cette relation est utilisée pour calculer la mortalité naturelle :

$$M = \alpha W^{-\beta} \rightarrow M = \alpha (7 \cdot 10^{-7} L^{3.1603})^{-\beta}$$

Où : M est le taux de mortalité naturelle (an^{-1}) ; α est une constante fonction de la densité moyenne et de la température moyenne de l'eau (en cours de publication) ; β est le coefficient de Lorenzen (1996) ($\beta = 0,29$ pour les lacs).

Ce modèle est différent de celui utilisé dans Bevacqua *et al.*, (2007). En effet, ce modèle reflèterait mieux la mortalité naturelle et serait plus adapté à son modèle global de dynamique des populations (com. pers. D.Bevacqua)

V.1.3.2. Résultats

Ce modèle (Figure 31) aboutit donc à un taux de mortalité naturelle, en fonction de la taille des individus, variable dans le temps. On observe une très forte mortalité naturelle pour les jeunes stades avec des valeurs de M allant de $1,5 \text{ an}^{-1}$ (78% de mortalité/an) au moment de l'arrivée dans la lagune à $0,4 \text{ an}^{-1}$ (33%) à 200 mm. A partir de 400 mm, la mortalité naturelle ralentit fortement avec un M de $0,2 \text{ an}^{-1}$ (18%). Elle se stabilise aux alentours de $0,1 \text{ an}^{-1}$ (9,5%) à 700 mm.

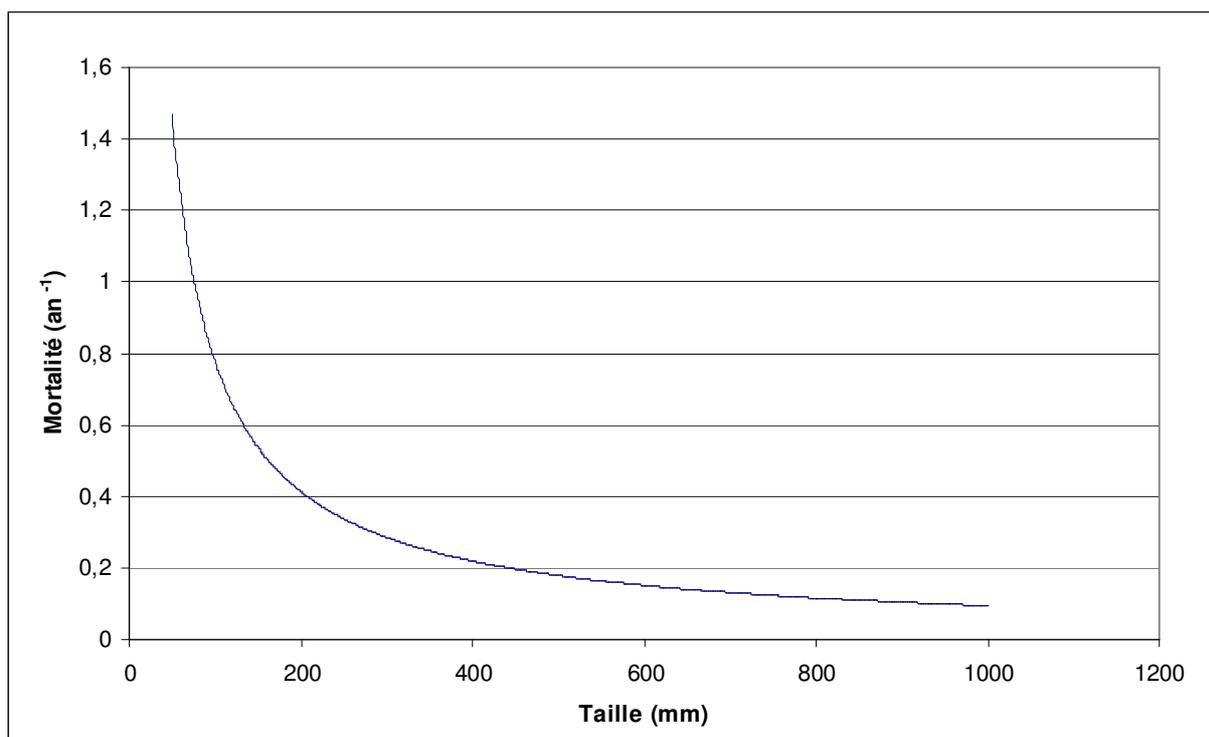


Figure 31 : Mortalité naturelle en fonction de la taille pour l'Étang de l'Or

V.1.3.3. Discussion

Bevacqua (en cours de publication) est le seul pour l'instant à avoir réalisé un modèle de mortalité naturelle en fonction de la taille pour l'anguille. Ces résultats sont difficilement comparables à des modèles, même assez proches, comme ceux de Leo et Gatto (1995) et Lambert et Rochard (2007), qui expriment la mortalité en fonction de l'âge. Pour cela, il faudrait transformer les données de taille en âge par l'intermédiaire d'une fonction de croissance. Dans ce cas, l'intérêt est faible puisque la variable principale du modèle globale de dynamique des populations de Bevacqua (2007) est la taille. De plus, les modèles présentant la mortalité naturelle en fonction de l'âge (Leo et Gatto 1995 ; Lambert et Rochard, 2007) sont basés sur l'hypothèse que, pour un âge donné, la mortalité est la même pour tous les individus. Or, comme vu dans la partie précédente, les tailles des individus d'un même âge sont différentes entre les sexes, du fait que les mâles et les femelles ont des croissances différentes. Ce modèle prend donc en compte une différence de mortalité naturelle entre les individus. Cette approche semble pertinente, les modèles basés sur la taille reflétant mieux les processus biologiques (maturité sexuelle, mortalité naturelle, différenciation sexuelle...) et l'impact des pêcheries (sélectivité...) sur les populations piscicoles (Gulland, 1987 ; Anderson, 1988 in Panfili *et al* ; 2002 ; Hampton, 2000, ICES, 2003), et permettant en partie de s'affranchir des contraintes liées à la détermination de l'âge (ICES, 2003).

Ce modèle est une solution parmi d'autres puisque personne n'a encore démontré si la mortalité naturelle de l'anguille dépend plutôt de la taille, du poids ou de l'âge... (Lambert *et al.*, 2003). Cette mortalité en fonction de la taille reflète donc la combinaison de l'ensemble des facteurs de mortalité naturelle qui sont difficilement quantifiables un par un.

V.1.4. Mortalité par pêche

La mortalité par pêche est un paramètre essentiel de la dynamique des populations des stocks exploités. En effet, elle permet de quantifier la diminution d'effectif causée par l'homme par prélèvements directs sur la sous-population. Elle découle principalement des caractéristiques des engins de pêche et des modalités d'utilisation de ces derniers dans l'espace et dans le temps (Adam, 1997). La précision de la mortalité par pêche dépend directement de la qualité des informations fournies par les pêcheurs.

Le coefficient de mortalité par pêche (F) appliqué pendant une unité de temps (Laurec et Le Guen, 1981) est égal au produit de la capturabilité par l'effort.

La capturabilité d'un stock (q) est la probabilité d'être capturé pendant une unité de temps, par unité d'effort de pêche nominal, pour un poisson pris au hasard dans le stock (Gascuel, 2007).

L'effort de pêche (f) est défini comme une mesure de l'ensemble des moyens de capture mis en œuvre par les pêcheurs sur un stock pendant un intervalle de temps déterminé (Laurec et Le Guen, 1981). L'effort de pêche prend notamment en compte le nombre de pêcheurs, le type et le nombre d'engins, le nombre de jours de pêche... Il existe deux types d'efforts de pêche : l'effort nominal et l'effort effectif. L'effort nominal, assez grossier, est estimé à partir des caractéristiques théoriques de la pêcherie, mais deux efforts nominaux identiques ne donneront pas un même nombre de captures. L'effort effectif est la pression réelle exercée sur le stock pendant une unité de temps (Gascuel, 1995). Il s'approche beaucoup plus de la réalité en prenant en compte les variations journalières... Il est donc beaucoup plus précis. Lorsqu'il est disponible, c'est avec cet effort effectif qu'il faut travailler en dynamique des populations.

Dans l'expression de F , un autre paramètre doit également être pris en compte, à savoir la sélectivité de l'engin de pêche qui est la variation de la capturabilité selon la taille ou l'âge (Leo et Gatto, 1995 ; Adam, 1997; Bevacqua *et al.*, 2009).

Les captures et l'effort de pêche permettent d'évaluer des captures par unité d'effort (CPUE). Ces CPUE sont proportionnelles à l'abondance du stock au facteur de capturabilité près. Elles sont donc couramment utilisées comme indice d'abondance (Laurec et Le Guen, 1981 ; Gascuel, 2007).

V.1.4.1. Matériel et méthodes

Pour estimer le taux de mortalité par pêche, la formule publiée par Bevacqua *et al.* (2007) a été utilisée :

$$F(l, t) = qE(t)S(l)$$

Où : F est le taux de mortalité par pêche dépendant de la taille des anguilles et du temps de pêche ; q est le coefficient de capturabilité en engin⁻¹ mois⁻² (probabilité pour une anguille de se faire capturer par engin pour une durée de 1 mois) ; E est l'effort en nombre moyen d'engins par jour chaque mois ; S est la sélectivité de l'engin dépendant de la taille des anguilles et de la maille de l'engin.

La pêche utilise un seul type d'engin : la capétchade dont la maille est de 6 mm. La sélectivité de ces capétchades (S) est donnée par la formule suivante développée par Bevacqua *et al.* (2009) :

$$S(I, m) = \left(1 + e^{-\eta(m)(A(I) - A_{50}(m))}\right)^{-1}$$

$$\text{Avec : } \ln(A_{50}) = 3.26 + 0.09m$$

$$\ln(\eta) = -1.65 - 0.06m$$

$$A(I) = a\rho^{-1}L^{b-1}$$

Où : a et b sont les coefficients de la relation poids = f(taille) (Figure 8), $a = 7.10^{-7}$ et $b = 3,1603$; ρ est la densité d'une anguille, $\rho = 0,001\text{g/mm}^3$; L est la taille de l'anguille en mm ; A est la section de l'anguille en mm^2 ; m est la taille de la maille en mm ; A_{50} est la section pour laquelle 50% des anguilles sont capturées par l'engin en mm^2 ; η est le paramètre de forme définissant la pente de la courbe en mm^2 .

L'effort de pêche E (engins/jour) est donné pour un pas de temps mensuel. Il a été évalué de deux façons : l'une par une enquête réalisée auprès des pêcheurs et du mareyeur, l'autre par le suivi de la pêche réalisée chaque mois. L'enquête nous a renseigné sur le nombre moyen de capétchades utilisées et la fréquence de pratique de cette activité. L'enquête réalisée auprès du mareyeur a permis de montrer l'évolution mensuelle du nombre de pêcheurs au cours de l'année d'étude (novembre 2008-octobre 2009). Le suivi halieutique a permis d'évaluer un effort mensuel à partir de capture par unité d'effort (CPUE) et des captures mensuelles de la pêche. À chaque sortie étaient notés, pour certaines capétchades ou groupe de capétchades, le temps de pêche et les captures en poids.

La capturabilité q est un paramètre très important reflétant l'efficacité de l'engin. Cette capturabilité est plus importante pour le stade argenté que le stade jaune (Bevacqua, 2008). Sur l'étang de l'Or, les données de capturabilité ne sont pas connues. Elles seront donc estimées avec le modèle de dynamique des populations (partie V.2) en se basant sur les captures de la pêche. Dans l'étude de Bevacqua (2008) ces données sont évaluées *a posteriori* sur 14 années de données.

V.1.4.2. Résultats

(a) Sélectivité

Pour la sélectivité (Figure 32), avec une maille de 6 mm, les premiers poissons capturés par l'engin sont de petite taille, aux alentours de 13-14 cm. 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. De par le faible maillage, les capétchades utilisées sur l'Étang de l'Or sont peu sélectives et visent des individus d'une large gamme de taille.

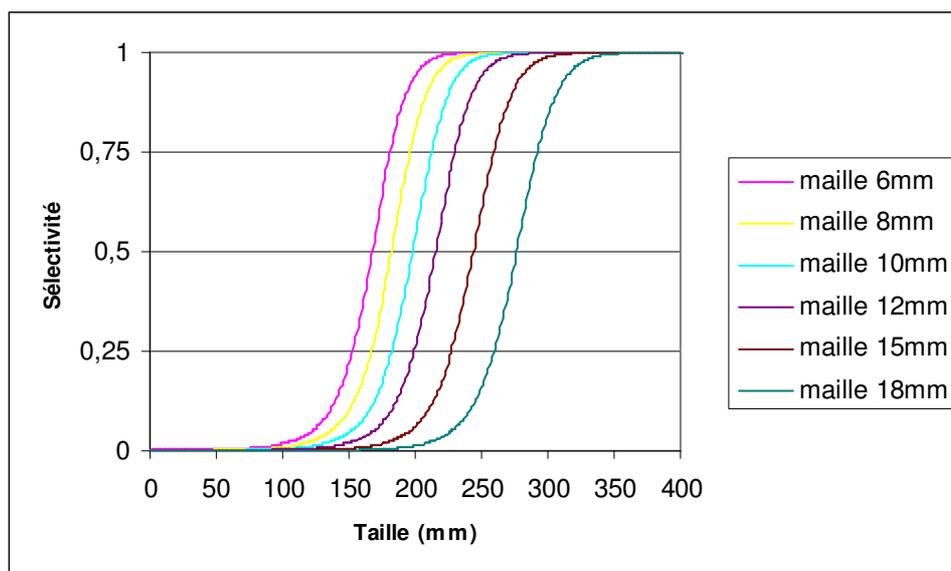


Figure 32 : Sélectivité des capétchades en fonction du maillage et de la taille des anguilles

(b) Effort et Capture par Unité d'Effort

- Effort issu des enquêtes

Les résultats de l'enquête montrent que les pêcheurs pêchent chaque jour de l'année, avec en moyenne 20 capétchades chacun (le maximum autorisé). Sur la période d'étude (novembre 2008-octobre 2009), le nombre de pêcheurs (Figure 33) 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 34) est ici directement proportionnel à ce nombre de pêcheurs (produit du nombre mensuel de pêcheurs par le nombre moyen de capétchades). Deux pics sont visibles, l'un en juin avec 140 engins/jour et l'un à l'automne (septembre à novembre) avec un effort compris entre 150 et 200 engins/jour. L'effort des mois de juillet et août apparaît relativement faible, il est dû à la nouvelle réglementation qui interdit la pêche du 15 juillet au 15 août.

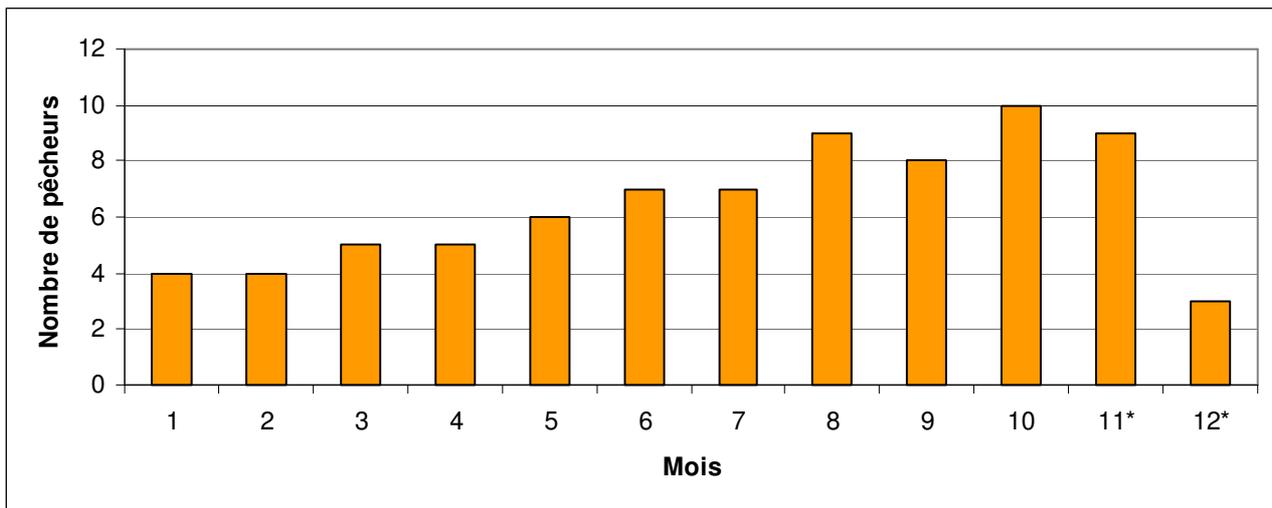


Figure 33 : Nombre de pêcheurs en fonction du mois de l'année (*données 2008)

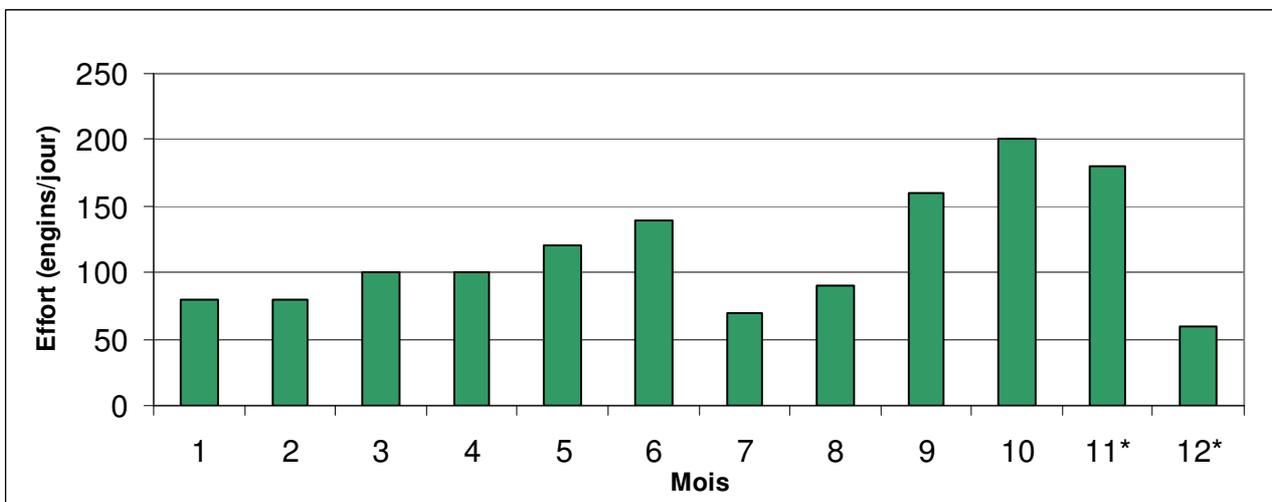


Figure 34 : Effort estimé à partir des enquêtes (*données 2008)

- Effort et CPUE issu du suivi halieutique

Les CPUE (Figure 35) sont très variables dans le temps avec des CPUE fortes en avril, mai et octobre (>2 kg/engin/jour), moyennes en novembre (1,5 kg/engin/jour) et faibles pour les mois restant (<1 kg/engin/jour). A partir de ces CPUE et des captures mensuelles totales de la pêcherie, un effort mensuel (Figure 36) a pu être estimé. Cet effort apparaît également très variable allant de 30 à 288 engins/jours selon les mois. Aucun effort n'a pu être estimé pour le mois d'août du fait d'une absence de capture la semaine du suivi. De plus, il apparaît que certaines valeurs comme celles de décembre sont aberrantes, l'effort estimé de 184 engins/jours pour 3 pêcheurs (Figure 33) suggère une utilisation de 60 capéchades par jour et par pêcheur, ce qui apparaît improbable.

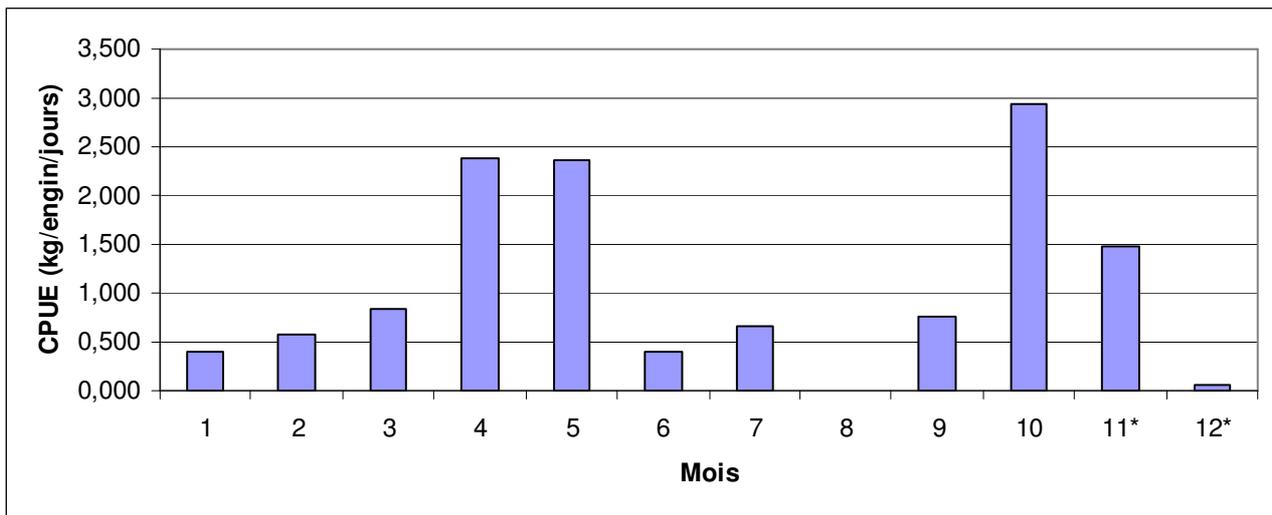


Figure 35 : CPUE estimée à partir du suivi halieutique (*données 2008)

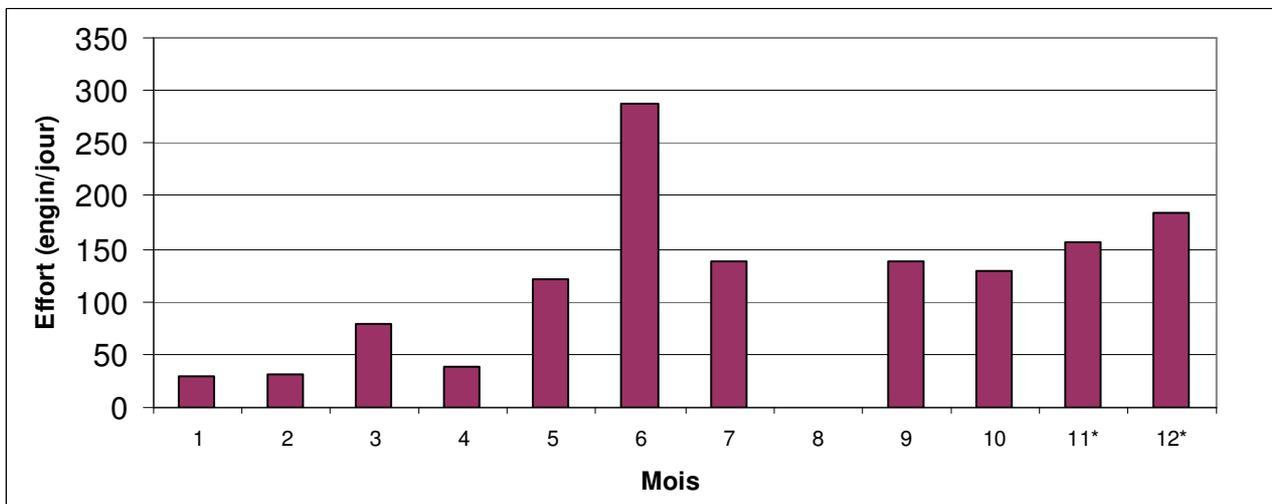


Figure 36 : Effort estimé à partir du suivi halieutique (CPUE) et des captures mensuelles de la pêcherie (*données 2008)

V.1.4.3. Discussion

Dans le modèle de sélectivité utilisé (Bevacqua *et al.*, 2009), la valeur de taille pour laquelle 50% des anguilles sont capturées par l'engin (L50) est de 168 mm pour la maille 6 mm. Cette valeur est assez proche de la L50 de 165 mm déterminé par Ximénès (1986, in Adam, 1997). En revanche, elle est un peu plus élevée que celle de 145 mm utilisée par Bevacqua *et al.* (2007) (d'après la formule de Leo et Gatto (1995)) et de 140 mm calculé par Laffaille (com. pers.). Pour les deux premières études (Ximénès, 1986, Bevacqua *et al.*, 2007), 100% des individus sont capturés respectivement à partir des longueurs de 230 mm et de 176 mm, ce qui avoisine les 219 mm déterminés dans cette étude. De plus, d'après la structure en taille de la population, le recrutement par les engins serait total à partir de 230 mm, ce qui concorde avec nos résultats. Pour ces deux études, la sélectivité prise en compte est uniquement celle de la maille de 6 mm de la partie terminale de l'engin. La sélectivité des autres composants de la capéthead (paradière, tour...) n'est pas évaluée. Prendre en compte uniquement la maille de la nasse peut donc également biaiser la sélectivité (Bevacqua, 2009 ; Adam *et al.*, 2008).

Les résultats d'effort provenant du suivi sont assez différents de ceux issus des enquêtes. L'effort issu des enquêtes suppose que tous les pêcheurs sont identiques et pêchent de la même manière. L'effort issu du suivi pourrait être plus précis mais il est biaisé pour certains mois. En effet, le suivi est basé principalement sur 2-3 pêcheurs du fait de leur faible coopération, l'un a été suivi très peu de fois et les deux autres pêchent ensemble (père et fils). Ce suivi dépend donc essentiellement de pêcheurs ayant exactement les mêmes pratiques de pêche, il est donc peut-être peu représentatif des autres pêcheurs. De plus, le suivi a été effectué une semaine par mois. Or, la pêche de l'anguille est extrêmement variable d'un jour à l'autre et dépend beaucoup des facteurs environnementaux (com. pers. des pêcheurs). Ce suivi ponctuel est donc peu représentatif d'un mois complet. Il faudrait le réaliser sur un plus grand nombre de pêcheurs et sur plusieurs années pour avoir des résultats fiables. Dans ces conditions, l'effort utilisé dans le modèle de dynamique de la population sera celui issu des enquêtes et non celui issu du suivi halieutique..

V.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. Cette méthode est très souvent utilisée quand peu de données sont disponibles notamment dans le cas de pêcherie africaine (Chassot *et al.*, 2006). Les données nécessaires pour utiliser cette méthode ne sont pas directement disponibles dans notre cas, elles doivent être recalculées à partir des données disponibles, ce qui implique que l'estimation du recrutement ne sera pas très précise mais permettra d'avoir un ordre de grandeur.

V.1.5.1. Matériel et méthodes

Pour utiliser la méthode d'analyse non rectifiée des pseudo-cohortes, il est indispensable de recalculer les données suivantes :

- mortalité par pêche au dernier âge : Elle est estimée par la différence entre la mortalité totale moyenne d'une cohorte au cours de sa vie et la mortalité naturelle moyenne au dernier âge. Cela nécessite donc de calculer la mortalité totale moyenne.

- mortalité totale moyenne : Pour la calculer, il est nécessaire de redonner un âge à toutes les anguilles mesurées lors du suivi permettant d'obtenir un effectif à chaque âge (captures aux âges). Une régression linéaire sur le logarithme des effectifs permet d'estimer cette mortalité totale moyenne.

- mortalité naturelle moyenne à chaque âge : elle peut être recalculée à partir du modèle de mortalité naturelle taille dépendant de Bevacqua (en cours de publication) et d'un modèle de croissance de Von Bertalanffy calibré sur l'ensemble de l'échantillon de 290 anguilles.

- captures aux âges de la pêche : Elles sont recalculées à partir des captures totales de la pêche (captures totales d'une année), des captures aux âges du suivi, de la taille moyenne à chaque âge et de la relation taille-poids. Une biomasse est ainsi réattribuée pour chaque âge pour le suivi et est extrapolée à la pêche par proportionnalité.

(c) Modèle de Von Bertalanffy

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

Où : L_t est la longueur moyenne à l'instant t (mm) ; L_∞ est la longueur asymptotique moyenne (mm) ; k est un paramètre lié à la courbure de la trajectoire de croissance (mm/an) ; t_0 représente l'âge théorique auquel la longueur vaudrait 0 (jours).

Ce modèle est global (pas de prise en compte du sexe) et réalisé à partir de l'échantillon de 290 anguilles et des données de taille recalculées (même jeu de données que le modèle de croissance précédent). Le modèle de croissance permettra de transformer une taille en âge. Il a été réalisé sur R avec la fonction `nls()`.

Cette formule permet de redonner un âge à chacune des anguilles mesurées lors du suivi halieutique et ainsi de connaître un effectif par classe d'âge.

(d) Estimation de la mortalité totale

Au cours du temps, une cohorte voit ses effectifs diminuer sous l'influence de facteurs de mortalité naturelle (M) et de mortalité par pêche (F). La mortalité totale (Z) englobe l'ensemble de ces facteurs ($Z=F+M$). La mortalité naturelle intègre de nombreux facteurs de mortalité : prédation aviaire ou pisciaire, pathologies, facteurs environnementaux... Elle touche l'ensemble des individus alors que la mortalité par pêche intervient uniquement sur la fraction de la population recrutée par les engins de pêche. Dans le cas de l'anguille, un autre paramètre doit être pris en compte : la disparition (E) des anguilles par émigration notamment lors de leur dévalaison. Ces trois facteurs (F , M et E) sont ici regroupés sous le terme de mortalité totale. Il est souvent difficile d'évaluer précisément chacun de ces trois facteurs. Dans notre cas, nous estimerons un taux constant de mortalité totale sur la fraction exploitée de l'Etang de l'Or.

Pour estimer la mortalité totale, nous allons utiliserons la notion de pseudo-cohorte de Sparre (1985) : l'échantillonnage réalisé sur une année donne une image de l'évolution d'une cohorte au cours de sa vie continentale. Cette notion est valide sous les hypothèses suivantes :

- la mortalité totale est constante pour toutes les classes d'âges exploitées,

- les fluctuations de recrutement sont négligeables,
- la vulnérabilité vis-à-vis des engins de pêche est identique pour tous les âges exploités,
- l'échantillonnage est représentatif de la structure de la population.

La méthode privilégiée pour évaluer le taux de mortalité est basée sur le nombre d'individus à chaque âge (Beverton et Holt, 1957 ; Robson et Chapman, 1961 ; Ricker, 1975). Il est calculé ici à partir du modèle de Von Bertalanffy ci-dessus et des captures en taille du suivi. La relation consiste à exprimer le logarithme du nombre d'anguilles capturées en fonction de leur âge. La pente de la régression linéaire effectuée sur les données donne une estimation du taux de mortalité. Au-delà de l'âge 9, très peu d'individus sont capturés, nous considérons cette classe d'âge comme la borne supérieure pour le calcul de la mortalité totale.

(e) Captures aux âges de la pêche

Afin de réaliser une première évaluation de l'abondance de chaque cohorte ainsi que de la mortalité par pêche, il est nécessaire de connaître les captures aux âges de la pêche. Elle peut être recalculée à partir des captures aux âges du suivi, de la relation taille-poids ainsi que des captures totales de la pêche (biomasse). Les captures aux âges obtenues à partir du suivi seront supposées représentatives de la population.

La relation taille-poids permettra de connaître l'importance en biomasse et pourcentage de chaque groupe d'âge par rapport au poids total des anguilles du suivi.

Connaissant les captures totales de la pêche, les captures en biomasses de chaque groupe d'âges pourront être estimées.

Le nombre d'anguilles capturées de chaque cohorte est ensuite déterminé en divisant les captures en biomasse de chaque groupe d'âges par le poids individuel moyen de ce groupe d'âge.

(f) Mortalité naturelle moyenne

Précédemment, le modèle de mortalité naturelle de Bevacqua (en cours de publication) a été présenté. Il montre une mortalité naturelle taille dépendante. Cependant, dans cette première approche, pour des soucis d'unité, il est préférable d'utiliser une mortalité naturelle en fonction de l'âge. Pour cela, la taille a été transformée en âge en utilisant l'équation de croissance de Von Bertalanffy. Une valeur de mortalité naturelle pour chaque groupe d'âges a ensuite été déterminée en prenant la moyenne des valeurs de chaque intervalle d'âge (exemple : pour l'âge 1 : moyenne des valeurs entre [1,2[).

(g) Analyse non rectifiée des pseudo-cohortes

L'analyse des pseudo-cohortes "classique" suppose que le recrutement et les mortalités aux différents âges sont demeurés constants au cours des années d'exploitation qui ont conduit

aux données de captures observées. Cette hypothèse d'un stock à l'équilibre permet d'estimer simplement les effectifs N du stock et les mortalités par pêche F. Cette analyse s'appuie sur deux formules essentielles : l'équation de survie et l'équation des captures.

L'équation de survie implique que la décroissance de l'effectif d'une classe annuelle est une fonction exponentielle du temps :

$$N_{t+1, a+1} = N_{t,a} \exp(-(F_{t,a} + M_{t,a})) \quad (1)$$

où N représente les effectifs de poissons, t est l'âge, a est l'année, F est le taux de mortalité par pêche et M est le taux de mortalité naturelle.

L'équation des captures exprime le fait que le nombre d'individus pêchés au cours de la période de temps a est proportionnel à l'effectif moyen de la cohorte :

$$C_{t,a} = (F_{t,a} / (F_{t,a} + M_{t,a})) * N_{t,a} * [1 - \exp(-(F_{t,a} + M_{t,a}))] \quad (2)$$

où C représente les captures.

Le calcul de l'abondance de la cohorte terminale (NT) repose sur les équations (1) et (2) et nécessite d'être initialisé par une valeur de mortalité FT par pêche à l'âge terminal calculé par la soustraction de la valeur de mortalité totale et la valeur de mortalité naturelle.

$$NT = CT / (FT * (1 - \exp(-(FT + MT))) / (FT + MT))$$

Puis, à partir de l'approximation de Pope (1972), il est possible de calculer les effectifs des cohortes précédentes directement à partir des données de mortalité naturelle (généralement supposée constante aux âges), et de captures :

$$N_t = N_{t+1} \exp(Mt) + C_t \exp(Mt/2)$$

Où : t est l'âge, N représente les effectifs, M le taux de mortalité naturelle et C les captures.

Dans un deuxième temps, les mortalités par pêche à chaque âge sont ainsi déduites des effectifs à partir de l'équation de survie :

$$F_t = \ln(N_{t+1} / N_t) - Mt$$

V.1.5.2. Résultats

(h) Modèle de croissance de Von Bertalanffy

La calibration du modèle donne les résultats ci-dessous (Figure 37) :

$$L(t) = 1355 (1 - e^{-0,0002197(t - (-270,3))}) \quad (t\text{-test, } k, L, \text{ et } t_0 \text{ significatifs, } p < 0,01)$$

Modèle croissance global(red)

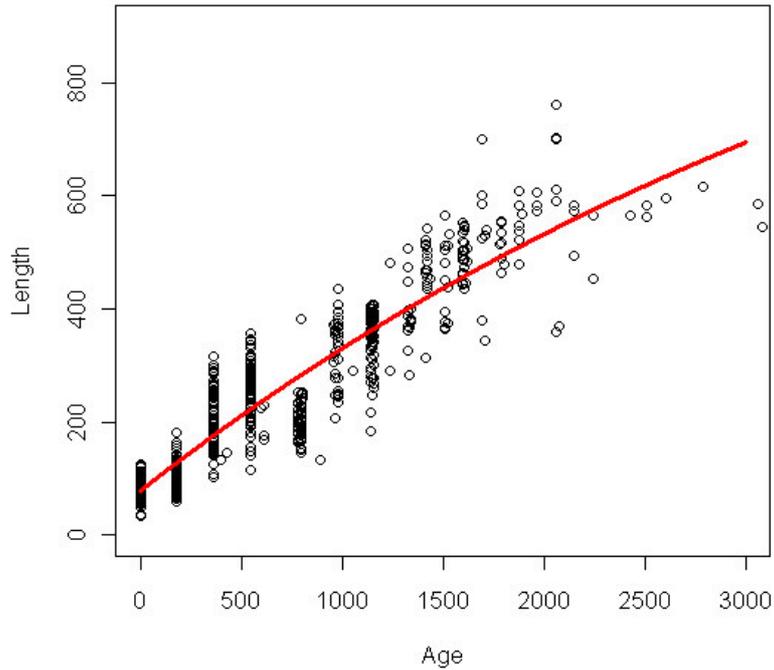


Figure 37 : Modèle de croissance de Von Bertalanffy (Age en jours, Length : taille en mm) (N=635 dont 351 rétrocalculés).

Cette formule permet de redonner un âge à chacune des 5967 anguilles mesurées lors du suivi halieutique et ainsi de connaître un effectif par classe d'âge.

Avec l'utilisation du modèle de Von Bertalanffy, les anguilles sont totalement recrutées par l'engin à partir de l'âge 1 (Figure 38).

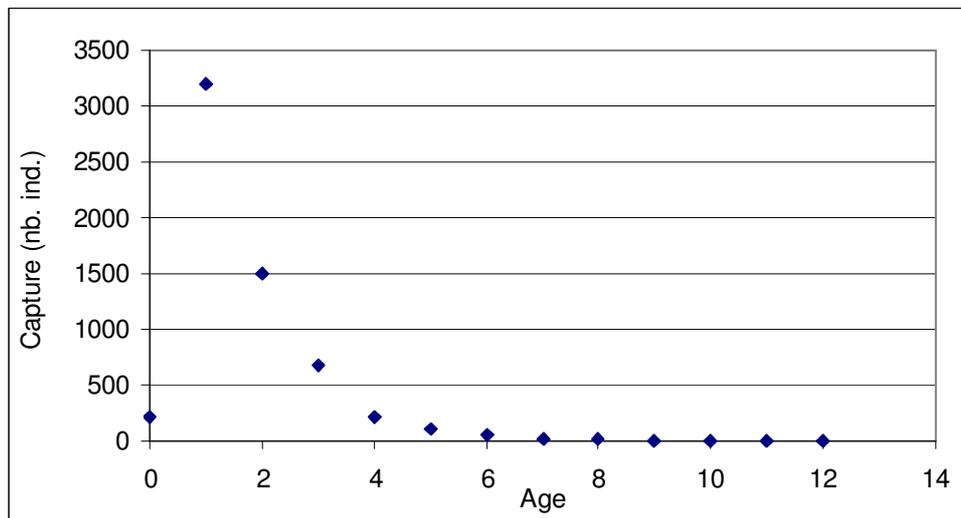


Figure 38 : Capture aux âges du suivi : effectif des individus à chaque âge d'après les échantillonnages effectués lors du suivi halieutique.

(i) Estimation de la mortalité totale

Une régression effectuée sur le logarithme des effectifs à chaque âge (Figure 39), permet de connaître le taux de mortalité totale (coefficient directeur de la régression) entre chaque âge (à partir du premier âge totalement recruté)

$Y = -0,84 x + 8,90$, $r^2 = 0,99$ (t-test, a et b significatifs, $p < 0,001$; F-test, r^2 significatif, $p < 0,001$)

Le taux de mortalité est donc de 0,84 : soit 57% des individus d'une cohorte qui disparaissent chaque année (entre l'âge 1 et 8).

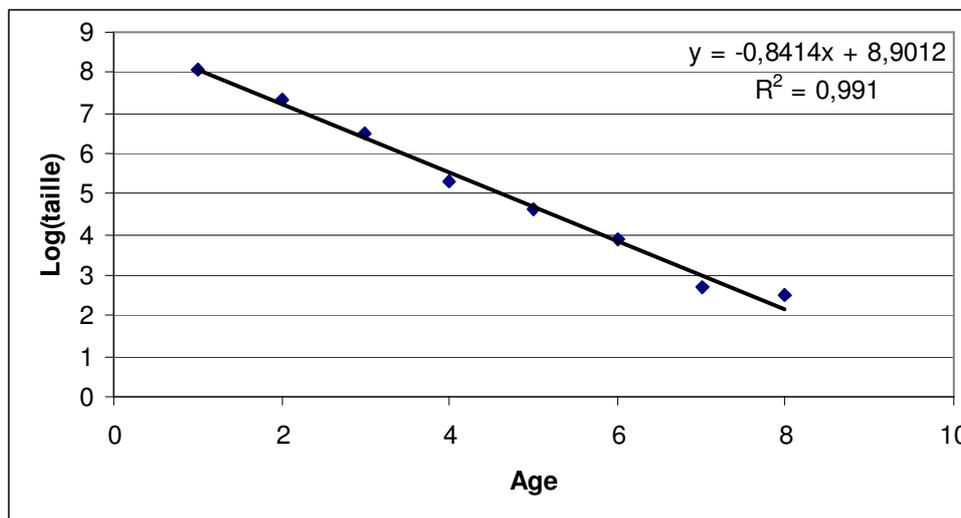


Figure 39 : Régression linéaire entre le logarithme des effectifs et l'âge des anguilles

(j) Captures aux âges de la pêche

A partir des effectifs capturés par groupes d'âges du suivi et du poids moyen des anguilles de chaque groupe d'âge, le poids total de chaque groupe d'âge issu du suivi a pu être calculé. De plus, à partir de l'enquête réalisée auprès du mareyeur, les captures totales de la pêche entre novembre 2008 et octobre 2009 sont estimées à 52,350 tonnes. Par un simple produit en croix, le poids et l'effectif de chaque groupe d'âge dans les captures totales de la pêche ont ainsi pu être déterminés (Tableau 14).

Tableau 14 : Poids et effectifs de chaque groupe d'âge pour les anguilles du suivi et les captures totales de la pêche entre novembre 2008 et octobre 2009.

Age	Taille	Poids moyen (g)	Individus capturés par groupe d'âge (suivi)	Poids (kg) groupe d'âge (suivi)	Poids (kg) groupe d'âge (pêche)	Individus capturés par groupe d'âge (pêche)
[0,1[	[78;176[	3.7	215	0.8	127.6	34 939
[1,2[	[176;267[	18.9	3 190	60.4	9 816.4	518 401
[2,3[	[267;351[	52.8	1 496	79.0	12 835.7	243 112
[3,4[	[351;428[	108.6	675	73.3	11 918.1	109 693
[4,5[	[428;500[	187.4	206	38.6	6 273.8	33 477
[5,6[	[500;566[	289.0	101	29.2	4 743.8	16 413
[6,7[	[566;627[	412.2	49	20.2	3 282.0	7 963
[7,8[	[627;683[	553.7	15	8.3	1 349.7	2 438
[8,9[	[683;734[	711.0	12	8.5	1 386.6	1 950
[9,10[	[734;782[	758.6	5	3.8	616.4	813
Total			5 967	322.1	52 350	969 199

(k) Mortalité naturelle moyenne

Le Tableau 15 synthétise les valeurs de mortalité naturelle, pour chaque âge, recalculées à partir du modèle de mortalité naturelle de Bevacqua (Figure 31).

Tableau 15 : Taux moyen de mortalité naturelle pour chaque groupe d'âge estimé à partir de la Figure 31

Groupe d'âge	M
[0,1[	0,68
[1,2[	0,38
[2,3[	0,27
[3,4[	0,22
[4,5[	0,18
[5,6[	0,16
[6,7[	0,14
[7,8[	0,13
[8,9[	0,12
[9+]	0,11

(l) Analyse non rectifiée des pseudo-cohortes

L'analyse non 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 16). 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 16 : Analyse non rectifié des pseudo-cohortes

Age	Capture	M	F	Z	Abondance
0	34 939	0.68	0.02	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

L'analyse non rectifiée des pseudo-cohortes permet une première approche de l'évolution de la mortalité au cours du temps. Ainsi, sur la Figure 40, il est possible de voir plusieurs pics de mortalité aux âges 3, 6 et 8 qui peuvent être reliés à la dévalaison des anguilles. D'après les caractéristiques de la population de la lagune et du bassin versant, le premier pic à l'âge 3 peut être assimilé à la dévalaison des mâles présents dans la lagune, le deuxième pic à l'âge 6 peut être dû à la dévalaison des anguilles femelles présentes dans la lagune et le dernier pic pourrait correspondre à des anguilles femelles présentes plus en amont dans le bassin versant

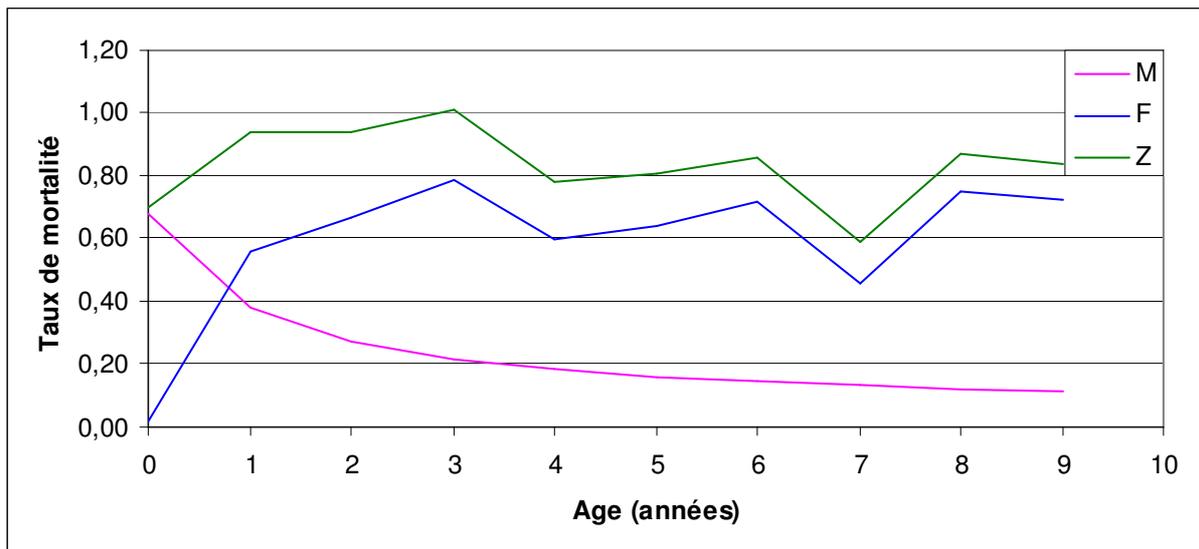


Figure 40 : Première approche de l'évolution de la mortalité par pêche (F), de la mortalité naturelle (M) et de la mortalité totale (Z) au cours du temps

V.1.5.3. Discussion

Sur l'étang de l'Or aucune donnée de recrutement et peu de données sur la pêcherie n'étaient disponibles, ce qui explique l'utilisation de cette méthode d'analyse des pseudo-cohortes ainsi que les différentes transformations des données. Les résultats obtenus sont donc sujets à imprécision. Les différentes valeurs de mortalité seront affinées dans le modèle de dynamique de la population. L'estimation du recrutement donne un résultat d'environ 3 millions d'individus pour cette lagune, soit environ 1000 anguillettes/ha. Cette valeur apparaît cohérente vis à vis des données parues dans la littérature : entre 107 et 1170 anguillettes/ha en Camargue entre 1993 et 2005 (Bevacqua, 2008), entre 200 et 700 anguillettes/ha pour la période 1960-1977 dans le Lough Neagh (ICES, 2007) et entre 202 et 1806 anguillettes/ha entre 1974 et 1989 sur la lagune de Comacchio en Italie (De Leo et Gatto, 1996). Le recrutement déterminé sur l'étang de l'Or apparaît parmi les plus forts publiés, ce qui peut être expliqué par l'absence d'obstacle à la migration des civelles et la forte proximité avec la mer. Cette donnée est la principale valeur d'entrée du modèle de dynamique des populations.

Synthèse

La croissance de la population suit un modèle de croissance de Von Bertalanffy. Elle est définie en fonction du sexe indifférencié, mâle ou femelle.

La mortalité naturelle est supposée taille dépendante. Plus l'anguille a une taille importante, moins elle a de chance de mourir.

L'effort de pêche pris en compte est déterminé en fonction du nombre de pêcheurs mensuel et d'un nombre de 20 capétchades par jour et par pêcheur (maximum autorisé). On considère également, d'après les enquêtes auprès des pêcheurs, qu'ils pratiquent la pêche chaque jour de la semaine. La sélectivité des engins utilisés est celle de la maille de 6 mm. Les anguilles sont totalement recrutées par l'engin aux alentours de 219 mm.

La maturation sexuelle est considérée semblable à celle du Vaccarès (Bevacqua *et al*, 2006). Elle intervient aux alentours de 400 mm pour les mâles et 600 mm pour les femelles. On suppose qu'elle s'effectue entre septembre et novembre et que les anguilles transitent durant un mois dans la lagune.

Le recrutement, estimé à environ 3 000 000 d'individus, sera la principale entrée du modèle.

V.2. Le Modèle de dynamique des populations

Les modèles de dynamique des populations en halieutique ont été développés afin de décrire le fonctionnement des populations, leur exploitation et prévoir leur évolution pour mieux les gérer. Ceci passe par l'établissement de points de référence pour évaluer la durabilité des pêcheries. La dynamique des populations d'anguilles, comme celle de la plupart des stocks exploités, a été très étudiée (Vollestad et Jonhson, 1988 ; Gascuel et Fontenelle, 1995 ; De Leo et Gatto, 1995 ; Dekker, 1999 ; Lambert, 2005 ; Bevacqua *et al.*, 2007). Cependant, du fait de ses caractéristiques biologiques d'espèce migratrice, le cycle de vie complet de l'Anguille est difficilement modélisable. Tous ces modèles s'approchent donc de la réalité mais aucun ne la retranscrit exactement. Parmi ces modèles, le seul réalisé pour les lagunes méditerranéennes et proposant des *scenarii* de gestion est celui de Bevacqua *et al.* (2007).

Dans cette partie, la construction du modèle global, construit à partir de celui publié par Bevacqua *et al.* (2007), sera détaillée. Le modèle permettra de calculer un échappement des géniteurs pour des caractéristiques de la pêche données (capturabilité, effort, sélectivité).

V.2.1. Matériel et méthodes

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 (partie V.3.2.2)

Dans un premier temps, à partir du modèle présenté ci-dessous, des données du suivi halieutique et des captures de la pêche, 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.

Dans ce cas, la démarche inverse à l'hypothèse de Sparre (1985) va être suivi : la production d'une cohorte au cours de sa vie va être considérée comme reflétant la production de la population sur une année. Dans ces conditions, seuls les résultats finaux du modèle seront intéressants.

Comme tout modèle de dynamique de populations, le processus de mortalité est représenté par l'intermédiaire d'un modèle de survie. Il permet d'estimer l'effectif (N) de la cohorte à l'âge t. Ce modèle de survie est construit à partir des taux instantanés de mortalité par pêche et de mortalité naturelle déterminés précédemment. Ces taux de mortalité sont fonction de l'âge et de la taille, ce modèle de survie est donc structuré en âge. Il est basé sur l'hypothèse d'une évolution exponentielle :

$$N_{t+1} = N_t e^{M_t + F_t}$$

Où : N_{t+1} est le nombre d'anguilles à t+1 ; N_t est le nombre d'anguilles à t ; F est le taux de mortalité par pêche ; M est le taux de mortalité naturelle.

Le nombre d'individus capturés (C) par la pêche entre t et t+1 est obtenu par l'équation de capture de Baranov : $C = \frac{F}{M + F} (1 - e^{-F+M}) N_t$

Les captures en nombre peuvent être reliées à une biomasse avec le modèle de croissance et la relation poids = f(taille).

Pour les anguilles jaunes, les captures seront estimées en fonction du recrutement et de la capturabilité des anguilles jaunes (engins/jour chaque mois). La somme des captures estimées au cours de la vie de la cohorte pourra être comparée aux captures annuelles de la pêcherie afin de tester la pertinence d'utiliser le même recrutement que celui de Camargue.

Pour les anguilles argentées, les captures seront estimées en fonction de la capturabilité des anguilles jaunes et argentées (engins/jour chaque mois). La somme des captures estimées au cours de la vie de la cohorte pourra être comparée aux captures annuelles de la pêcherie.

Le modèle global est divisé en cinq équations dépendant du sexe : indifférencié (I), mâle (M), femelle (F) ; et du stade : jaune (j) et argenté (a), des anguilles. Il fonctionne sur un pas mensuel. Dans ce modèle, la survie dépend de l'âge (x) en mois, de la taille (l) en mm et du temps (t) en mois.

Pour les anguilles indifférenciées :

Cette équation est valable pour une cohorte jusqu'à l'âge de différenciation sexuelle ($x \leq x^*$).

$$N_{Ij,t+1}(x,l) = N_{Ij,t}(x,l) e^{-\frac{M_t + F_t}{12}}$$

Où : N_{t+1} est le nombre d'anguilles à t+1 ; x^* l'âge de différenciation sexuelle ; N_t est le nombre d'anguilles à t ; F est le taux de mortalité par pêche dépendant de x, l, la sélectivité, l'effort et la capturabilité ; M est le taux de mortalité naturelle dépendant de x et l.

Pour les anguilles jaunes mâles et femelles :

Ces équations sont valables pour $x > x^*$. Le nombre initial de mâles et de femelles est estimé à partir du sex-ratio (68% de mâles, 32% de femelles) et du nombre d'individus à l'âge x^* .

$$N_{Mj\ t+1}(x, l) = N_{Mj\ t}(x, l)e^{-\frac{M_t+F_t}{12}} - N_{Mj\ t} \gamma_{Mj} \quad \text{pour les mâles}$$

$$N_{Fj\ t+1}(x, l) = N_{Fj\ t}(x, l)e^{-\frac{M_t+F_t}{12}} - N_{Fj\ t} \gamma_{Fj} \quad \text{pour les femelles}$$

Où : γ_{Mj} est la probabilité pour une anguille jaune mâle de s'argenter en fonction de sa taille et de la période de l'année ; γ_{Fj} est la probabilité pour une anguille jaune femelle de s'argenter en fonction de sa taille et de la période de l'année.

On considère, en effet, que le phénomène n'a lieu qu'entre septembre et novembre, et qu'il n'a pas lieu le restant de l'année. La production d'anguilles argentées est donc nulle entre décembre et août.

Pour les anguilles argentées mâles et femelles :

On considère que les anguilles argentées restent un mois dans la lagune puis émigrent de la lagune.

$$N_{Ma\ t+1}(x, l) = p_{Ma\ t}(x, l)e^{-\frac{M_t+F_t}{12}} \quad \text{pour les mâles}$$

$$N_{Fa\ t+1}(x, l) = p_{Fa\ t}(x, l)e^{-\frac{M_t+F_t}{12}} \quad \text{pour les femelles}$$

Où : $N_{Ma\ t+1}$ est l'échappement mensuel des anguilles argentées mâles ; p_{Ma} est la production mensuelle d'anguilles argentées mâles, $p_{Ma\ t} = N_{Mj\ t} \gamma_{Mj}$; $N_{Fa\ t+1}$ est l'échappement mensuel des anguilles argentées femelles ; p_{Fa} est la production mensuelle d'anguilles argentées femelles, $p_{Fa} = N_{Fj\ t} \gamma_{Fj}$.

Dans ce modèle, le résultat final est le taux d'échappement des anguilles argentées. Une fois le recrutement « validé », il sera estimé en fonction de la capturabilité des anguilles jaunes et des anguilles argentées.

A partir du modèle, deux taux d'échappement sont obtenus :

- un taux d'échappement par rapport à la biomasse d'anguilles que l'on aurait sans pression de pêche sur la lagune ($F = 0$) ;

- un taux d'échappement par rapport à la biomasse d'anguilles argentées produite par la population actuelle. Cette population actuelle est évaluée en additionnant deux estimations du modèle : la biomasse d'anguilles argentées capturées par les pêcheurs et la biomasse d'anguilles argentées s'échappant de la lagune.

V.2.2. Résultats

V.2.2.1. Capturabilité

D'après les données du mareyeur, les captures de la pêcherie s'élève à 52,350 tonnes entre novembre 2008 et octobre 2009. De plus, d'après le suivi halieutique, les anguilles argentées représentent 14,5% de la biomasse échantillonnée, les captures d'anguilles argentées de la pêcherie représenteraient alors 7,6 tonnes. Les captures d'anguilles jaunes s'établiraient donc aux alentours de 45 tonnes.

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 déterminée sur la Figure 41 à $0,0023 \text{ engin}^{-1} \text{ mois}^{-2}$.

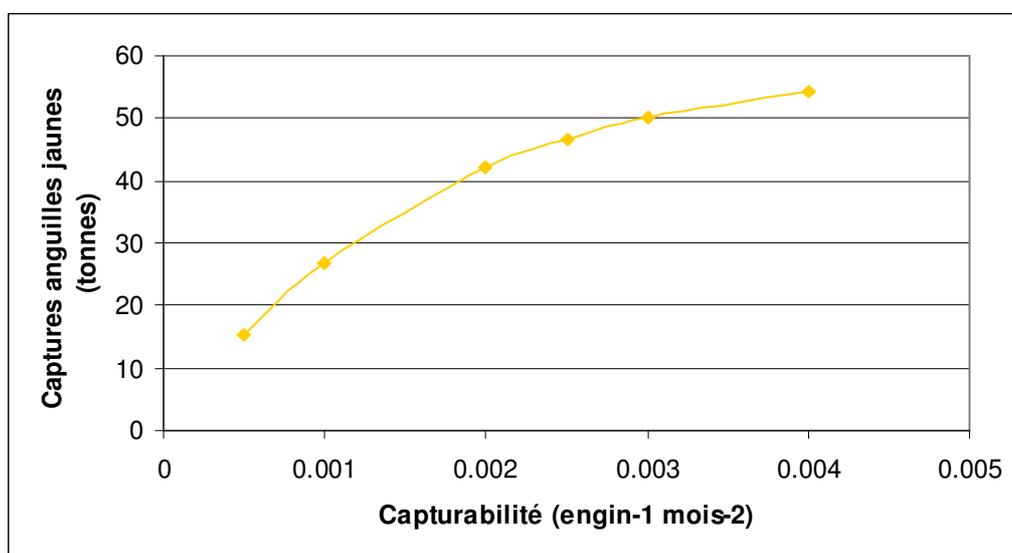


Figure 41 : Capture d'anguilles jaunes en fonction de leur capturabilité

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 $0,011 \text{ engin}^{-1} \text{ mois}^{-2}$ (Figure 42).

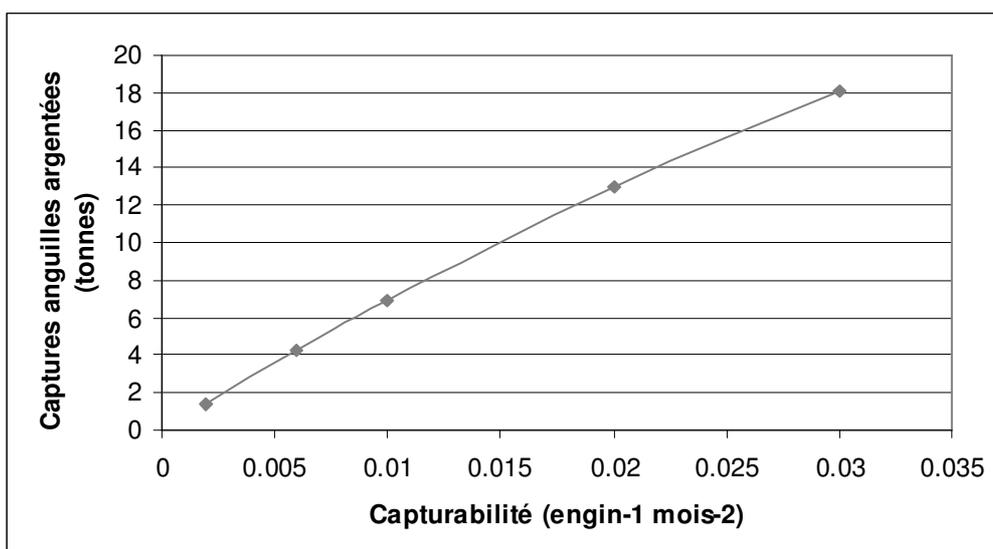


Figure 42 : Captures d'anguilles argentées en fonction de leur capturabilité

Il apparaît ainsi que la capturabilité des anguilles argentées est 5 fois plus importante que celle des anguilles jaunes.

V.2.2.2. 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 17). 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 National Anguille. La production actuelle d'anguilles argentées sur la lagune (échappement+anguilles argentées capturées) avoisine 40 tonnes. L'échappement par rapport à cette production actuelle est quant à lui d'environ 80%.

Tableau 17 : Résultat du modèle pour la situation actuelle et la situation sans pression de pêche

	Scenario sans pêche	Actuellement
input anguille	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 echappement totale (t)	88.9	32.2
Production argenté totale (t)	88.9	39.8
% biomasse échappement/pristine	100	36.2
% biomasse échappement/production actuelle	100	81

V.2.3. Discussion

Avant toute discussion des résultats du modèle, il semble important de préciser qu'ils ont été obtenus pour des données d'entrées bien particulières estimées durant l'année de l'étude. Ces résultats sont une estimation de l'état actuel par rapport aux données disponibles. Les résultats ne peuvent donc être extrapolés à des années futures. Afin de confirmer et d'affiner ces résultats, plusieurs années de données seront nécessaires.

Deux valeurs de capturabilité, respectivement $0,0023 \text{ engin}^{-1} \text{ mois}^{-2}$ pour les anguilles jaunes et 0,011 pour les anguilles argentées, ont été utilisées afin de tenir compte des différences comportementales entre ces deux stades contrairement au modèle Camargue (Bevacqua *et al.*, 2007). Bevacqua (2008) utilise cependant deux valeurs de capturabilité : 0,00022 pour les anguilles jaunes et 0,017 pour les anguilles argentées. La capturabilité des anguilles jaunes sur l'étang de l'Or apparaît donc dix fois supérieure à celle de Camargue alors que celle des anguilles argentées est assez semblable. Cette différence de capturabilité pour les anguilles jaunes peut-être en partie expliquée par le phénomène de malaïgue (crise dystrophique du milieu), présent sur l'étang de l'Or et absent en Camargue, qui induit des déplacements forcés des anguilles jaunes les rendant plus vulnérables aux engins de pêches.

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.

Par ces résultats, on montre donc qu'il faut être très prudent dans l'estimation de l'échappement. L'échappement mesuré actuellement sur les hydrosystèmes exploités n'est donc pas représentatif de l'échappement par rapport à la biomasse sans pêche mais par rapport à une production actuelle. Dans toute tentative d'estimation de l'échappement au sens du règlement européen n°1100/2007, il faudra donc estimer une biomasse « pristine » servant de base aux calculs, cette estimation nécessitant de nombreuses données et une application pour chaque site exploité. On se rend donc bien compte que cet objectif est peut être trop ambitieux et coûteux.

Synthèse

Le modèle fonctionne selon un pas de temps mensuel.

La capturabilité des anguilles jaunes est évaluée à $0.0023 \text{ engin}^{-1}\text{mois}^{-2}$ soit dix fois plus qu'en Camargue, sans doute à cause des malaigues qui entraîne des déplacements de population.

La capturabilité des anguilles argentées, $0.011 \text{ engin}^{-1}\text{mois}^{-2}$, est plus importante que celle des anguilles jaunes.

La biomasse d'anguilles argentées pourrait atteindre 88,9 tonnes par an sans pression de pêche.

Le modèle estime un échappement actuel de 81% soit 32,2 tonnes.

L'échappement par rapport à la biomasse pristine est évalué à 36 %, ce qui est proche de l'objectif réglementaire de 40% du Plan National Anguille.

V.3. Validation du modèle par l'expérimentation : estimation de l'échappement actuel, du stock et du taux d'exploitation des anguilles argentées.

Au niveau français, très peu de données historiques sont disponibles concernant le taux d'échappement des géniteurs. Sur le pourtour méditerranéen, seule l'estimation du taux d'échappement de la lagune de Bages-Sigean a déjà été réalisée *in situ* par une opération de marquage/recapture (Amilhat *et al.*, 2008). Cette étude a ainsi déterminé un taux d'échappement par rapport à la production actuelle d'environ 80%.

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.

V.3.1. Matériel et méthodes

V.3.1.1. Opération de marquage

Pour cette opération, des 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, la première du 12 au 16 octobre, la deuxième du 26 au 30 octobre, et la troisième 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 43a). Les Pit-Tags sont des marques semi passives qui délivrent 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 à l'aide d'un trocart dans la cavité viscérale des anguilles après avoir été endormies avec de l'eugénol (figure 43b). Après la pose de chaque marque, le matériel a été désinfecté à l'iode afin d'éviter toute transmission de maladie entre les individus.

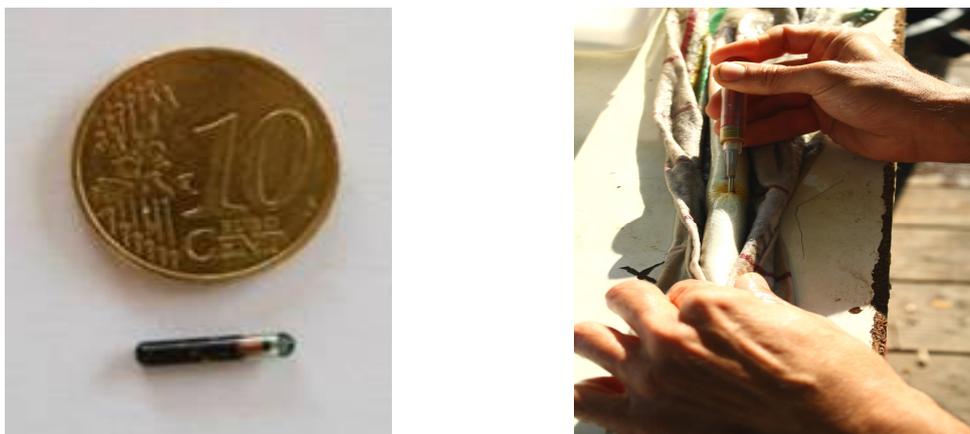


Figure 43 : a) marquage d'une anguille au Pit Tag, b) Pit Tag (source: Fish Pass)

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).

Chaque anguille marquée a été mesurée. 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. La première remise à l'eau a été effectuée le 15/10/09 pour des anguilles du lot 1 (92/207 individus).

Un des inconvénients de la méthode de marquage par Pit-Tag est la possibilité de perte de marque et de mortalité. Un test a donc été réalisé pour évaluer le taux de perte de marque et la mortalité potentielle. Pour cela, 55 anguilles ont été placées dans une couve (bourriche de stockage d'anguille en maille 6 mm) directement dans le milieu naturel (Canal de Lunel) pendant une durée de 15 jours. Au terme des 15 jours, chaque anguille a été passée au lecteur de marque, ceci afin d'évaluer un taux de perte de marque et de corriger les résultats finaux de ce biais. Une mesure du taux de mortalité a également été effectuée. Les anguilles ont ensuite été relâchées dans la lagune.

V.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 capéchade libre). Toutes les anguilles capturées sur l'Etang de l'Or sont achetées par le mareyeur.

Le contrôle de la recapture sera effectué 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 supérieures 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 44). Les anguilles recapturées suivent un circuit fermé de la lagune à l'antenne permettant de quantifier exactement les recaptures.



Figure 44 : Dispositif d'enregistrement des recaptures sur le trieur du mareyeur (source: Fish Pass)

Le bon fonctionnement de l'appareil enregistreur a été vérifié de manière hebdomadaire à l'aide de Pit-Tags témoins par l'association MRM. Les données enregistrées ont été récupérées via un ordinateur lors de la fin de l'opération.

V.3.1.3. Estimation de l'échappement, du stock et du taux d'exploitation des anguilles argentées

Dans cette étude, l'opération de marquage/recapture s'est déroulée en plusieurs strates temporelles. Afin d'analyser ce type de données, le logiciel SPAS (Stratified Population Analysis System) (Arnason *et al.*, 1996) a été utilisé comme pour l'étude réalisée sur Bages-Sigean (Amilhat *et al.*, 2008). La taille de la population peut ainsi être déterminée par l'estimateur groupé de Petersen sous certaines hypothèses : pas de perte de marques pendant la durée de l'étude, probabilité de capture indépendante du marquage, probabilité de recapture des anguilles marquées supérieure à 0, population fermée. Cette dernière hypothèse n'est que partiellement respectée, la lagune n'étant pas complètement barrée par les engins de pêche.

Les captures totales de la pêcherie ont pu être obtenues auprès du mareyeur pour les mois d'octobre, novembre et décembre. Cependant, ces captures ne sont pas triées et comprennent aussi bien des anguilles argentées que des anguilles jaunes. Afin d'évaluer la part d'anguilles argentées dans les captures totales, un pourcentage d'anguilles argentées (en biomasse) dans les captures des pêcheurs a été mesuré plusieurs fois par mois (Annexe 15). Une moyenne des pourcentages de chaque mois a ainsi permis d'évaluer la biomasse d'anguilles argentées capturées chaque mois. Ces captures en biomasse ont été converties en utilisant les poids moyens individuels estimés par la courbe taille-poids.

Le taux d'échappement a été calculé par soustraction du nombre total d'individus capturés au nombre d'individus estimés dans la population.

Le taux d'exploitation des anguilles argentées a été obtenu en divisant le nombre d'individus capturés par le nombre d'individus estimés dans la population.

V.3.2. Résultats

V.3.2.1. Test de marque et de mortalité

Sur les 55 anguilles marquées, nous n'avons observé aucune mortalité après les 15 jours de stabulation dans la couve. De plus, chaque anguille disposait de sa marque. Il y a donc, à la vue de ce test, un taux de mortalité et de perte de marque de 0%. Un examen visuel de chaque anguille a montré que 54 anguilles avaient déjà totalement cicatrisé et qu'une seule présentait de légères traces d'inflammation (cercle rose autour de la cicatrice).

V.3.2.2. 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 45) 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%.

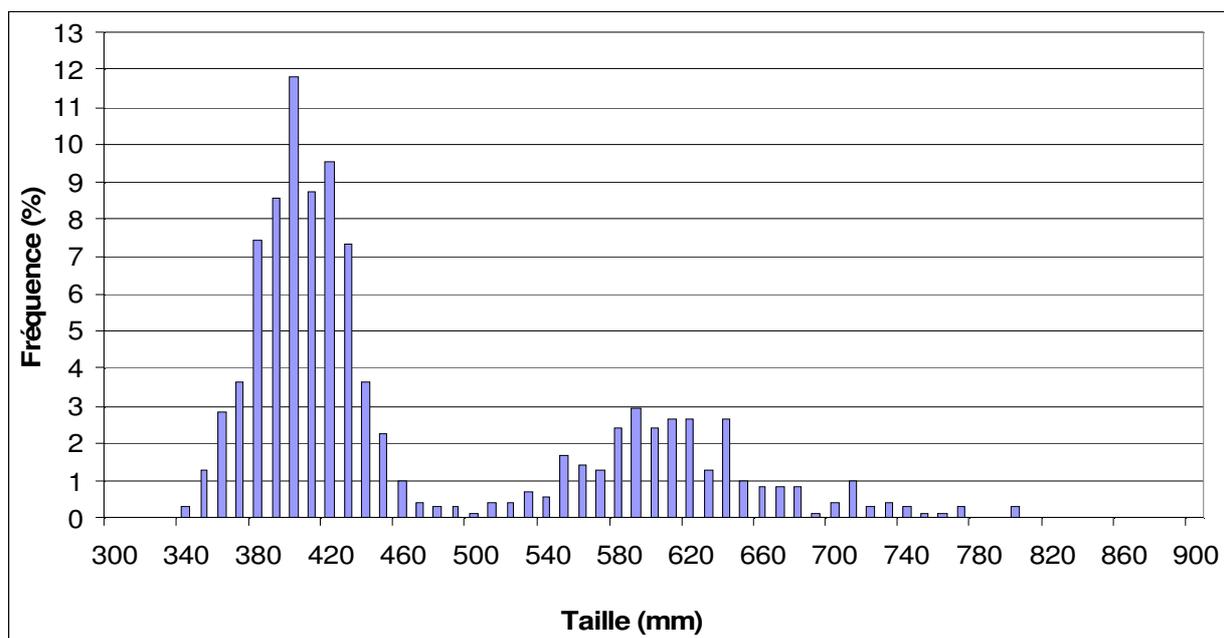


Figure 45 : Structure en taille des individus marqués (N=711)

La courbe taille-poids réalisée sur un échantillon de 141 individus (Figure 46) a permis de déterminer un poids moyen de 232g.

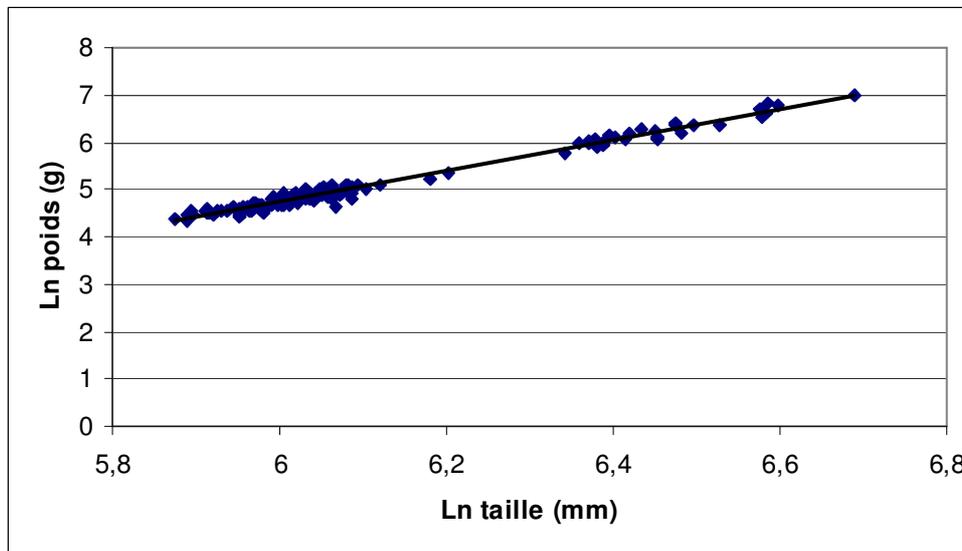


Figure 46 : Relation taille-poids des individus marqués (N=141) ($y = 3.24x - 14.7$, $r^2 = 0.98$, $p < 0,001$)

V.3.2.3. Recapture

Les recaptures ont été effectuées du 16 octobre au 23 décembre (Figure 47). 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. Un pic est visible après la remise à l'eau de chaque lot : le 16/10/09 pour le lot 1, entre le 6/11 et le 12/11 pour le lot 2, et le 16/11 pour le lot 3. Certains des individus se font donc capturer très peu de temps après avoir été relâchés.

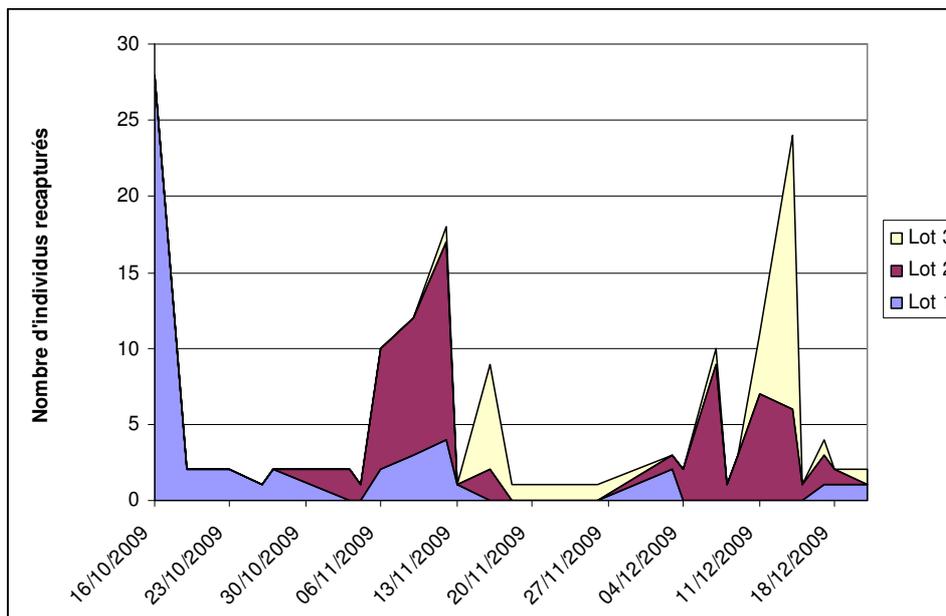


Figure 47 : Recapture des individus marqués de chaque lot en fonction du temps

V.3.2.4. 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 18). Les captures totales d'anguilles de la pêche 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 18 : Nombre d'anguilles marquées/recapturées et captures de la pêche entre octobre et décembre

		Nombre individus marqués	Recapture			
			Octobre	Novembre	Décembre	Total
Date marquage	15/10/2009	207	35	10	2	47
	29/10/2009	330	0	35	32	67
	14/11/2009	174	0	10	25	35
Total		711	35	55	59	149
Capture pêche 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 19), 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 19 : Estimation de la population d'anguilles argentées, de son taux d'exploitation et de son 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]

V.3.2.5. Comparaison des résultats du modèle avec les résultats des marquages recaptures

Les valeurs obtenues avec le modèle apparaissent assez proches des valeurs observées sur le terrain (Tableau 20). 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 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 proches mais significativement différents (KhiDeux = 52,49, df=1, p<0,001).

Tableau 20 : Comparaison entre les valeurs du modèle et celle du marquage/recapture

	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

V.3.3. Discussion

Le test de perte de marque et de mortalité a permis de surligner la fiabilité du marquage avec aucune marque perdue et aucune mortalité. Ce test de 15 jours aurait cependant dû être prolongé durant toute la durée de l'étude mais il apparaît difficile de maintenir des individus migrants en captivité pendant une longue durée sans avoir de conséquence sur leur métabolisme et leur état de santé. Des études semblables ont été réalisées sur le Frémur (Fish Pass, 2009, non publié) avec 100% de rétention et 1,8% de mortalité ainsi que sur l'Anguille américaine par Morrison et Secor (2007) et Zimmerman et Welsh (2008) avec des taux de rétention respectivement de 89% et 100% ; ce qui confirme la crédibilité de ce type de marquage.

La structure en taille des individus marqués montre deux modes très prononcés. Ce type de structure bimodale a déjà été établie sur la lagune de Comacchio (De Leo et Gatto, 1995) et sur le Frémur (Feunteun *et al.*, 2000 ; Acou, 2006). Les deux modes ont permis d'estimer un sex ratio de 68% de mâles et 32% de femelles. Comme sur la lagune de Bages Sigean (Amilhat *et al.*, 2008), la population apparaît dominée par les mâles.

Cette opération de marquage/recapture, réalisée sur l'étang de l'Or, avec l'utilisation de Pit Tag et d'une antenne de comptage automatique des recaptures chez le mareyeur est une première au niveau national. Elle n'aurait été possible sans la participation du mareyeur et de certains pêcheurs. Elle a permis de récolter des résultats très intéressants avec une recapture de 149 anguilles sur les 711 marquées. Il a ainsi été possible d'estimer une abondance de 185 185 individus, un taux d'échappement de 78,9% et un taux d'exploitation de 21,1%. L'abondance estimée (13,55 kg/ha) est très inférieure à celle de la lagune de Bages-Sigean, environ 1 120 000 anguilles (30 kg/ha). Cependant, le taux d'échappement de 80% mesuré sur cette lagune est très proche de celui de l'étang de l'Or (78,9%). Ces deux études montrent donc un échappement actuel similaire dans deux pêcheries et lagunes différentes. Mais, ces deux taux d'échappement ne correspondent pas à un taux d'échappement par rapport à la biomasse pristine...

La méthodologie employée dans cette étude utilise un marquage interne par Pit Tag, presque invisible, plutôt qu'un marquage colorimétrique externe, ce qui évite l'intervention des pêcheurs dans le décomptage des recaptures. De plus, les recaptures sont enregistrées de manière automatique par une antenne permettant un comptage de toutes les anguilles recapturées marquées. Deux biais peuvent cependant être soulignés. Tout d'abord un biais temporel, des dévalaisons étant encore possibles après la fin de l'étude. Certaines anguilles argentées mettent parfois plusieurs années avant de migrer (Feunteun *et al.*, 2000 ; Crivelli com. Pers.) même si cela ne semble pas être le cas sur les petits bassins versants (Acou *et al.*, 2009). Ensuite, nous avons considéré la population fermée alors qu'il n'y a pas de barrage total de la lagune, des émigrations ou immigrations restent donc possibles, ce qui peut biaiser l'estimation de (surestimation, sous estimation selon les cas) l'abondance...

Cependant, les résultats obtenus avec le modèle de dynamique de la population et l'opération de marquage/recapture sont très proches. Ce qui permet dans une certaine mesure de valider les résultats du modèle ainsi que l'estimation du recrutement. Une plus grande précision du modèle pourrait cependant être atteinte avec des données complémentaires. Il semblerait également pertinent de compléter la courbe taille-poids utilisée dans le modèle avec les données issues de l'opération de marquage afin d'améliorer la relation pour les anguilles de grandes tailles, absentes du premier échantillon. Néanmoins, le couplage de ces deux méthodes d'estimation semble ouvrir des perspectives intéressantes dans l'évaluation de l'échappement actuel mais aussi de l'échappement par rapport à la biomasse pristine.

Synthèse

L'opération de marquage/recapture mise en place, avec Pit Tag et dispositif de relecture automatique chez un mareyeur, est une première au niveau national.

Le sex ratio des anguilles argentées est évalué à 68% de mâles et 32% de femelles. Le poids moyen d'une anguille argentée est estimé à 232g pour l'étang de l'Or.

Les recaptures apparaissent sous formes de pics soulignant que la dévalaison est dépendante des conditions environnementales. Certaines anguilles ont été recapturées plus de deux mois après avoir été marquées ce qui montre un temps de transit dans la lagune parfois assez long.

L'opération de capture-marquage-recapture (CMR) a permis d'estimer la population d'anguilles argentées à 185 185 individus avec un taux d'échappement de 78,9% et un taux d'exploitation de 21.1%

Les résultats du CMR sont très proches de ceux du modèle et permettent, dans une certaine mesure, de le valider.

VI. Gestion de la pêche

L'expérience acquise dans le monde entier dans les pêcheries artisanales ou industrielles a montré que les systèmes d'accès libre ou très peu réglementé peuvent avoir des conséquences importantes sur la ressource. En l'absence de tout contrôle, les systèmes d'accès libre aboutissent systématiquement à une surexploitation des ressources et une diminution des revenus, cette situation est communément appelée « tragédie des communs ». Elle est caractérisée par une course à l'exploitation qui fait que tous les pêcheurs s'efforcent de capturer la plus grande part possible de la ressource avant que leurs concurrents ne le fassent. Pour assurer une pêche rentable et responsable, il est donc essentiel de réglementer et de contrôler l'accès et l'exploitation de la ressource (FAO, 1999).

Cependant, une bonne gestion des pêcheries nécessite des données sur plusieurs années. Sur les stocks de poissons marins, un minimum de 5 années de données est souvent requis. Dans le cas de l'étang de l'Or, très peu de données sont disponibles. Il est donc impératif de recueillir des données supplémentaires afin de valider les premiers chiffres avancés dans ce rapport.

Les pêcheries sont conditionnées par la présence de poissons. S'il n'y a plus de poissons, la pêche est vouée à disparaître. Il est donc important de protéger les espèces cibles mais aussi leurs milieux de vie afin d'avoir une pêche durable. Sur l'étang de l'Or, l'échappement estimé sur ne correspond pas à l'objectif de 40% fixé par le règlement européen n°1100/2007, la réglementation est peu appliquée, le milieu est dégradé...Des mesures de gestion locales dans ce bassin versant, aussi bien sur la pêche que sur le milieu, sont nécessaires. Elles contribueront à la protection de l'espèce au niveau européen.

VI.1. Analyse de la pêche

Afin d'instaurer des outils de gestion cohérents et efficaces, il convient tout d'abord de comprendre et d'analyser les agissements des pêcheurs parfois antagonistes à une gestion durable de la ressource afin de mieux cerner les points clés et les failles du système actuel.

Pourquoi les pêcheurs ciblent les petites anguilles ?

En effet, les pêcheurs vendent leurs anguilles au poids, il serait donc plus intéressant pour eux de pêcher des individus de plus grande taille avec un poids individuel beaucoup plus important. Le nombre d'individus pêchés serait plus faible en nombre mais plus important en biomasse.

En fait, la pêche de l'anguille sur l'étang de l'Or est une activité traditionnelle. La pêche est spécialisée depuis plusieurs décennies sur la filière des petites anguilles (Cogepomi, 1999). Sur la façade méditerranéenne, les entreprises de mareyage de l'Anguille (3) sont en position de

force par rapport aux pêcheurs. Elles fixent donc les prix et les caractéristiques des produits (Cogepomi, 1999). Sur l'étang de l'Or, les pêcheurs vendent toute leur production à une seule entreprise de mareyage. Celle-ci semble tournée vers l'export de petites anguilles à destination de l'Italie pour l'élevage. De par cette spécialisation, elle peut donc dans une certaine mesure favoriser l'exploitation des anguilles de petites tailles.

De plus, le savoir et la technique se transmettent entre les générations. Les pêcheurs utilisent le même type d'engin depuis des dizaines d'années et ont toujours visé plusieurs espèces notamment l'anguille et les joëls. Pour la capture des joëls, un maillage de 6 mm est nécessaire. Mais en ciblant en même temps ces deux espèces, les pêcheurs sélectionnent les anguilles de petites tailles.

Pourquoi les pêcheurs ne respectent pas la réglementation ?

Ensuite, on peut s'interroger sur les raisons pour lesquelles les pêcheurs ne respectent pas la réglementation en vigueur (notamment taille des mailles)

Il apparaît que les pêcheurs sont très peu contrôlés par les autorités compétentes (Affaires Maritimes, ONEMA). Ceci peut être expliqué par le fait que la lagune dépend des affaires maritimes mais se situe en milieu continental et que la pêcherie est de petite taille (6 à 10 pêcheurs).

De plus, ils sont difficilement contrôlables. Les pêcheurs utilisent des engins passifs. Ils ne les relèvent que ponctuellement, il est donc difficile de les contrôler sur le fait. De plus, les engins ne sont pas identifiés nominativement, il est donc difficile de savoir à qui appartient l'engin de pêche.

Enfin, ils utilisent un maillage peu sélectif (6 mm) et non réglementaire pour l'anguille (réglementairement 10 mm). Ceci s'explique par l'utilisation d'un seul type d'engin pour des espèces cibles très différentes (anguilles et joëls principalement).

Cette première analyse souligne donc un contexte difficile pour la mise en place d'un processus de gestion. Ces contraintes sont nombreuses mais vont servir de base à la construction des outils de gestion.

VI.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... »

Les captures réalisées pendant une période donnée dépendront de la concentration du poisson dans la zone de pêche, de l'effort de pêche déployé pendant cette période et de l'efficacité des engins de pêches utilisés. Cette corrélation montre qu'on peut utiliser diverses méthodes pour réguler les prises totales et donc la mortalité par pêche infligée au stock (FAO, 1999). Dans cette partie, les différentes méthodes de régulation ainsi que leurs conséquences en termes de capture et d'échappement vont être présentées.

Différents *scenarii* de gestion ont été simulés en faisant varier différents paramètres : maillage, effort, taille minimale de capture... Les résultats obtenus sont totalement dépendant des entrées du modèle : recrutement, capturabilité, sex ratio qui restent constants dans toutes les simulations de gestion. Ils sont donc réalisés à partir des caractéristiques actuelles de la pêcherie et ne tiennent pas compte des fluctuations possibles du recrutement et du sex ratio dans les années futures. Ils permettent cependant de rendre compte de l'effet de chacune des mesures sur les captures totales de la pêcherie et de leur efficacité par rapport à l'échappement.

VI.2.1. Le contrôle des moyens de production

VI.2.1.1. La sélectivité des engins

- Étude du maillage

La sélectivité des engins est principalement due 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 (6 mm 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. Ceci a plusieurs conséquences sur les captures :

Cela permet de décaler vers la droite le diagramme d'exploitation de la population sur la lagune. Les pêcheurs attraperont moins d'anguilles mais avec un poids individuel beaucoup plus important.

Plus d'individus arriveraient à l'âge subadulte, l'échappement serait donc augmenté.

Cette augmentation de la maille diminuerait les captures sur l'ensemble de l'année et non pas ponctuellement comme la réduction du temps de pêche.

Une simulation des captures et de l'échappement en fonction du maillage des engins (Figure 48) a été réalisée avec le modèle utilisé précédemment (capturabilité des anguilles jaune de $0,0023 \text{ engin}^{-1}/\text{mois}^{-2}$ et capturabilité des anguilles argentées de $0,011 \text{ engin}^{-1}/\text{mois}^{-2}$).

Les résultats (Figure 48 et Annexe 16) montrent l'inefficacité actuelle de la pêche (point bleu). Les captures sont assez importantes (environ 53 tonnes) mais l'échappement est inférieur au seuil des 40%. Tous 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%.

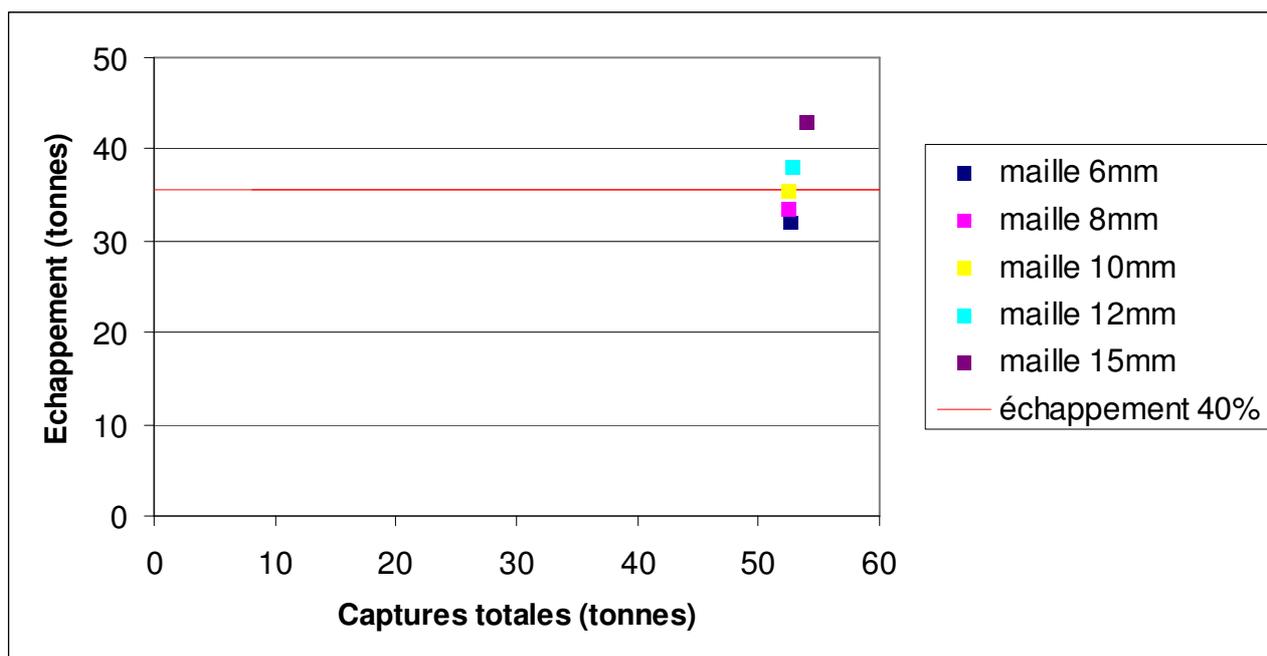


Figure 48 : Captures totales (anguilles jaunes et argentées) et échappement en fonction du maillage.

Cette mesure de gestion semble très intéressante à plusieurs points de vue. Tout d'abord, elle ne diminuerait pas les captures en biomasse pour les pêcheurs et augmenterait l'échappement de géniteurs. Ensuite, elle permettrait aux pêcheurs de respecter la réglementation française en adoptant un maillage supérieure ou égal à 10 mm. De plus, l'application de cette mesure serait facilement contrôlable sur le terrain par les autorités.

Cependant, la mise en place de cette mesure nécessite un changement de maillage sur tout le parc d'engin de la pêche, ce qui peut présenter un coût substantiel pour les pêcheurs. De plus, la première année de mise en place, les captures peuvent être plus faibles qu'escomptées. En effet, une période de latence est probable le temps que les anguilles aient une croissance suffisante pour être de nouveau capturables. Enfin, le changement de maille ne permettra plus de capturer certaines espèces comme les joëls, source de revenu complémentaire pour les pêcheurs. De plus, les pêcheurs de l'étang de l'Or sont "spécialisés" dans la capture de petites anguilles. Celles-ci étant principalement destinées à l'aquaculture italienne. Avec le changement de maille, les anguilles capturées auront des tailles supérieures et ne pourront plus être valorisées vers

l'aquaculture, ce qui pourrait poser des problèmes de débouché. Des aides financières et techniques doivent donc être envisagées pour faciliter ces changements.

- Modifications des engins de pêche

Actuellement, avec les capéchades de maille 6 mm, les pêcheurs capturent principalement de l'anguille et des joëls. Dans le cas d'une augmentation de la maille des engins, les joëls ne seraient plus capturés, ce qui ferait perdre un revenu complémentaire pour les pêcheurs.

Le Joël et l'Anguille sont des espèces très différentes. Le joël est une espèce pélagique et vit donc dans la colonne d'eau. L'Anguille est une espèce benthique, elle vit sur le fond et peut s'enfouir dans le substrat. Les caractéristiques propres à ces deux espèces peuvent permettre la confection d'engins sélectifs. Ceci permettrait de capturer les poissons présentant les caractéristiques voulues. Ce type d'engins est très utilisé en mer notamment pour permettre un échappement de poisson juvénile ou de tortue marine.

Un bon engin sélectif dans le cas de la pêcherie de l'étang de l'Or devrait permettre de capturer les joëls et les grosses anguilles, tout en laissant échapper les petites anguilles (taille inférieure à 23-25 cm). Pour cela, il semblerait intéressant de changer la maille sur une petite partie de l'engin en fin de queue sur la partie inférieure. Les petites anguilles présentes sur le fond pourraient ainsi s'échapper, et les joëls présents dans la partie supérieure de l'engin resteraient prisonniers. Plusieurs transformations sont envisageables (Figure 49). Les mailles de couleur noires resteraient en 6 mm (maillage actuel) et les mailles de couleur rouge seraient de mailles supérieures (10, 12 ou 15 mm).

Ce type d'engin sélectif doit cependant être mis en place avec les pêcheurs, qui ont une assez bonne connaissance de leurs engins et du comportement des poissons à l'intérieur. Des engins expérimentaux pourraient ainsi être fabriqués puis validés *in situ*, en comparant par exemple le nombre et la taille des individus capturés de chaque espèce entre engins expérimentaux et engins témoins. Cette phase de validation devra être réalisée avec un ou plusieurs pêcheurs, ce qui permettra de valider ou non, et de mieux le faire accepter à l'ensemble de la pêcherie.

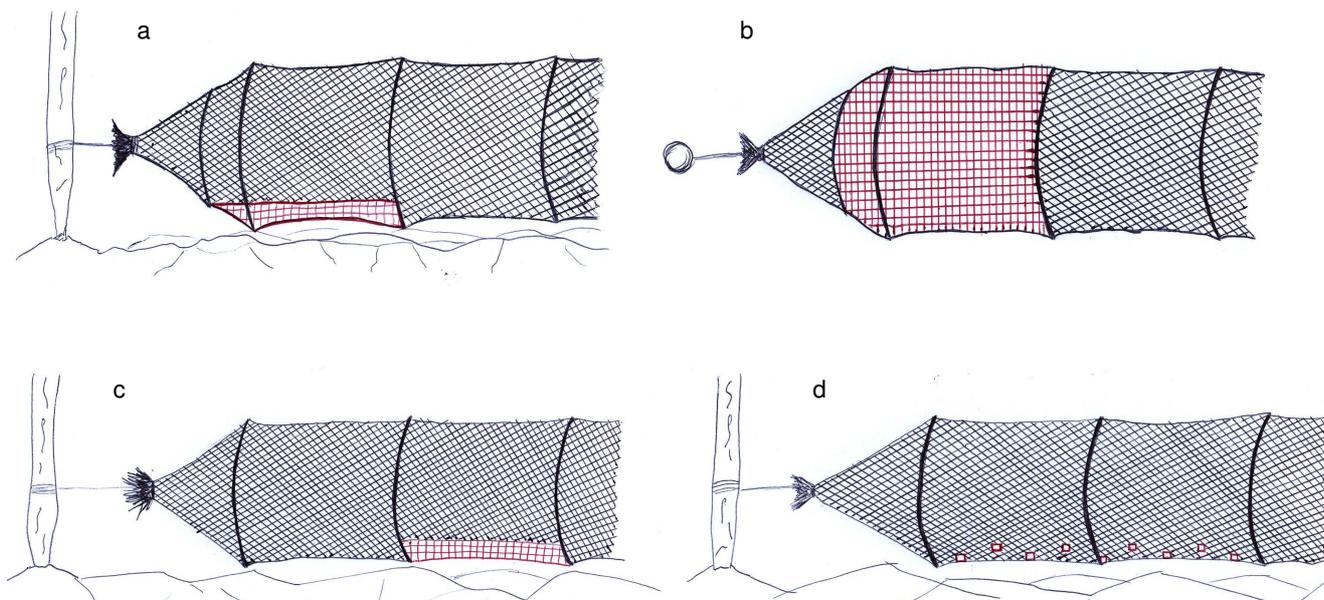


Figure 49 : Exemples de modification des engins de pêche pour améliorer leur sélectivité, (a,c,d vue latérale ; b vue de dessous)

VI.2.1.2. Taille minimale

Actuellement, sur tout le pourtour méditerranéen, la taille minimale de capture des anguilles est de 12 cm. Cette réglementation est respectée sur l'étang de l'Or, le maillage des engins ne permettant pas de capturer des individus de cette taille. Le COGEPOMI a déjà recommandé dans le plan de gestion des poissons migrateurs une taille minimale de 25 cm mais elle n'est pas appliquée.

La pression de pêche sur les petites anguilles de l'étang de l'Or 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 50 et Annexe 17), le seuil d'échappement est pratiquement respecté (39,9%) pour des captures (en biomasse) assez semblables. Une taille minimale comprise entre 230 et 280 mm permettrait d'augmenter sensiblement l'échappement mais aussi les captures des pêcheurs.

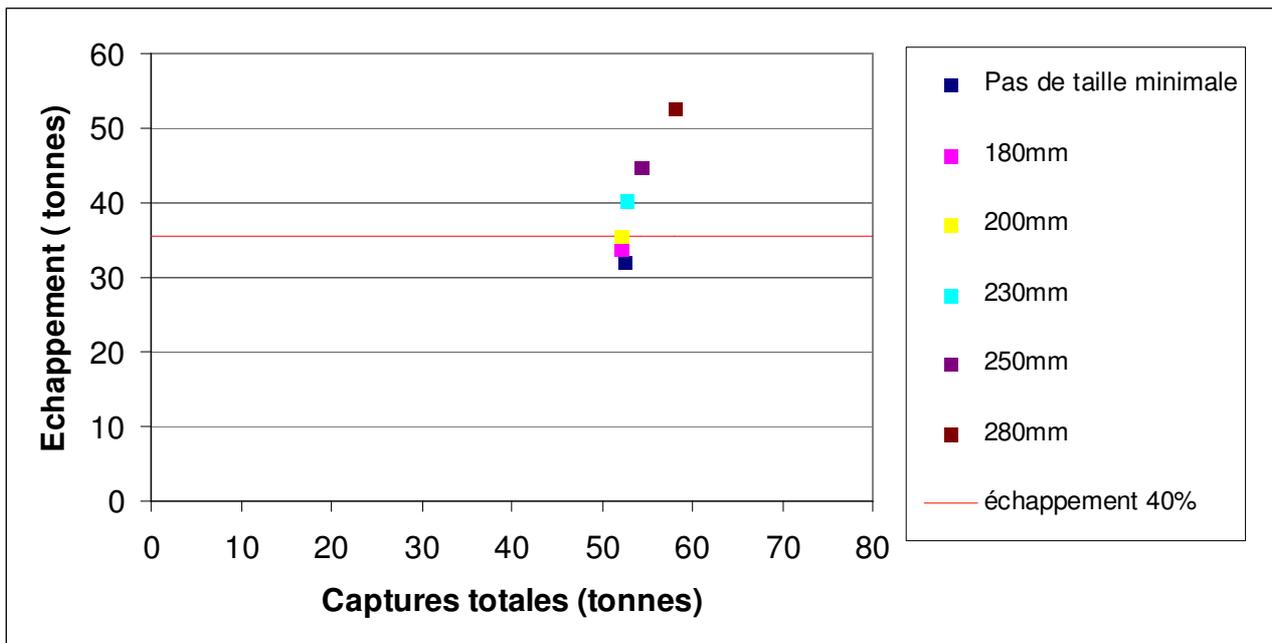


Figure 50 : Captures totales (anguilles jaunes et argentées) et de l'échappement en fonction de la taille minimale de capture.

Cette mesure présente l'avantage de ne pas modifier les engins de pêche. Il n'y a donc aucun coût matériel. De plus, elle permet de continuer la pêche des joëls, préservant ainsi ce revenu complémentaire pour les pêcheurs. Cependant, elle apparaît plus coûteuse en temps notamment par le tri des captures. Le contrôle de cette mesure semble difficile sur l'eau, mais pourrait être effectué au moment du débarquement des captures en prélevant et mesurant un échantillon des captures. Les points de débarquement étant multiple et dispersé, il conviendrait ainsi de mettre en place une zone de débarquement unique pour faciliter les contrôles comme le préconise le Plan Nationale Anguille.

VI.2.1.3. Régulation de l'effort de pêche

La régulation de l'effort de pêche est la principale mesure du Plan National Anguille. Il est prévu des objectifs de diminution de la mortalité par pêche (effort) de 60% d'ici 2015...

- Diminution de l'effort mensuel

Afin de diminuer l'effort, plusieurs actions sont possibles : réduction du nombre d'engins par pêcheur, réduction du nombre de pêcheurs, 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 34.

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 51 et de l'Annexe 18 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'anguille.

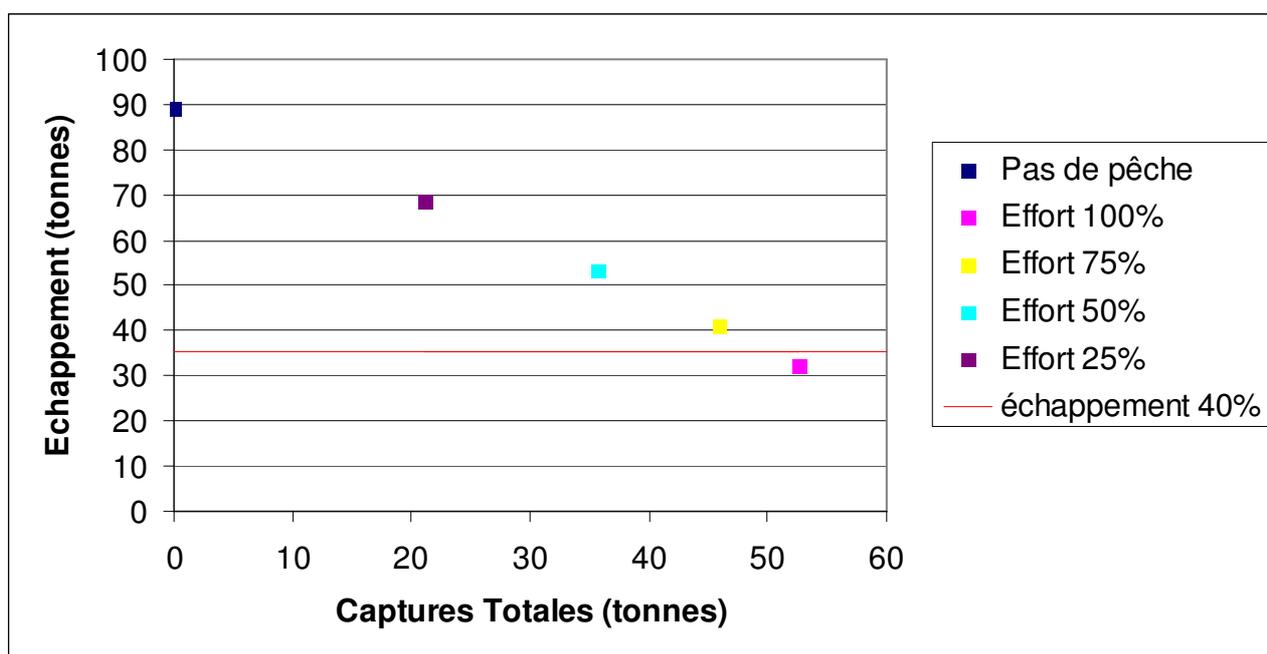


Figure 51 : Echappement (tonnes) en fonction des captures de la pêcherie et de l'Effort de pêche.

- Diminution de l'effort par des fermetures saisonnières de la pêcherie

Le Plan National Anguille a instauré des périodes de fermetures ponctuelles de la pêcherie du 1^{er} janvier au 28 février puis du 15 juillet au 15 août pour l'anguille jaune, et du 16 février au 14 septembre pour l'anguille argentée. Celles-ci ne semblent pas être respectées sur l'étang de l'Or. Cependant, même si elles l'étaient, des incertitudes peuvent être soulevées sur leur efficacité. En effet, si l'on se réfère à la Figure 19, on peut remarquer que les périodes de fermeture de l'anguille jaune sont effectives au moment où les captures sont les plus faibles. Pour les anguilles argentées, il est reconnu que la dévalaison a lieu majoritairement entre septembre et décembre (Langon et Dartiguelongue, 1997 ; Gosset *et al.*, 2000), la fermeture de la pêche du 16 février au 14 septembre n'a donc que très peu d'effet bénéfique sur cette fraction de la population.

Ensuite, comme dit précédemment, les captures d'anguilles sont très variables par leur dépendance aux conditions météorologiques. Il paraît donc hasardeux de fixer des périodes de fermetures courtes, comme celle d'1 mois entre le 15 juillet et le 15 août, qui seront certaines années efficaces et d'autres non suivant les conditions climatiques du moment.

Pour avoir un effet positif sur le stock d'anguille, les périodes de fermeture doivent être d'assez longue durée et pendant des périodes où l'espèce est la plus vulnérable. Dans le cas de l'anguille sur l'étang de l'Or, ces périodes se situent pendant les crises de malaïgue principalement entre juin et août pour les anguilles jaunes, et pendant la dévalaison entre septembre et décembre.

La Figure 52 et l'Annexe 19 montrent les effets de fermetures trimestrielles. Il apparaît qu'une fermeture hivernale entre janvier et mars aurait très peu d'effet sur la pêche mais permettrait tout juste d'atteindre l'échappement de 40%. Les fermetures estivales (J-A-S) et automnales (O-N-D) permettraient un échappement plus important et diminueraient les captures des pêcheurs.

Le contrôle de ce type de mesure pourrait être facilement réalisé par une présence sur le terrain.

Cependant, d'un point de vue économique, ce type de mesure peut perturber le système commercial et la filière en entraînant une discontinuité de l'offre en anguille durant toute cette période (Beddington et Rettig, 1984). Cette mesure de gestion conduirait également à mettre au chômage technique les pêcheurs durant 3 mois consécutifs pouvant entraîner alors des problèmes d'ordres sociaux ou financiers.

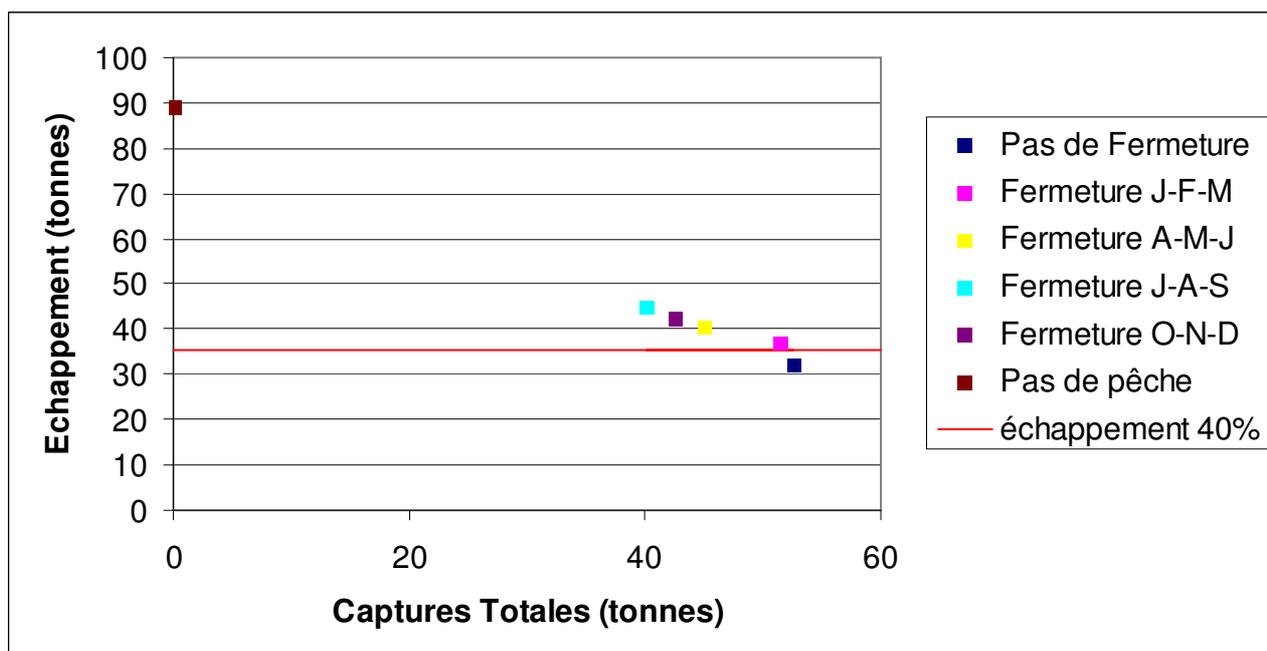


Figure 52 : Echappement (tonnes) et captures totales (tonnes) en fonction des fermetures saisonnières

- Diminution de l'effort par réguler de l'accès à la pêche

La régulation du nombre de pêcheurs maximum sur la pêche peut se faire en limitant le nombre de licences. Ainsi, si la réglementation est respectée l'effort ne devrait pas dépasser un certain seuil notamment durant les périodes de forte capture. En effet, des fluctuations importantes du nombre de pêcheurs sont visibles sur l'étang de l'Or, avec 3 pêcheurs actifs en janvier 2009 et 10 en novembre 2009.

La limitation du nombre de pêcheur à 5 ou moins (Figure 53 et Annexe 20) permettrait de dépasser le seuil d'échappement de 40%, diminuerait les captures totales de la pêche mais permettrait des captures plus importantes par pêcheur.

La régulation du nombre de pêcheurs peut être réalisée de deux façons : la première, extrême, en supprimant des licences de pêche, la deuxième, plus douce, en ne redistribuant pas les licences après un départ en retraite. Si l'on applique la suppression de licence un problème se pose toujours sur l'objectivité des critères entraînant la suppression... Dans ces conditions, la non redistribution de licence semble plus adaptée pour éviter les conflits.

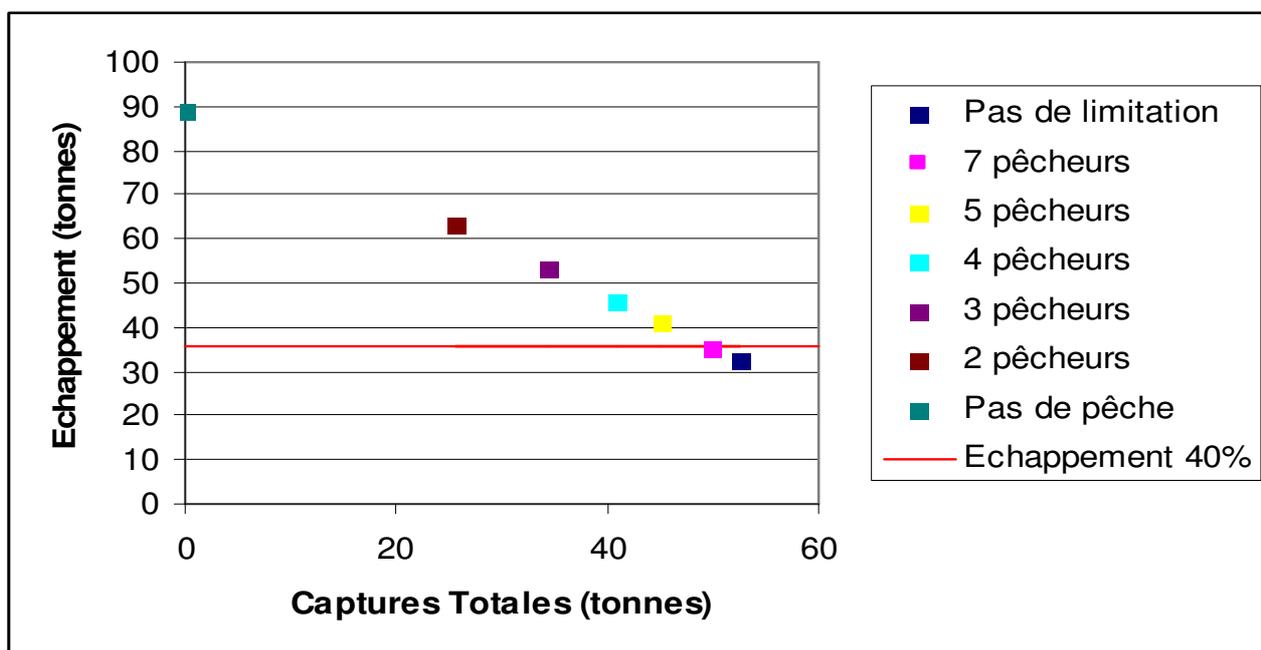


Figure 53 : Echappement (tonnes) en fonction des Captures Totales (tonnes) et du nombre maximal de pêcheurs autorisé à pêcher sur la lagune

VI.2.2. Le contrôle de la production

Le contrôle de la production permet d'évaluer et de faire respecter un volume optimal de capture pouvant être prélevé sur un stock dans le but d'une pêche durable. C'est un moyen de contourner les problèmes de respect de la réglementation sur les moyens de production (effort, maillage...)

L'anguille appartient à un stock commun à de nombreux pays d'Europe et du pourtour méditerranéen. Une gestion de quotas globaux à cette échelle est difficilement envisageable. Il semble plus pertinent de travailler à une échelle locale en fonction des caractéristiques et de la production propres à chaque bassin versant.

Sur l'étang de l'Or, un quota global pour l'ensemble de la pêcherie apparaît difficile à mettre en place du fait de la course aux captures que cela peut entraîner. Une solution serait d'instaurer un quota individuel pour chaque pêcheur. Ce type de mesure est très efficace et a l'avantage de laisser au pêcheur la gestion de son activité de pêche : il peut faire le choix de pêcher son quota sur quelques mois ou sur l'année entière (FAO, 1999).

Cependant, il a déjà été montré sur de nombreuses pêcheries que ce type de gestion est souvent contourné par les pêcheurs en réalisant de fausses déclarations de capture (FAO, 1999). De plus, l'établissement de quota nécessite un contrôle assidu des captures, pour connaître précisément et enregistrer toutes les quantités débarquées pratiquement en temps réel. La mise en place d'un tel mécanisme de régulation est très onéreuse, il nécessite la mise en place de points de débarquement groupés (comme les criées) (Plan National Anguille), de systèmes de gestion de l'information ainsi qu'une main d'œuvre importante présente en permanence. De par son coût, il est donc difficilement envisageable d'instaurer ce type de mécanisme de gestion sur la pêcherie de l'étang de l'Or.

VI.2.3. Discussion

- Scénarii de gestion

Les différentes mesures de gestion présentées ci-dessus mettent en évidence qu'il est possible de diminuer la mortalité par pêche et augmenter l'échappement par des mesures simples dans leurs concepts. Cependant, leur efficacité est plus ou moins importante et leurs conséquences sur les captures sont assez variables. Un constat général est visible pour l'ensemble des simulations : l'inefficience de la pêcherie. En effet, la pêcherie pourrait capturer une biomasse d'anguille équivalente ou plus importante tout en augmentant l'échappement si la pression de pêche diminuait sur les plus petites anguilles.

Parmi les mesures présentées, les mesures de réduction de l'effort apparaissent très efficaces en termes d'échappement mais diminuent considérablement les captures des pêcheurs. Dans une moindre mesure les captures sont également diminuées avec des fermetures saisonnières. Ces mesures de gestion seraient donc défavorables à tous les pêcheurs mais profitables pour le stock d'anguille.

La limitation du nombre maximal de pêcheurs apporte essentiellement les mêmes résultats en termes d'échappement et de capture. Cependant, les captures sont partagées entre un nombre

plus faible de pêcheurs, augmentant ainsi les captures des pêcheurs (et leurs revenus). Cette mesure exclue un plus ou moins grand nombre de pêcheurs selon les cas, ce qui peut créer des conflits sociaux. Les critères d'attribution des licences peuvent également devenir source de conflit.

En revanche, l'instauration d'une taille minimale entre 230 mm et 280 mm permettrait d'atteindre l'objectif des 40% d'échappement tout en augmentant les captures (en biomasse) de la pêcherie. Cette mesure nécessiterait cependant un tri des captures, augmentant ainsi la charge temps de travail des pêcheurs. Ce tri pourrait être effectué à l'aide d'un tamis par exemple avec une maille correspondant à la section des anguilles de la taille minimale choisie. L'augmentation de la maille des engins apparaît légèrement moins efficace en termes d'échappement mais éviterait un tri manuel des captures. Cette mesure nécessiterait le changement des engins de pêche ou leurs modifications. Ces deux mesures de gestion (taille minimale, maillage) apparaissent comme les plus satisfaisantes aussi bien pour le stock d'anguille que pour les pêcheurs.

Les mesures de gestion ont été ici prises une à une, mais des associations entre elles peuvent donner un panel très riche de *scenarii* possibles. Cependant, elles ne sont pas toutes facilement applicables et contrôlables. Dans tous les cas, le choix de la ou des mesures de gestion appropriées sont à la charge des décideurs en fonction des objectifs qu'ils se sont fixés au niveau écologique, social et économique.

- Une prise en compte de toute la filière

Le principal client étranger des mareyeurs méditerranéens est l'Italie avec 41% de leurs exportations en 1999. Ce pays achète préférentiellement des anguillettes pour la consommation directe ou l'élevage dans les vallicultures (Cogepomi, 1999). En effet, la reproduction de l'anguille n'est pas encore maîtrisée, il est donc impossible de produire des juvéniles d'anguilles. Elles sont donc capturées dans le milieu naturel, transportées par camion oxygéné, élevées jusqu'à une taille adulte puis exportée, dans les pays du Nord de l'Europe, avec une plus-value importante.

Cette filière est assez surprenante tant elle minimise le profit des pêcheurs et du mareyeur. Il semblerait, dans notre cas, plus intéressant de les capturer dans leur milieu à la taille subadulte puis de les exporter directement. Ceci diminuerait les coûts de transport, supprimerait un intermédiaire et devrait permettre d'augmenter le profit du mareyeur et celui des pêcheurs. Pour comparaison, les pêcheurs de l'étang de l'Or vendent leurs anguilles au mareyeur entre 5 et 6 euro/kg alors que dans d'autres régions de France, les pêcheurs professionnels vendent le kilogramme d'anguille aux alentours de 10 euros (avec des anguilles de tailles supérieures).

Les différents outils de gestions présentés précédemment ont comme finalité d'augmenter l'échappement des géniteurs, ce qui nécessite d'augmenter la taille de capture des anguilles. Ceci peut, à court terme, provoquer des conflits d'intérêt entre des pêcheurs qui captureront des anguilles de plus grande taille et le mareyeur qui recherche préférentiellement des anguilles de petites tailles. Les pêcheurs de l'étang de l'Or n'auraient donc plus de débouchés pour leurs anguilles ou à des prix faibles fixés par le mareyeur. Pour que les mesures de gestion fonctionnent, et qu'il n'y ait pas de développement d'un marché noir de la petite anguille, il est donc nécessaire d'inclure dans le processus de gestion le mareyeur exerçant sur l'étang de l'Or ainsi que les autres acteurs du secteur afin d'envisager une restructuration de la filière et une prospection de nouveaux marchés. De même, en parallèle, il paraît intéressant de réfléchir à la mise en place de filière courte, comme la vente directe, qui permettrait aux pêcheurs de mieux valoriser leurs produits.

Pour une bonne gestion de la pêcherie, une intégration de toute la filière est donc nécessaire afin de l'accompagner dans les changements occasionnés par de nouvelles mesures de gestion. Une diminution des captures ou un changement de leurs caractéristiques (plus de grosses anguilles) pourrait ainsi être compensé par une meilleure valorisation des produits ou des nouveaux débouchés.

- Réglementation et surveillance

La réglementation définit le cadre dans lequel la ressource peut être exploitée. C'est ici la base de la gestion.

Actuellement, elle est en plein changement avec notamment le Plan National Anguille. Un effort de communication doit être fait sur cette nouvelle réglementation mais aussi sur les tenants et les aboutissants afin de bien faire comprendre les enjeux aux pêcheurs, premiers concernés, mais aussi à toute la filière. En effet, les pêcheurs ne sont généralement pas suffisamment informés des effets de leurs activités sur un stock à court et long terme. Si de nouvelles mesures se mettent en place sur l'étang de l'Or, un processus participatif avec les pêcheurs et les autres acteurs devra être privilégié afin qu'elles soient considérées légitimes, ce qui les rendra plus efficaces.

La surveillance doit permettre de vérifier l'application de la réglementation imposée à la pêcherie. En effet, comme tout agent économique cherchant à maximiser son profit, les pêcheurs n'ont généralement aucune raison de suivre la réglementation qui est pour eux contraignante. La surveillance de la pêcherie doit donc être effectuée régulièrement par les autorités (Affaires maritimes). En cas de non respect de la réglementation, des sanctions financières (amendes...), administratives (suppression de licence...) ou matériels (saisie d'engin de pêches, bateau...) doivent être prise. En effet, sans contrôles et sanctions, il y a un risque important de saper la

crédibilité et l'acceptabilité du régime juridique et de nuire au respect des textes (FAO, 1999) et par conséquent d'entraîner une généralisation du non respect de la réglementation sur toute la pêche et les pêcheries voisines.

VI.3. Vers une gestion de la lagune...

VI.3.1. Le début d'un processus de gestion

La gestion d'une ressource halieutique est un processus long et complexe qui comprend de nombreuses étapes qu'il convient de ne pas négliger sous peine d'échec. Le processus mis en place sur l'étang de l'Or est résumé sur la Figure 54. Actuellement le processus termine sa première phase : l'établissement de l'état initial. Cette phase est la plus rapide et la plus facile à mettre en œuvre. Les phases suivantes sont souvent longues et peuvent ne pas aboutir. La communication entre les acteurs est donc prépondérante.

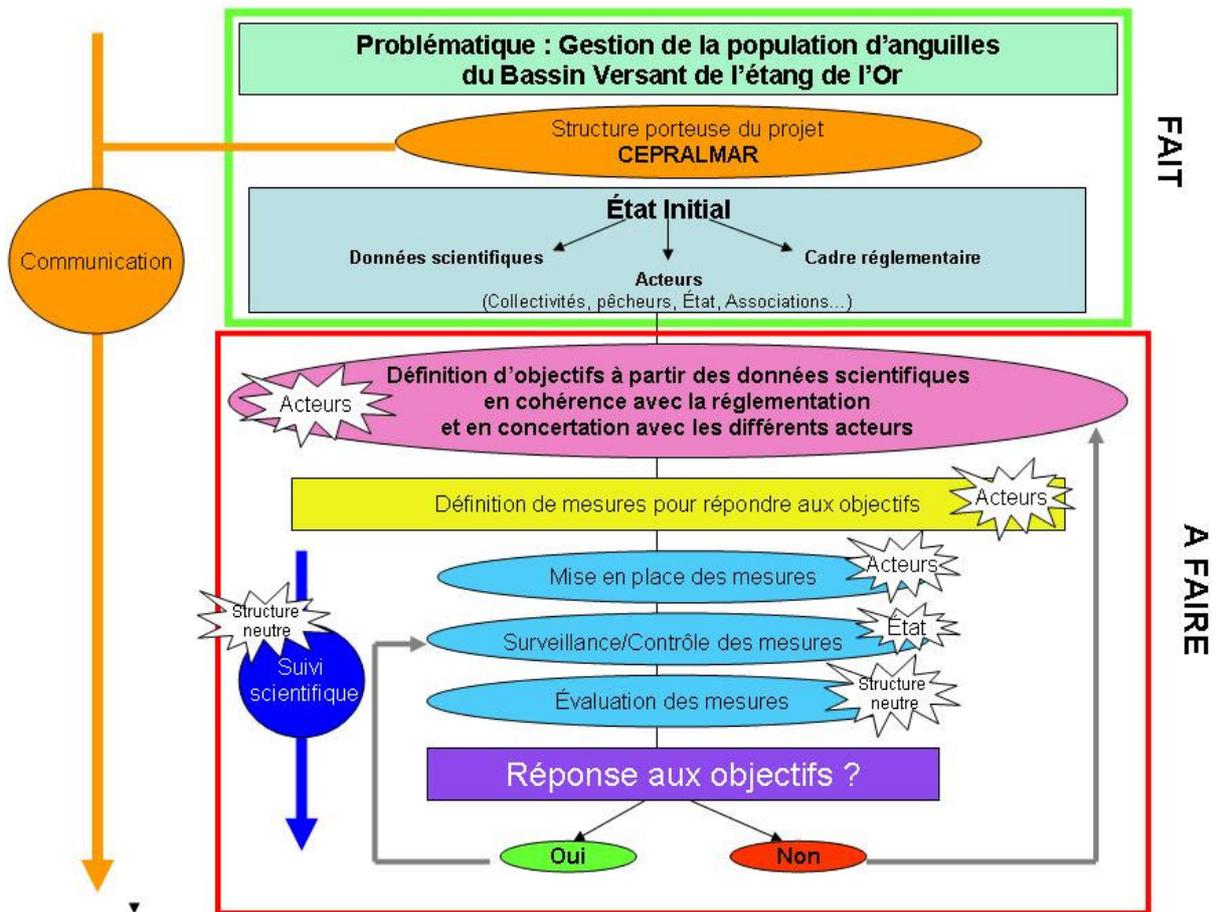


Figure 54 : Avancement du processus de gestion de la population d'anguilles de l'étang de l'Or

Sur l'étang de l'Or, cette étude apporte les données scientifiques nécessaires établissant l'état initial de la population d'Anguille du bassin versant de l'étang de l'Or. Des possibilités de gestion ont été mises en évidence par l'intermédiaire du modèle de dynamique de la population.

Elles pourront ainsi aider et éclairer les acteurs dans leurs prises de décisions. Dans cette étude, le cadre réglementaire a également été présenté. Avant de poursuivre le processus de gestion, il convient de communiquer cette réglementation aux différents acteurs et de vérifier son application. Celle-ci est récente, évolutive, très contraignante et pas encore totalement appliquée. De plus, des mesures de gestion ne peuvent en aucun cas être moins restrictives que la réglementation.

Ensuite, pour continuer le processus de gestion, il importe de définir des objectifs précis et des mesures pour y répondre. Ceci nécessite la concertation et la participation de tous les acteurs concernés. En effet, sans leur adhésion au projet, le processus de gestion mis en place est voué à l'échec. Cette phase est souvent longue et peut nécessiter de nombreuses réunions de concertation.

Une fois les mesures clairement définies, un suivi scientifique opérationnel, cohérent et adapté, peut être proposé. Pour une bonne efficacité, les mesures doivent être régulièrement surveillées et contrôlées par un organisme, le plus souvent agréé ou d'Etat, pour une pleine légitimité. Le suivi scientifique est important, il permet d'évaluer l'efficacité des mesures et de vérifier l'atteinte des objectifs. Il est important que la structure réalisant le suivi et l'évaluation soit neutre et externe aux acteurs (on ne peut être juge et partie). Si l'évaluation n'est pas concluante, de nouveaux objectifs et de nouvelles mesures devront être proposés.

Cette étude n'a ni vocation ni légitimité à définir des objectifs et des mesures à prendre. Il convient donc maintenant de réunir les différents acteurs locaux pour initialiser la concertation...

VI.3.2. *Une veille scientifique nécessaire*

Entre la fin de l'état initial et le début du suivi scientifique opérationnel, la définition d'objectifs et de mesures par les acteurs locaux peut être très longue. Il est donc judicieux d'établir une veille scientifique permettant de maintenir un flot d'informations sur la population d'Anguille et d'actualiser l'état initial au moment de la mise en place des mesures sur le terrain. Ceci est d'autant plus important que le cadre réglementaire a changé au cours de l'étude et que son effet n'est pas encore visible sur la population. De plus, ces données supplémentaires permettront d'affiner les tendances mises en évidence durant l'état initial.

Ainsi, cette veille peut être instituée en modifiant et allégeant le protocole de suivi mis en place au cours de cette étude.

VI.3.2.1. *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 leur effort 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 nécessaire de mettre en place des carnets de captures journaliers pour l'ensemble de la pêche comme sur le lac de Grand Lieu (Adam, 1997) (Figure 55).

Chaque jour, les pêcheurs noteront pour chaque engin ou groupe d'engins relevé, le temps de pêche, le poids d'anguille jaune capturée (pesé ou estimé), le poids d'anguille argentée (pesé ou estimé), la localisation des capétheades 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 55 : Exemple de carnet de pêche

Les données de capture des carnets de pêche pourront être vérifiées par un recueil des données d'achats d'anguilles auprès du mareyeur local. Les carnets de pêche ainsi que les données du mareyeur seront relevés sur un pas de temps mensuel.

Les carnets de pêche permettraient d'alléger considérablement le protocole de suivi en évitant d'embarquer avec les pêcheurs à des heures souvent très matinales. Cependant, on ne peut obliger les pêcheurs à remplir ces carnets. Leur mise en place avec les pêcheurs pourrait permettre d'initialiser la concertation.

Le Plan National Anguille prévoit également la mise en place de carnet de capture. Afin de ne pas surcharger les pêcheurs, il pourrait être intéressant de mettre en place avec l'ONEMA, un seul carnet de capture, spécifique à l'étang de l'Or, qui rassemblerait toutes les données nécessaires.

VI.3.2.2. *Caractéristiques 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 actualisées. 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 poursuite de l'étude, les données suivantes doivent continuer à être récoltées :

- taille : Une fois par semaine, mesurer les anguilles d'un échantillon aléatoire (une ou plusieurs queues de capétchade) avec un ichtyomètre. Ceci permet de connaître l'évolution de la structure en classe de taille de la population.

- stade : En même temps que la mesure des tailles, le stade des anguilles doit être déterminé pour connaître l'évolution de la proportion d'anguilles jaunes/argentées au cours du temps.

- état sanitaire externe : une analyse visuelle de chaque anguille mesurée est effectuée pour déceler d'éventuelles pathologies externes permettant d'évaluer régulièrement l'état sanitaire de la population.

Pour recueillir ces informations, il faut compter 2 heures de temps à deux personnes pour chaque intervention.

VI.3.3. *Des pistes à approfondir*

Avec des partenaires locaux et suivant les moyens disponibles, il pourrait être intéressant de recueillir des données complémentaires sur plusieurs thématiques :

- La prédation aviaire

Il paraît intéressant de réaliser régulièrement des comptages des oiseaux ichthyophages pour connaître l'évolution des effectifs sur la lagune. Ils pourraient être couplés à des analyses de contenus stomacaux et de pelotes de rejections. Ceci permettrait de quantifier l'impact réel de ces oiseaux sur la population d'Anguille. Ce type d'étude pourrait être réalisé avec des partenaires locaux comme la LPO ou des associations de gestion et de protection de la nature comme le SMGEO.

- Estimation du recrutement

Peu de données quantitatives sur le recrutement sont disponibles sur la façade méditerranéenne, car contrairement à la façade atlantique, la pêche de la civelle est interdite. Le recrutement dans la lagune a été évalué ici à partir de très peu de données. Il apparaît essentiel qu'il soit vérifié par des études futures. En effet, ce paramètre constitue la principale entrée du modèle. Il conditionne la production de la lagune, les captures et l'échappement.

Des captures par engins actifs de type carrelet ou filet bongo pourraient être envisagés, selon le protocole de Laffaille *et al.* (2007), à l'une des entrées mais ne permettraient pas de connaître les quantités de civelles transitant par les autres entrées et donc le recrutement effectif. De plus, ce type d'étude est très lourd en moyens humains, matériels et financiers (40 campagnes de pêche pour environ 50 000 euros).

Des captures par engins passifs comme réalisée par la Tour du Valat en Camargue (Bevacqua, 2008) et dans cette étude pour le suivi des civelles pourraient être réalisées. Elles procurent des Captures par Unité d'Effort (CPUE), un indice d'abondance couramment utilisé. Cependant, pour être exploitable, ce type de suivi nécessite d'être effectué sur de nombreuses années.

- Qualité du milieu

L'état initial a montré une qualité physico-chimique et biologique assez dégradée sur les différents tributaires et une qualité de l'eau médiocre sur la lagune. Il convient donc de sensibiliser la population et les collectivités pour diminuer les pollutions. Des mesures agro-environnementales pour l'agriculture doivent par exemple être réfléchies. Des problèmes de continuité écologique sont également présents sur les différents affluents avec la présence de seuils plus ou moins franchissables. Des dispositifs de franchissement, comme proposés dans ce rapport (partie III.1.2) peuvent donc être mis en place par les propriétaires et/ou gestionnaires. Les mesures environnementales doivent donc être intensifiées sur le bassin versant. Elles seront bénéfiques à l'Anguille mais aussi à toute la faune et la flore aquatique. L'enjeu majeur de restauration des écosystèmes a été le fer de lance du Contrat de baie de l'Etang de l'Or achevé en 2006 et sera poursuivi dans le cadre du futur contrat afin de répondre aux objectifs de la DCE.

Synthèse

La gestion de la pêche doit être réfléchi selon les objectifs socio-économiques et écologiques des décideurs. De nombreuses mesures sont possibles avec chacune des intérêts et des conséquences particulières. La mise en place d'une taille minimale de capture entre 23 et 28 cm semblent présenter le plus d'avantages tant pour l'espèce que pour les pêcheurs. Il est nécessaire de discuter des mesures de gestion avec les pêcheurs pour quelles soient acceptées. Il serait même pertinent de les associer à certaines études comme l'augmentation de la sélectivité des engins.

Une gestion concertée avec tous les acteurs de la filière doit impérativement être mise en place. La réglementation est une des fondations de la gestion. Il faudra donc veiller à sa mise en place et son application.

Afin de poursuivre le suivi de la population sur du long terme, il apparaît nécessaire de continuer l'acquisition des données. Pour cela, la mise en place de carnet de capture et un protocole de suivi simplifié apparaissent indispensables.

Des mesures de gestions complémentaires à l'échelle du bassin versant doivent être mises en place afin de protéger le milieu et les habitats des anguilles. Ceci passe par la mise en place de dispositifs de franchissement, de mesures agro-environnementales, et d'une sensibilisation auprès des populations et des collectivités de l'importance de cette espèce.

VII. 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 pêche. 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 pratique agro-environnementale... 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 d'anguille du bassin versant. La caractérisation de la population de la lagune et des tributaires a permis différentes comparaisons (croissance, relation taille-poids, parasitisme, densité) montrant des différences entre les anguilles de la lagune et celles des 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. Pour la population de la lagune, un modèle de dynamique de la population a été établi, en s'appuyant sur le modèle de Bevaqua *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. 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.

A la vue des différents résultats, des *scenarii* de gestion ont été proposés pouvant servir d'aides à la décision pour protéger cette espèce à l'échelle du bassin versant de l'étang de l'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.

Cette étude aura ainsi permis de récolter de nombreuses données mais aussi de réaliser un premier état des lieux de cette population. Le processus de gestion de la population d'Anguille de l'étang de l'Or est à son commencement, des objectifs clairs et précis, ainsi que les mesures pour les atteindre doivent être définis en concertation par l'ensemble des acteurs locaux. Les différents résultats de l'étude 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.

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.

ARNASON A.N., KIRBY C.W., SCHWARZ C.J., IRVINE J.R., 1996. Computer analysis of data from stratified mark-recovery experiments from estimation of salmon escapments and other populations. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2106, 37 p.

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 Niortaise : 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., BEAULATON 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.

FALIEX 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 Halieumétrique, 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 Piscic. : 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 éxutoires 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 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 (WGEEEL). 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 Linnaean 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-Éditions, 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 écobioécologiques 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.

Sites Internet :

Syndicat Mixte de Gestion de l'Étang de l'Or (page consulté le 27 mars 2009). Généralités sur l'Étang de l'Or. <http://www.étang-de-l-or.com/generalites.htm>

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (page consulté le 15 avril 2009). Fishery Statistical Collections, Global Capture Production. www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/en

TABLE DES FIGURES & TABLEAUX

FIGURE 1 : EVOLUTION DES CAPTURES D' ANGUILLES EUROPEENNES (REALISEE A PARTIR DES DONNEES FAO, WWW.FAO.ORG/FIGIS/).....	1
FIGURE 2 : AIRE DE REPARTITION DE L' ANGUILLE EUROPEENNE (ANGUILLA ANGUILLA L. 1758) (ADAM, 1997 (ADAPTEE DE GERMAIN, 1927 ET SCHMIDT, 1924)).....	3
FIGURE 3 : CYCLE BIOLOGIQUE DE L' ANGUILLE EUROPEENNE (ANONYME 1984B IN ADAM, 1997).....	4
FIGURE 4 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE L' ETANG DE L' OR (BD CARTHAGE).....	6
FIGURE 5 : CARTE DES PENTES DU BASSIN VERSANT DE L' ETANG DE L' OR (BD CARTHAGE, IGN ALTI)	7
FIGURE 6 : OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DE L' ETANG DE L' OR (CORIN LAND COVER)	8
FIGURE 7 : RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE L' ETANG DE L' OR (BD CARTHAGE)	9
FIGURE 8 : EVOLUTION INTERANNUELLE DES DEBITS MOYENS MENSUELS SUR LE SALAISON (1986-2009) ET LE DARDAILLON (1988-2000) (BANQUE HYDRO)	10
FIGURE 9 : PRESENTATION DE L' ETANG DE L' OR – LOCALISATION DES PASSES (BD CARTHAGE)	10
FIGURE 10 : SURFACES POTENTIELLEMENT DISPONIBLES SUR LE BASSIN VERSANT DE L' ETANG DE L' OR (BD CARTHAGE, DIREN LANGUEDOC-ROUSSILLON)	17
FIGURE 11 : LOCALISATION DES OBSTACLES A LA LIBRE CIRCULATION PISCICOLE (ONEMA, FDAAPPMA 34) ET EXPERTISE DE LEUR FRANCHISSABILITE POUR L' ANGUILLE (INDIVIDU > 110 MM) (LEGAUT, 2009) (BD CARTHAGE)	19
FIGURE 12 : AMENAGEMENTS PROPOSEES POUR LA RESTAURATION DES VOIES DE MIGRATION CHEZ L' ANGUILLE : GOULOTTES, PRE-BARRAGES ET AMENAGEMENT DE RIVE (DE GAUCHE A DROITE) (FISH-PASS)	21
FIGURE 13 : QUALITE HYDROLOGIQUE DES AFFLUENTS DE L' ETANG DE L' OR (BD CARTHAGE, BANQUE HYDRO, FDAAPPMA 34)	21
FIGURE 14 : EVOLUTION DES INDICES BIOLOGIQUES GLOBAUX NORMALISES (IBGN) SUR LES TRIBUTAIRES DE L' ETANG DE L' OR (SEQ-EAU).....	25
FIGURE 15 : EVOLUTION DE L' INDICE POISSON EN RIVIERE (IPR) SUR LES TRIBUTAIRES DE L' ETANG DE L' OR (ONEMA)	25
FIGURE 16 : LOCALISATION DES POSTES FIXES HIVERNAUX SUR L' ETANG DE L' OR - ANNEE NON PRECISEE (NATURA 2000)	28
FIGURE 17 : SCHEMA D' UNE CAPETCHADE (ABDALLAH ET AL., 2009)	29
FIGURE 18 : EVOLUTION DES CAPTURES D' ANGUILLE ENTRE 1960 ET 1982 (AQUASCOP, 1983), ENTER 1989 ET 1993 (RUIZ, 1994) ET ENTRE 2002 ET 2008 (GEAL) SUR L' ETANG DE L' OR	30
FIGURE 19 : EVOLUTION MOYENNE MENSUELLE DES CAPTURES D' ANGUILLE ET DU NOMBRE DE PECHEURS SUR L' ETANG DE L' OR ENTRE 2002 ET 2008 (GEAL)	31
FIGURE 20 : A) STRUCTURE EN TAILLE DE LA POPULATION EXPLOITEE (N=5967) ; B) STRUCTURE EN TAILLE DE LA POPULATION EXPLOITEE PAR STADE (N=5781 POUR LES ANGUILLES JAUNES ET N=186 POUR LES ANGUILLES ARGENTEEES).....	41
FIGURE 21 : A) DIAGRAMME EN GROUPE D' AGE DE L' ECHANTILLON (N=284) ; B) DIAGRAMME EN GROUPE D' AGE PAR SEXE DE L' ECHANTILLON (N INDIFFERENCIES=116, N MALES=68, N FEMELLES=100).....	43
FIGURE 22 : RELATION ENTRE LE POIDS ET LA TAILLE DES ANGUILLES.....	43
FIGURE 23 : TAILLE MOYENNE DES ANGUILLES EN FONCTION DE L' AGE.....	45
FIGURE 24 : BASSIN VERSANT DE L' ÉTANG DE L' OR ET DE SES AFFLUENTS. CHAQUE POINT BLEU LOCALISE LE LIEU DE LA PECHE ELECTRIQUE SUR LES DIFFERENTS COURS D' EAU.	49
FIGURE 25 : A) NOMBRE D' ESPACES PECHEES SUR CHAQUE SITE ; B) NOMBRE D' ANGUILLES PECHEES SUR CHAQUE SITE.....	50
FIGURE 26 : STRUCTURE EN CLASSE DE TAILLE DE 30 MM POUR LES ANGUILLES DU BERANGE (N=45) ET DU SALAISON (N=102).....	52
FIGURE 27 : RELATION TAILLE-POIDS POUR LES ANGUILLES DU SALAISON (BLEU) ET DU BERANGE (ROSE).	52
FIGURE 28 : TAILLE MOYENNE EN FONCTION DE L' AGE.....	54
FIGURE 29 : MODELE DE CROISSANCE DE VON BERTALANFFY CALIBRE PAR D. BEVACQUA (INDIFFERENCIES : N=467 (116 OBSERVES ET 351 RETROCALCULES) ; FEMELLE : N=100 ; MALE : N=68; 4 FEMELLES ET 2 MALES N' ONT PAS ETE UTILISE N' AYANT PU ETRE AGES).	61
FIGURE 30 : TAUX DE MATURATION SEXUELLE DES MALES ET FEMELLES.....	63
FIGURE 31 : MORTALITE NATURELLE EN FONCTION DE LA TAILLE POUR L' ÉTANG DE L' OR.....	66
FIGURE 32 : SELECTIVITE DES CAPETCHADES EN FONCTION DU MAILLAGE ET DE LA TAILLE DES ANGUILLES	69
FIGURE 33 : NOMBRE DE PECHEURS EN FONCTION DU MOIS DE L' ANNEE (*DONNEES 2008).....	70
FIGURE 34 : EFFORT ESTIME A PARTIR DES ENQUETES (*DONNEES 2008)	70
FIGURE 35 : CPUE ESTIMEE A PARTIR DU SUIVI HALIEUTIQUE (*DONNEES 2008)	71
FIGURE 36 : EFFORT ESTIME A PARTIR DU SUIVI HALIEUTIQUE (CPUE) ET DES CAPTURES MENSUELLES DE LA PECHERIE (*DONNEES 2008).....	71
FIGURE 37 : MODELE DE CROISSANCE DE VON BERTALANFFY (AGE EN JOURS, LENGTH : TAILLE EN MM) (N=635 DONT 351 RETROCALCULES).	76

FIGURE 38 : CAPTURE AUX AGES DU SUIVI : EFFECTIF DES INDIVIDUS A CHAQUE AGE D' APRES LES ECHANTILLONNAGES EFFECTUES LORS DU SUIVI HALIEUTIQUE.....	76
FIGURE 39 : REGRESSION LINEAIRE ENTRE LE LOGARITHME DES EFFECTIFS ET L' AGE DES ANGUILLES.....	77
FIGURE 40 : PREMIERE APPROCHE DE L'EVOLUTION DE LA MORTALITE PAR PECHE (F), DE LA MORTALITE NATURELLE (M) ET DE LA MORTALITE TOTALE (Z) AU COURS DU TEMPS	79
FIGURE 41 : CAPTURE D'ANGUILLES JAUNES EN FONCTION DE LEUR CAPTURABILITE.....	84
FIGURE 42 : CAPTURES D'ANGUILLES ARGENTEEES EN FONCTION DE LEUR CAPTURABILITE.....	85
FIGURE 43 : A) MARQUAGE D'UNE ANGUILE AU PIT TAG, B) PIT TAG (SOURCE: FISH PASS)	89
FIGURE 44 : DISPOSITIF D'ENREGISTREMENT DES RECAPTURES SUR LE TRIEUR DU MAREYEUR (SOURCE: FISH PASS).....	90
FIGURE 45 : STRUCTURE EN TAILLE DES INDIVIDUS MARQUES (N=711)	91
FIGURE 46 : RELATION TAILLE-POIDS DES INDIVIDUS MARQUES (N=141) ($Y = 3.24X - 14.7$, $R^2 = 0.98$, $P < 0,001$)	92
FIGURE 47 : RECAPTURE DES INDIVIDUS MARQUES DE CHAQUE LOT EN FONCTION DU TEMPS.....	92
FIGURE 48 : CAPTURES TOTALES (ANGUILLES JAUNES ET ARGENTEEES) ET ECHAPPEMENT EN FONCTION DU MAILLAGE. ...	99
FIGURE 49 : EXEMPLES DE MODIFICATION DES ENGINS DE PECHE POUR AMELIORER LEUR SELECTIVITE, (A,C,D VUE LATERALE ; B VUE DE DESSOUS)	101
FIGURE 50 : CAPTURES TOTALES (ANGUILLES JAUNES ET ARGENTEEES) ET DE L' ECHAPPEMENT EN FONCTION DE LA TAILLE MINIMALE DE CAPTURE.	102
FIGURE 51 : ECHAPPEMENT (TONNES) EN FONCTION DES CAPTURES DE LA PECHERIE ET DE L'EFFORT DE PECHE.	103
FIGURE 52 : ECHAPPEMENT (TONNES) ET CAPTURES TOTALES (TONNES) EN FONCTION DES FERMETURES SAISONNIERES	104
FIGURE 53 : ECHAPPEMENT (TONNES) EN FONCTION DES CAPTURES TOTALES (TONNES) ET DU NOMBRE MAXIMAL DE PECHEURS AUTORISE A PECHER SUR LA LAGUNE.....	105
FIGURE 54 : AVANCEMENT DU PROCESSUS DE GESTION DE LA POPULATION D'ANGUILLES DE L'ETANG DE L'OR	109
FIGURE 55 : EXEMPLE DE CARNET DE PECHE.....	111
TABLEAU 1 : CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX TRIBUTAIRES DE L' ETANG DE L' OR	9
TABLEAU 2 : BILAN HYDRIQUE DE L' ETANG DE L' OR (EN MILLIONS DE M ³) (AQUASCOP, 1997).....	11
TABLEAU 3 : DENSITE MOYENNE D' OBSTACLES SUR LES PRINCIPAUX TRIBUTAIRES DE L' ETANG DE L' OR	19
TABLEAU 4 : LINEAIRE POTENTIELLEMENT COLONISABLE PAR L' ANGUILE EN FONCTION DE LA TAILLE DES INDIVIDUS..	19
TABLEAU 5 : EVOLUTION INTERANNUELLE (JUN / JUILLET / AOUT) DE LA PHYSICO-CHEMIE DE LA COLONNE D'EAU SUR L' ETANG DE L' OR ENTRE 1999 ET 2008 (DONNEES RSL – IFREMER).....	24
TABLEAU 6 : ETAT SANITAIRE DE LA POPULATION (N=5967)	40
TABLEAU 7 : CARACTERISTIQUES DE L' ECHANTILLON (ENTRE () NOMBRE D'INDIVIDUS N'AYANT PU ETRE AGE).....	42
TABLEAU 8 : TAILLE ET CROISSANCE MOYENNES OBTENUES PAR OTOLITHOMETRIE (SANS LES VALEURS RETROCALCULEES), TOUS SEXES CONFONDUS (6 INDIVIDUS N'ONT PU ETRE AGES SUR L' ECHANTILLON DE 290) (LES AGES 7 ET 8 SONT DONNES A TITRE INFORMATIF MAIS NE SERONT PAS TRAITES DU FAIT DU FAIBLE NOMBRE D' INDIVIDUS)	44
TABLEAU 9 : RESULTATS DU PARASITISME PAR ANGUILLICOLA CRASSUS SUR LES ANGUILLES DE LA LAGUNE.....	46
TABLEAU 10 : ABONDANCE ET BIOMASSE DE CHAQUE ESPECE ESTIMEES A PARTIR DES RESULTATS DE PECHE ELECTRIQUE POUR CHAQUE SITE.	51
TABLEAU 11 : TAILLE MOYENNE DES ANGUILLES DE L' ECHANTILLON A CHAQUE AGE (N=60, 3 ANGUILLES N'ONT PU ETRE AGEES).....	53
TABLEAU 12 : RESULTATS DU PARASITISME PAR ANGUILLICOLA CRASSUS SUR LES ANGUILLES DES AFFLUENTS	55
TABLEAU 13 : COMPARAISON DES RESULTATS DE PARASITISME ENTRE LA LAGUNE ET SES AFFLUENTS	57
TABLEAU 14 : POIDS ET EFFECTIFS DE CHAQUE GROUPE D'AGE POUR LES ANGUILLES DU SUIVI ET LES CAPTURES TOTALES DE LA PECHERIE ENTRE NOVEMBRE 2008 ET OCTOBRE 2009.	77
TABLEAU 15 : TAUX MOYEN DE MORTALITE NATURELLE POUR CHAQUE GROUPE D'AGE ESTIME A PARTIR DE LA FIGURE 31	78
TABLEAU 16 : ANALYSE NON RECTIFIE DES PSEUDO-COHORTES	78
TABLEAU 17 : RESULTAT DU MODELE POUR LA SITUATION ACTUELLE ET LA SITUATION SANS PRESSION DE PECHE	85
TABLEAU 18 : NOMBRE D' ANGUILLES MARQUEES/RECAPTUREES ET CAPTURES DE LA PECHERIE ENTRE OCTOBRE ET DECEMBRE	93
TABLEAU 19 : ESTIMATION DE LA POPULATION D' ANGUILLES ARGENTEEES, DE SON TAUX D' EXPLOITATION ET DE SON TAUX D' ECHAPPEMENT	93
TABLEAU 20 : COMPARAISON ENTRE LES VALEURS DU MODELE ET CELLE DU MARQUAGE/RECAPTURE	94

ANNEXES

ANNEXE 1 : COMPOSITION SPECIFIQUE DES PEUPELEMENTS DE POISSON DE L'ÉTANG DE L'OR DES ETUDES DISPONIBLES ENTRE 1897 ET 2008 (LEPAGE <i>ET AL.</i> , 2008).....	II
ANNEXE 2 : EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'EAU - APTITUDE A LA BIOLOGIE - DES TRIBUTAIRES DE L'ÉTANG DE L'OR POUR LE PARAMETRE « MATIERES ORGANIQUES OXYDABLES » (MOOX) (SEQ-EAU).....	IV
ANNEXE 3 : EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'EAU - APTITUDE A LA BIOLOGIE - DES TRIBUTAIRES DE L'ÉTANG DE L'OR POUR LE PARAMETRE « AZOTE » (SEQ-EAU).....	V
ANNEXE 4 : EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'EAU - APTITUDE A LA BIOLOGIE - DES TRIBUTAIRES DE L'ÉTANG DE L'OR POUR LE PARAMETRE « NITRATES » (SEQ-EAU).....	VI
ANNEXE 5 : EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'EAU - APTITUDE A LA BIOLOGIE - DES TRIBUTAIRES DE L'ÉTANG DE L'OR POUR LE PARAMETRE « MATIERES PHOSPHOREES » (SEQ-EAU).....	VII
ANNEXE 6 : CARACTERISTIQUES DE L'ACTIVITE DE PECHE DE QUATRE PECHEURS SUR L'ÉTANG DE L'OR.....	VIII
ANNEXE 7 : PROTOCOLE D'OTOLITHOMETRIE POUR AGER LES ANGUILLES D'APRES LA THESE DE BEATRICE MOUNAIX... IX	
ANNEXE 8 : COMPARAISON DE L'AGE MOYEN DES MALES ET FEMELLES.....	XII
ANNEXE 9 : RELATION TAILLE-POIDS.....	XIII
ANNEXE 10 : TAILLE MOYENNE DES ANGUILLES DE L'ÉTANG DE L'OR OBTENU PAR RETROCALCUL DANS L'ETUDE DE PANFILI (1993).....	XIV
ANNEXE 11 : METHODE DU RETROCALCUL.....	XV
ANNEXE 12 : TAILLE OBSERVEE EN FONCTION DE LA TAILLE ESTIMEE AVEC LE MODELE CALIBRE PAR D. BEVACQUA POUR LES ANGUILLES INDIFFERENCIEES.....	XVII
ANNEXE 13 : TAILLE OBSERVEE EN FONCTION DE LA TAILLE ESTIMEE AVEC LE MODELE CALIBRE PAR D. BEVACQUA POUR LES ANGUILLES FEMELLES.....	XVIII
ANNEXE 14 : TAILLE OBSERVEE EN FONCTION DE LA TAILLE ESTIMEE AVEC LE MODELE CALIBRE PAR D. BEVACQUA POUR LES ANGUILLES MALES.....	XIX
ANNEXE 15 : TAUX D'ARGENTURE DANS LES CAPTURES DES PECHEURS.....	XX
ANNEXE 16 : RESULTATS DU MODELE DE DYNAMIQUE DE LA POPULATION POUR DIFFERENTS MAILLAGES.....	XXI
ANNEXE 17 : RESULTATS DU MODELE DE DYNAMIQUE DE LA POPULATION POUR DIFFERENTES TAILLES MINIMALES DE CAPTURE DES ANGUILLES.....	XXII
ANNEXE 18 : RESULTATS DU MODELE DE DYNAMIQUE DE LA POPULATION POUR DIFFERENTES DIMINUTIONS D'EFFORT.....	XXIII
ANNEXE 19 : RESULTATS DU MODELE DE DYNAMIQUE DE LA POPULATION POUR DIFFERENTES PERIODES DE FERMETURE TRIMESTRIELLE.....	XXIV
ANNEXE 20 : RESULTATS DU MODELE DE DYNAMIQUE DE LA POPULATION POUR DIFFERENTES LIMITATIONS DU NOMBRE DE PECHEURS.....	XXV

Annexe 1 : Composition spécifique des peuplements de poisson de l'Etang de l'Or des études disponibles entre 1897 et 2008 (LEPAGE *et al.*, 2008)

Espèces	1	2	3	4	5	6	7	8	Reproduction
<i>Abramis brama</i>									Eau douce
<i>Alburnus alburnus</i>									Eau douce
<i>Alosa fallax</i>									Fleuve
<i>Ameiurus melas</i>									Eau douce
<i>Anguilla anguilla</i>									Mer
<i>Aphia minuta</i>									Mer
<i>Atherina boyeri</i>									Eau saumâtre
<i>Atherina hepsetus</i>									Mer
<i>Atherina presbyter</i>									Mer
<i>Belone belone</i>									Mer
<i>Blennius pavo</i>									Eau saumâtre
<i>Blicca bjoerkna</i>									Eau douce
<i>boops boops</i>									Mer
<i>Carassius auratus</i>									Eau douce
<i>Chelon labrosus</i>									Mer
<i>Chondostroma toxostoma</i>									Eau douce
<i>Conger conger</i>									Mer
<i>Ctenolabrus rupestris</i>									Mer
<i>Cyprinus carpio</i>									Eau douce
<i>Dentex dentex</i>									Mer
<i>Dicentrarchus labrax</i>									Mer
<i>Diplodus annularis</i>									Mer
<i>Diplodus cervinus</i>									Mer
<i>Diplodus puntazzo</i>									Mer
<i>Diplodus sargus</i>									Mer
<i>Diplodus vulgaris</i>									Mer
<i>Echiichthys vipera</i>									Mer
<i>Engraulis encrasicolus</i>									Mer
<i>Esox lucius</i>									Eau douce
<i>Gaidropsarus maditerraneus</i>									Mer
<i>Gambusia affinis</i>									Eau douce
<i>Gasterosteus aculeatus</i>									Eau douce
<i>Gobio gobio</i>									Eau douce
<i>Gobius niger</i>									Mer
<i>gobius paganellus</i>									Mer
<i>hippocampus hippocampus</i>									Mer
<i>hippocampus ramulosus</i>									Mer
<i>Labrus merula</i>									Mer
<i>Lepadogaster candollei</i>									Mer
<i>Lepomis gibbosus</i>									Eau douce
<i>Lichia amia</i>									Mer
<i>Lichia glauca</i>									Mer
<i>Lithognathus mormyrus</i>									Mer
<i>Liza aurata</i>									Mer
<i>Liza ramada</i>									Mer
<i>Liza saliens</i>									Mer
<i>Micropterus salmoides</i>									Eau douce
<i>Mugil cephalus</i>									Mer
<i>Mullus barbatus</i>									Mer
<i>Mullus surmuletus</i>									Mer
<i>Oblada melanura</i>									Mer
<i>Perca fluviatilis</i>									Eau douce

<i>Petromyzon marinus</i>									Fleuve
<i>Phoxinus phoxinus</i>									Eau douce
<i>Platichthys flesus</i>									Mer
<i>Pleuronectes platessa</i>									Mer
<i>Pomatoschistus microps</i>									Eau saumâtre
<i>Pomatoschistus minutus</i>									Mer
<i>Pomatoschistus pictus</i>									Mer
<i>Psetta maxima</i>									Mer
<i>Pseudorasbora parva</i>									Eau douce
<i>Rutilus rutilus</i>									Eau douce
<i>Salmo trutta</i>									Fleuve
<i>Sardina pilchardus</i>									Mer
<i>Sardinella aurita</i>									Mer
<i>Sarpa salpa</i>									Mer
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>									Eau douce
<i>Scomber scombrus</i>									Mer
<i>Scophthalmus rhombus</i>									Mer
<i>Seriola dumerilii</i>									Mer
<i>Serranus cabrilla</i>									Mer
<i>Serranus hepatus</i>									Mer
<i>Solea impar</i>									Mer
<i>Solea senegalensis</i>									Mer
<i>Solea solea</i>									Mer
<i>Sparus aurata</i>									Mer
<i>Spicara maena</i>									Mer
<i>Sprattus sprattus</i>									Mer
<i>Stizostedion lucioperca</i>									Eau douce
<i>Symphodus cinereus</i>									Eau saumâtre
<i>Symphodus melops</i>									Mer
<i>Symphodus tinca</i>									Mer
<i>Syngnathus abaster</i>									Mer
<i>Syngnathus acus</i>									Mer
<i>Syngnathus typhle</i>									Mer
<i>Tinca tinca</i>									Eau douce
<i>Trachinus draco</i>									Mer
<i>Trachurus trachurus</i>									Mer
<i>Trigla lucerna</i>									Mer
<i>Umbrina cirrosa</i>									Mer
<i>Verna anguiformis</i>									Mer
<i>Zosterisessor ophiocephalus</i>									Mer
<i>Torpedo marmorata</i>									Mer

1: Gouret, 1897

2 : Bourquard, 1985

3 : Quignard *et al.*, 1989

4: Bouchereau *et al.*, 1990

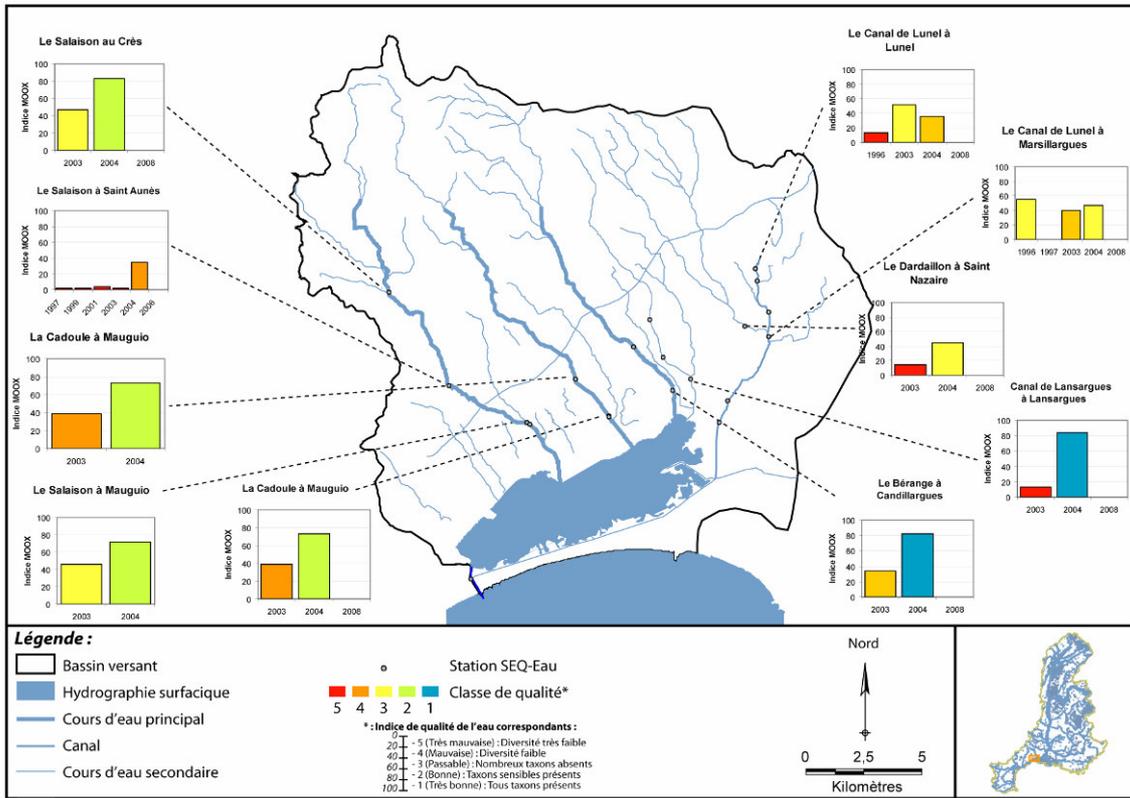
5 : Bariche et Bocquee, 1997

6 : Darnaude et Marcel, 1998

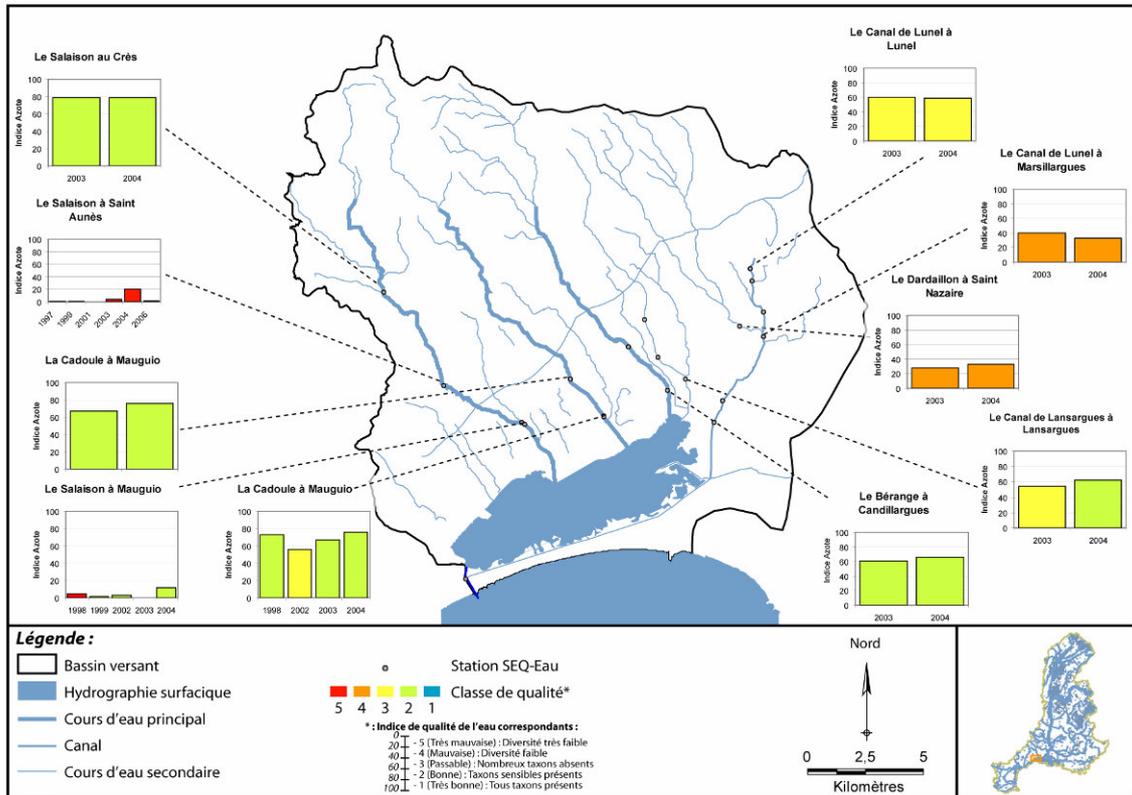
7 : Ficheux, 2006

8 : Lepage *et al.*, 2008

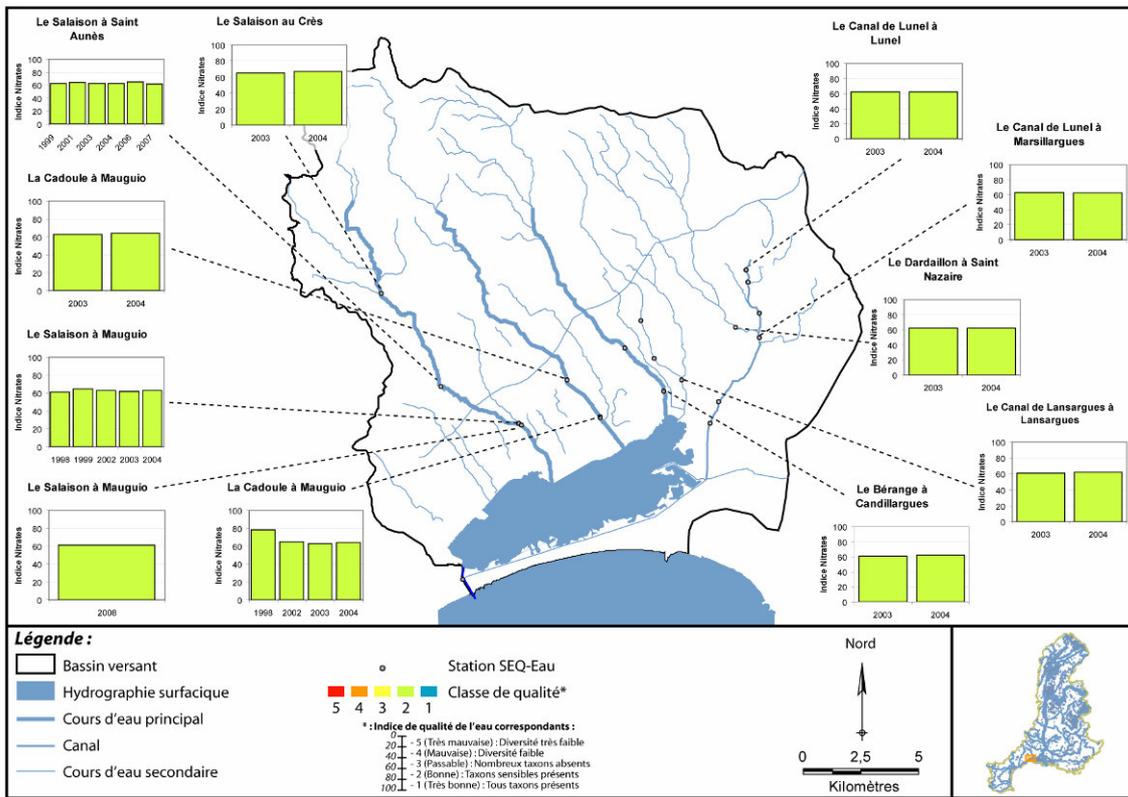
Annexe 2 : Evolution de la qualité de l'eau - aptitude à la biologie - des tributaires de l'étang de l'Or pour le paramètre « Matières Organiques Oxydables » (MOOX) (SEQ-Eau)



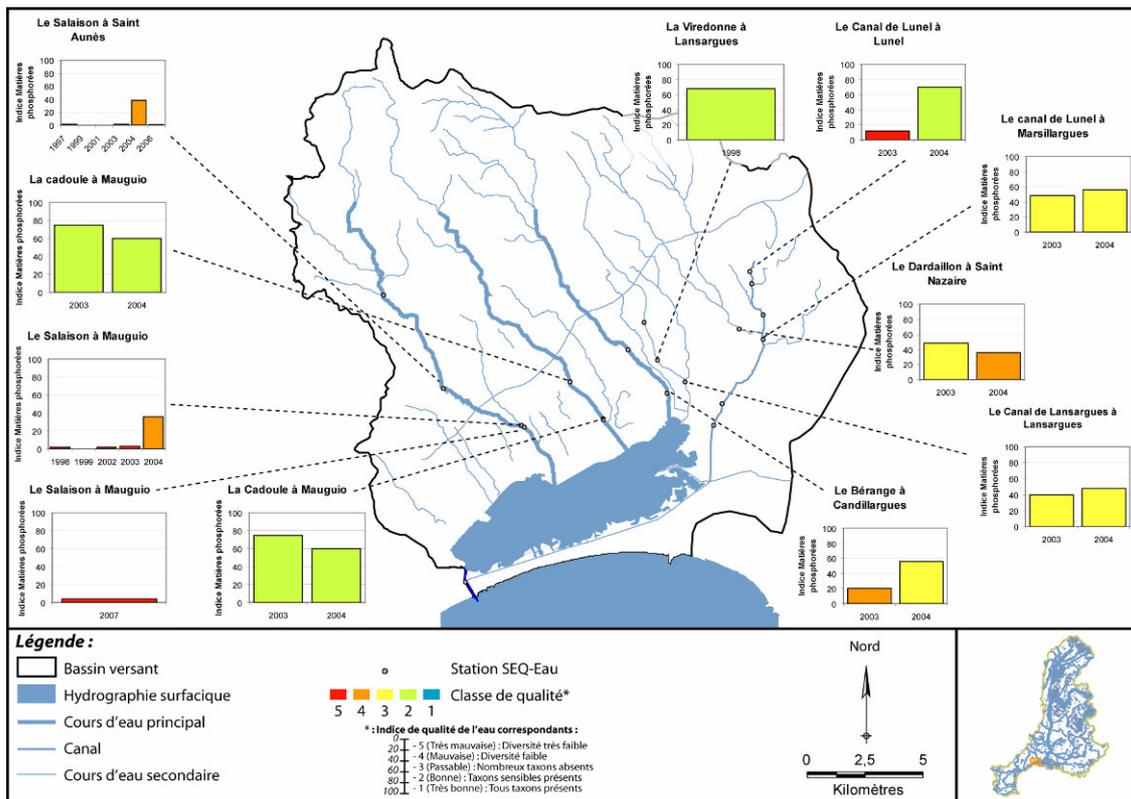
Annexe 3 : Evolution de la qualité de l'eau - aptitude à la biologie - des tributaires de l'étang de l'Or pour le paramètre « Azote » (SEQ-Eau)



Annexe 4 : Evolution de la qualité de l'eau - aptitude à la biologie - des tributaires de l'étang de l'Or pour le paramètre « Nitrates » (SEQ-Eau)



Annexe 5 : Evolution de la qualité de l'eau - aptitude à la biologie - des tributaires de l'étang de l'Or pour le paramètre « Matières phosphorées » (SEQ-Eau)



Annexe 6 : Caractéristiques de l'activité de pêche de quatre pêcheurs sur l'Etang de l'Or

Pêcheur	Pluriactivité	Engins	Caractéristiques			Effort (Nombre engins)			
			Paradière	Cœur	Queue	Hiver	Printemps	Eté	Automne
1	Non	Capétchade (40-50)	Longueur : 50 m	Maille : 14/16 mm	Maille : 8/10 mm	35 (tous les jours)	18 (Tous les jours)	18 (Tous les jours)	35 (Tous les jours)
			Hauteur : 3 m						
			Maille : 14/16 mm						
2	Non	Capétchade (35)	Longueur : 40 m	Maille : 14 mm	Maille : 8 mm	8 à 10 (1 mois)	15 (Tous les jours)	20 (Tous les jours excepté juillet)	20 (Tous les jours)
			Hauteur : 2 m						
			Maille : 14 mm						
3	non	Capétchade (40)	Longueur : 40-50 m	Maille : 13-14 mm / 27-30 (ouvert)	Maille : 6-8 mm / 10-14 mm (ouvert)	20 (Tous les jours)	20 (Tous les jours)	20 (Tous les jours)	20 (Tous les jours)
			Hauteur : 1,8 m						
			Maille : 13-14 mm / 27-30 mm (ouvert)						
		Verveux (2-3)							
4	non	Capétchade (40)	Longueur : 40-50 m	Maille : 13-14 mm / 27-30 (ouvert)	Maille : 6-8 mm / 10-14 mm (ouvert)	20 (Tous les jours)	20 (Tous les jours)	20 (Tous les jours)	20 (Tous les jours)
			Hauteur : 1,8 m						
			Maille : 13-14 mm / 27-30 mm (ouvert)						
		Verveux (2-3)							

Pêcheur	Captures Anguille argentée				Captures Anguille Verte			
	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Automne
1	0	0	0	1 000 kg	6 tonnes réparties sur l'année			
2	0	0	0	500 kg	0	400 kg	500 kg	3 000 kg
3	0	0	0	2 000 Kg	entre 800 kg et 1 000 kg par mois	entre 800 kg et 1 000 kg par mois	entre 800 kg et 1 000 kg par mois	entre 800 kg et 1 000 kg par mois
4	0	0	0	2 000 Kg	entre 800 kg et 1 000 kg par mois	entre 800 kg et 1 000 kg par mois	entre 800 kg et 1 000 kg par mois	entre 800 kg et 1 000 kg par mois

Annexe 7 : Protocole d'otolithométrie pour âger les anguilles d'après la thèse de Béatrice Mounaix

(MOUNAIX B., 1992. Intercalibration et validation des méthodes d'estimation de l'âge de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.). Application au bassin versant de la Vilaine, Bretagne, 146p.)

Les otolithes :

Les otolithes sont des concrétions calcaires situées dans l'oreille interne des poissons. Ils participent d'une part à la transition des sons, d'autre part à l'équilibration et à la perception de la profondeur (Morris et Kittleman, 1967, in Gauldie et Nelson, 1990). On distingue trois paires d'otolithes, logées dans les capsules otiques de chaque côté du crâne. Les sagitta sont les plus grandes ; elles sont contenues dans le sac endolymphatique, de même que les asterici, plus petites et parfois situées dans un diverticule externe de la matrice. Les lapilli, très petites, se trouvent dans l'atrium des canaux semi circulaires (Dahl, 1967). Généralement, l'estimation de l'âge et de la croissance des poissons est basée sur l'interprétation des sagitta, en raison de leur grande taille (Tsukamoto et Kajihara, 1987). La position des sagitta dans le sac endolymphatique varie selon les espèces : les otolithes sont soit posés en contact avec l'os crânien, et leur axe est alors décentré vers le bas, soit libres et leur axe de symétrie est alors centré (Gauldie et Nelson, 1990). L'Anguille appartient à la première catégorie.

L'extraction des otolithes :

Après section du transverse du crâne aux ciseaux à dissection, l'encéphale est enlevé et les sagitta prélevées directement dans les capsules otiques à l'aide de pinces fines. Elles sont ensuite placées dans un bain d'eau de Javel diluée (50%) durant 5 à 10 minutes pour dissoudre les membranes sacculaires. Un rinçage à l'eau distillée d'une dizaine de minutes précède le séchage par immersion dans un bain d'alcool à 70° durant 10 minutes. Ce protocole de préparation suit la procédure de Brothers (1987) et se conforme aux recommandations de Vollestad *et al.* (1987). Les otolithes sont ensuite stockés à sec dans des boîtes à micro puits de type « ELISA », à température ambiante.

Inclusion des otolithes :

L'une des sagitta est ensuite incluse dans de la résine dentaire (Promodentaire) ; cette résine présente de nombreux avantages : temps de polymérisation rapide, transparence, absence de chauffage donc peu de risque de dénaturer l'otolithe (Lecomte-Finiger, 1991b).

La face convexe de l'otolithe est déposée sur une lame de verre à l'intérieur de moules formés par des capsules de tube à essai découpées ; ces « moules » forment des plots aisément manipulables et sont réutilisables. L'inclusion des otolithes est une étape indispensable à leur manipulation.

Ponçage des otolithes :

Après démoulage, les plots sont ponçés pour dégager la surface sagittale de l'otolithe. Le ponçage de la face convexe est effectué manuellement sur des feuilles de papier abrasif à l'eau, de finesse croissante de 280 à 1200 grains par centimètre carré. Lorsque le centre de l'otolithe est atteint, la surface est polie à la poudre d'alumine pour affiner la préparation.

Décalcification de la surface des otolithes :

La décalcification de la surface ainsi dégagée est ensuite effectuée. L'utilisation de l'Ethylène Diamine Tétra Acétate (EDTA) comme décalcifiant autorise des temps suffisamment long pour contrôler l'attaque sans risque pour l'otolithe (Watabe *et al.*, 1982 ; Campana et Neilson, 1985). Une goutte d'EDTA (5%) est déposée sur la surface poncée de l'otolithe ; un dégagement de bulles de gaz carbonique est observé. Au bout de 10 minutes (5 minutes pour les petits otolithes) la surface est rincée à l'eau distillée. L'otolithe est ensuite conservé à sec en attendant son observation.

Lecture des otolithes :

L'alternance des zones opaques et hyalines (ou transparentes) observées sur une otolithe entière ou sur sa surface poncée correspond à des différences de structure. En lumière réfléchie (éclairage par-dessus), les zones hypercalcifiées renvoient la lumière : elles apparaissent blanches, lumineuses et opaques ; les zones où la calcification est moins dense sont transparentes à la lumière et l'absorbent : elles sont donc plus sombres que les précédentes. On considère généralement que l'alternance zone opaque/zone hyaline correspond respectivement aux phases de croissance rapide et de croissance ralentie de l'anguille (Moriarty, 1983 ; Dekker, 1987). La zone opaque, ou zone de croissance est dénommée « zone » selon la terminologie adoptée lors du colloque « Tissus durs et âge individuel des vertébrés » de Blondy (Baglinière *et al.*, 1992). La zone hyaline, ou zone de croissance ralentie, recevra l'appellation d' « annulus ». En règle générale, on considère que l'ensemble formé par une zone et un annulus représente un cycle annuel. Généralement, on admet la présence d'une LAC par annulus, en rapport avec l'arrêt annuel de croissance du poisson ; leur dénombrement est utilisé pour estimer l'âge individuel du poisson.

BAGLINIERE J.L., CASTANET J., CONAND F., MEUNIER F.J., 1992. Terminologie en sclérochronologie chez les vertébrés, in Baglinière J.L., Castanet J., Conand F., Meunier F.J. ed., Tissus dur et âge individuel des vertébrés, INRA ORSTOM, Bondy, 443-447.

BROTHERS E.B., 1987. Methodological approaches to the examination of otoliths in ageing studies, in R.C. Summerfelt and G.E. Hall ed., Age and Growth of Fish, Iowa State University Press, Ames, 544p.

CAMPANA S.E., NEILSON J.D., 1985. Microstructure of Fish otoliths, Canadian Journal of Fisheries and Aquacultures

Science, 42, 1014-1032.

DEKKER W., 1987. Further results on age reading of European eel using tetracycline labelled otoliths, EIFAC, Working Group on Eel, Bristol, Grande Bretagne, 8p.

DAHL J., 1967. Some recent observations on the age and growth of eels, Proc. Br. Coarse Fish. Conf., 3, 48-52.

GAULDIE R.W., NELSON D.G. A., 1990. Otolith growth in fish, Comparative of Biochemistry and Physiology, 97, 119-135.

LECOMTE-FINIGER R., 1991b. Une méthode d'inclusion rapide des otolithes à l'aide d'une résine autopolymérisante à froid, Communication au colloque « Tissus durs et âge individuel des vertébrés, INRA ORSTOM, Bondy, 103-108.

MORIARTY C., 1983. Age determination and growth rate of eels, *Anguilla anguilla* (L.), Journal of Fish Biology, 23, 257-264.

TSUKAMOTO K., KAJIHARA T., 1987. Age determination of ayu with otolith, in R.C. Summerfelt and G.E. Hall ed., Age and Growth of Fish, Iowa State University Press, Ames, 544p.

VOLLESTAD L.A., LECOMTE-FINIGER R., STEINMETZ B., 1987. Age determination of *Anguilla anguilla* and related species, EIFAC, Working Party on Eel, Bristol, Grande Bretagne, 27 p.

WATABE N., YAMADA Y., TANAKA K., DEAN J.M., 1982. Scanning electron microscope observations of the organic matrix in otolith of the Teleost fish *Fundulus heteroclitus* and *Tilapia nilotica* (L.), J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 58, 127-134.

Annexe 8 : Comparaison de l'âge moyen des mâles et femelles

Welch Two Sample t-test

data: AgeMale and AgeFemelle

t = -10.0341, df = 165.954, p-value < 2.2e-16

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

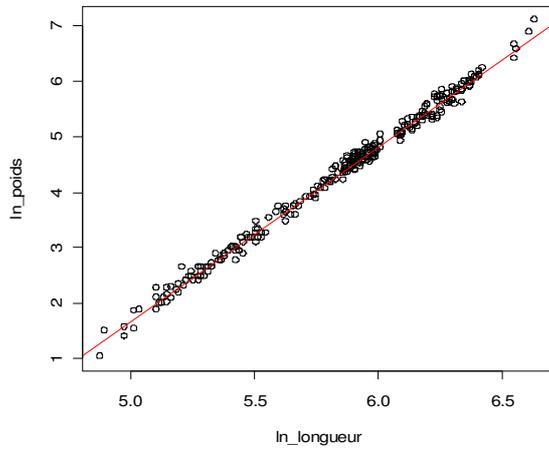
-599.0791 -402.0850

sample estimates:

mean of x mean of y

1695.310

Annexe 9 : Relation Taille-Poids



lm(formula = ln_poids ~ ln_longueur, data = TP)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.268330	-0.066595	-0.003221	0.072108	0.325448

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	-14.16278	0.09197	-154.0	<2e-16 ***
ln_longueur	3.16264	0.01571	201.3	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1046 on 288 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9929, Adjusted R-squared: 0.9929

F-statistic: 4.054e+04 on 1 and 288 DF, p-value: < 2.2e-16

Poids = a * Taille^b

Ln(Poids) = Ln a + b*Ln(Taille)

Ln a = -14,16 d'où a = exp(-14,16) = 7*10⁻⁷

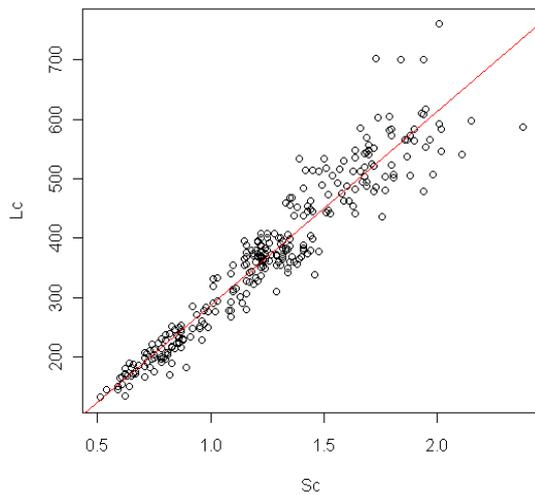
b = 3,16

Donc Poids = 7*10⁻⁷ * Taille^{3,16}

Annexe 10 : Taille moyenne des anguilles de l'Étang de l'Or obtenu par rétrocalcul dans l'étude de Panfili (1993)

Age	N	Taille moyenne	Ecart type
1	833	195	5.2
2	284	285	8.3
3	64	346	7.6
4	19	410	7
5	3	480	10.2

Annexe 11 : Méthode du Retrocalcul



Pour procéder au rétrocalcul, la formule de Fraser-Lee (1920, Panfili *et al.*, 2002) a été utilisée :

$$L_i = b + (L_c - b) (S_i / S_c)$$

Où : L_i est la taille à l'âge i (mm) ; L_c est la taille à la capture (mm) ; S_i le rayon de l'annuli à l'âge i (mm) ; S_c le rayon total de l'otolithe (mm) ; b est l'ordonnée à l'origine de la régression $L_c = d S_c + b$ réalisée sur l'ensemble de l'échantillon, $L_c = 325,71 S_c - 39,111$ ($R^2=0,91$).

N=285 individus

lm(formula = $L_c \sim S_c$, data = IR)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-149.068	-21.711	-1.253	19.550	178.641

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	-39.111	7.869	-4.97	1.16e-06 ***
Sc	325.705	6.021	54.09	< 2e-16 ***

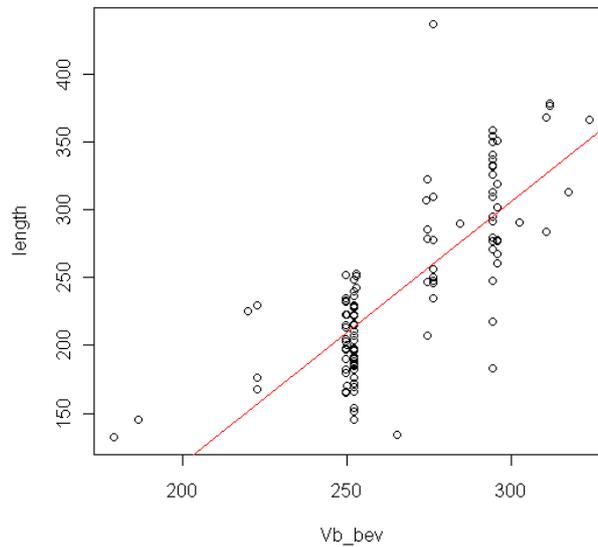
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 39.51 on 283 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9118, Adjusted R-squared: 0.9115

F-statistic: 2926 on 1 and 283 DF, p-value: < 2.2e-16

Annexe 12 : Taille observée en fonction de la taille estimée avec le modèle calibré par D. Bevacqua pour les anguilles indifférenciées



N=116 indifférenciés

lm(formula = length ~ Vb_bev, data = II)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-111.782	-25.099	-3.368	23.601	177.046

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	-272.6502	39.8601	-6.84	4.16e-10 ***
Vb_bev	1.9296	0.1495	12.91	< 2e-16 ***

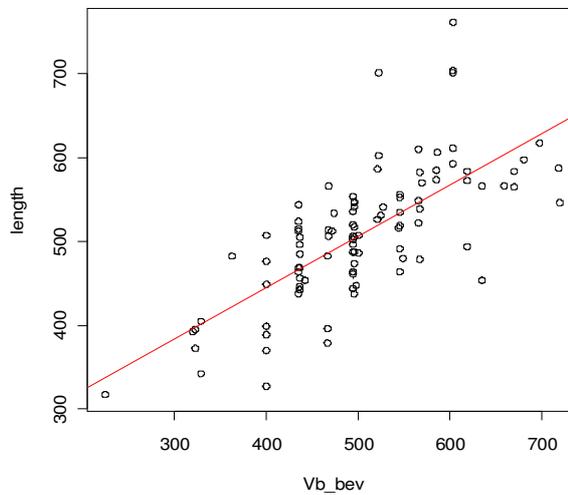
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 40.3 on 114 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5937, Adjusted R-squared: 0.5901

F-statistic: 166.6 on 1 and 114 DF, p-value: < 2.2e-16

Annexe 13 : Taille observée en fonction de la taille estimée avec le modèle calibré par D. Bevacqua pour les anguilles femelles



N= 100 femelles

lm(formula = length ~ Vb_bev, data = IF)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-135.5622	-26.9808	-0.3859	27.5465	190.0847

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	200.92290	30.83216	6.517	3.12e-09 ***
Vb_bev	0.61040	0.06014	10.150	< 2e-16 ***

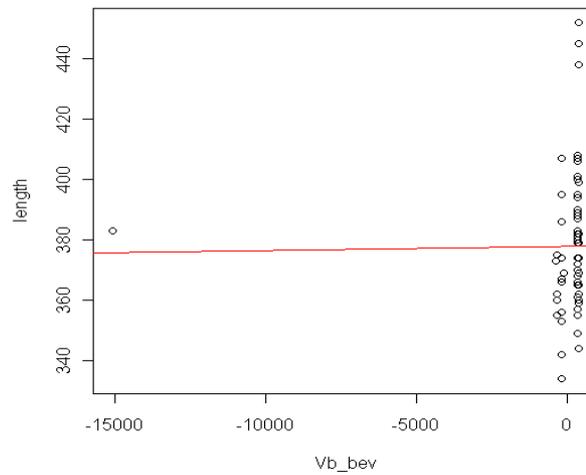
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 55.22 on 98 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.5125, Adjusted R-squared: 0.5075

F-statistic: 103 on 1 and 98 DF, p-value: < 2.2e-16

Annexe 14 : Taille observée en fonction de la taille estimée avec le modèle calibré par D. Bevacqua pour les anguilles mâles.



N=68 mâles

lm(formula = length ~ Vb_bev, data = IM)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-44.021	-13.095	-4.057	10.156	73.903

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	3.780e+02	2.709e+00	139.562	<2e-16 ***
Vb_bev	1.339e-04	1.456e-03	0.092	0.927

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

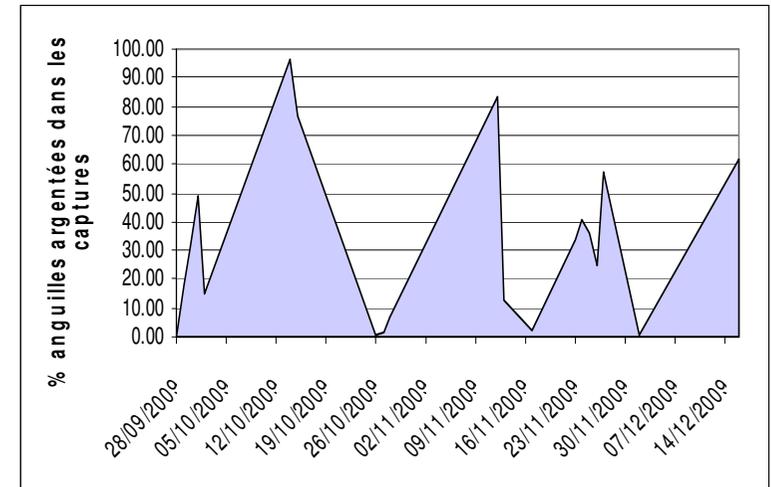
Residual standard error: 22.34 on 66 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.0001281, Adjusted R-squared: -0.01502

F-statistic: 0.008455 on 1 and 66 DF, p-value: 0.927

Annexe 15 : Taux d'argenture dans les captures des pêcheurs

Date	biomasse échantillonnée (kg)	% Ag	% J	Moyenne % Ag
01/10/2009	3.8	48.8	51.2	36.25
02/10/2009	9.1	14.9	85.1	
14/10/2009	25.5	96.1	3.9	
15/10/2009	61.5	76.4	23.6	
26/10/2009	14.1	1.0	99.0	
27/10/2009	17.8	1.2	98.8	
28/10/2009	9.2	6.6	93.4	
12/11/2009	7.1	83.6	16.4		36.34
13/11/2009	11.2	12.9	87.1	
17/11/2009	50.0	2.0	98.0	
23/11/2009	27.7	33.7	66.3	
24/11/2009	14.7	40.6	59.4	
25/11/2009	12.9	35.8	64.2	
26/11/2009	19.4	25.0	75.0	
27/11/2009	5.4	57.1	42.9	
02/12/2009	0.0	1.0	99.0	
16/12/2009	15.1	61.6	38.4	31.29



Annexe 16 : Résultats du modèle de dynamique de la population pour différents maillages

	Pas de pêche	maille 6mm	maille 8mm	maille 10mm	maille 12mm	maille 15mm
Input anguilllette	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000
Capturabilité jaune	0	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023
Nombre ind. Pêché	0	428920	384774	333534	275050	177921
Poids ind. Pêché (t)	0	17,666	15,848	13,737	11,328	7,328
Nombre male jaune Pêché	0	32537	34038	36011	38537	43335
Poids male jaune Pêché (t)	0	3,415	3,572	3,779	4,044	4,548
Nombre fem. jaune Pêché	0	45171	47256	49996	53512	60365
Poids fem. jaune Pêché (t)	0	23,916	25,020	26,470	28,332	31,960
Nombre anguille jaune pêché	0	506628	466068	419541	367100	281620
Poids anguille jaune pêché (t)	0	44,996	44,440	43,987	43,705	43,836
Capturabilité argenté	0	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
Nombre Male argenté pêché	0	35173	36796	38930	41673	47113
Poids Male argenté pêché (t)	0	3,691	3,862	4,086	4,373	4,944
Nombre Femelle argenté pêché	0	7328	7666	8111	8682	9818
Poids femelle argenté pêché (t)	0	3,880	4,059	4,294	4,597	5,198
Nombre anguille argenté pêché	0	42501	44462	47041	50355	56930
Poids total argenté pêché (t)	0	7,571	7,921	8,380	8,970	10,142
Poids echappement mâle (t)	42,031	18,806	19,674	20,815	22,282	25,190
Poids echappement femelle (t)	46,915	13,378	13,996	14,807	15,851	17,924
Poids echappement totale (t)	88,946	32,184	33,670	35,622	38,132	43,114
Production argenté totale (t)	88,946	39,755	41,590	44,002	47,103	53,256
% biomasse échappement/pristine	100	36,2	37,9	40,0	42,9	48,5
% biomasse échappement/production	100	81	81	81	81	81
Capture total (J+Ag) (t)	0	52,568	52,360	52,367	52,675	53,979

Annexe 17 : Résultats du modèle de dynamique de la population pour différentes tailles minimales de capture des anguilles

	Pas de pêche	Pas de taille minimale	180mm	200mm	230mm	250mm	280mm
Input anguillette	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000
Maillage	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm
Capturabilité jaune	0	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023
Nombre ind. Pêché	0	428920	373506	328345	219951	140854	24286
Poids ind. Pêché (t)	0	17,666	15,384	13,524	9,059	5,801	1,000
Nombre male jaune Pêché	0	32537	34194	35905	40779	45221	53120
Poids male jaune Pêché (t)	0	3,415	3,589	3,768	4,280	4,746	5,575
Nombre fem. jaune Pêché	0	45171	47472	49846	56614	62781	73747
Poids fem. jaune Pêché (t)	0	23,916	25,134	26,391	29,974	33,239	39,046
Nombre anguille jaune pêché	0	506628	455172	414096	317344	248856	151154
Poids anguille jaune pêché (t)	0	44,996	44,106	43,683	43,313	43,787	45,621
Capturabilité argenté	0	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
Nombre Male argenté pêché	0	35173	36964	38813	44083	48885	57423
Poids Male argenté pêché (t)	0	3,691	3,879	4,073	4,626	5,130	6,026
Nombre Femelle argenté pêché	0	7328	7701	8086	9184	10185	11964
Poids femelle argenté pêché (t)	0	3,880	4,077	4,281	4,863	5,392	6,334
Nombre anguille argenté pêché	0	42501	44665	46899	53267	59069	69387
Poids total argenté pêché (t)	0	7,571	7,957	8,355	9,489	10,523	12,361
Poids echappement mâle (t)	42,031	18,806	19,764	20,752	23,570	26,138	30,703
Poids echappement femelle (t)	46,915	13,378	14,060	14,763	16,767	18,594	21,842
Poids echappement totale (t)	88,946	32,184	33,824	35,515	40,337	44,731	52,545
Production argenté totale (t)	88,946	39,755	41,780	43,870	49,826	55,254	64,905
% biomasse échappement/pristine	100	36,2	38,0	39,9	45,4	50,3	59,1
% biomasse échappement/production		81	81	81	81	81	81
Capture total (J+Ag) (t)	0	52,568	52,063	52,038	52,802	54,309	57,981

Annexe 18 : Résultats du modèle de dynamique de la population pour différentes diminutions d'effort.

	Pas de pêche	Effort 100%	Effort 75%	Effort 50%	Effort 25%
Input anguille	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000
Maillage	0	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm
Capturabilité jaune	0	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023
Nombre ind. Pêché	0	428920	338933	238396	125937
Poids ind. Pêché (t)	0	17,666	13,960	9,819	5,187
Nombre male jaune Pêché	0	32537	28325	21923	12729
Poids male jaune Pêché (t)	0	3,415	2,973	2,301	1,336
Nombre fem. jaune Pêché	0	45171	41070	33259	20243
Poids fem. jaune Pêché (t)	0	23,916	21,745	17,609	10,718
Nombre anguille jaune pêché	0	506628	408328	293579	158909
Poids anguille jaune pêché (t)	0	44,996	38,677	29,729	17,240
Capturabilité argenté	0	0,011	0,011	0,011	0,011
Nombre Male argenté pêché	0	35173	31541	25021	14665
Poids Male argenté pêché (t)	0	3,691	3,310	2,626	1,539
Nombre Femelle argenté pêché	0	7328	7289	6455	4293
Poids femelle argenté pêché (t)	0	3,880	3,859	3,417	2,273
Nombre anguille argenté pêché	0	42501	38830	31475	18958
Poids total argenté pêché (t)	0	7,571	7,169	6,043	3,812
Poids echappement mâle (t)	42,031	18,806	22,984	28,099	34,361
Poids echappement femelle (t)	46,915	13,378	18,273	24,991	34,220
Poids echappement totale (t)	88,946	32,184	41,258	53,090	68,581
Production argenté totale (t)	88,946	39,755	48,427	59,133	72,393
% biomasse échappement/pristine	100	36,2	46,4	59,7	77,1
% biomasse échappement/production		81	85,2	89,8	94,7
Capture total (J+Ag) (t)	0	52,568	45,846	35,772	21,052

Annexe 19 : Résultats du modèle de dynamique de la population pour différentes périodes de fermeture trimestrielle

	Pas de pêche	Pas de Fermeture	Fermeture J-F-M	Fermeture A-M-J	Fermeture J-A-S	Fermeture O-N-D
Input anguille	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000
Maillage	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm
Capturabilité jaune	0	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023
Nombre ind. Pêché	0	428920	356111	340234	345479	312882
Poids ind. Pêché (t)	0	17,666	14,667	14,013	14,229	12,887
Nombre male jaune Pêché	0	32537	36495	17403	21063	38309
Poids male jaune Pêché (t)	0	3,415	3,830	1,826	2,211	4,020
Nombre fem. jaune Pêché	0	45171	45530	36865	39629	42014
Poids fem. jaune Pêché (t)	0	23,916	24,106	19,518	20,982	22,244
Nombre anguille jaune pêché	0	506628	438136	394503	406171	393205
Poids anguille jaune pêché (t)	0	44,996	42,603	35,358	37,422	39,151
Capturabilité argenté	0	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
Nombre Male argenté pêché	0	35173	39451	42359	2531	4147
Poids Male argenté pêché (t)	0	3,691	4,140	4,445	0,266	0,435
Nombre Femelle argenté pêché	0	7328	8821	9734	4666	5294
Poids femelle argenté pêché (t)	0	3,880	4,670	5,154	2,470	2,803
Nombre anguille argenté pêché	0	42501	48272	52093	7197	9441
Poids total argenté pêché (t)	0	7,571	8,811	9,599	2,736	3,238
Poids echappement mâle (t)	42,031	18,806	21,094	22,648	25,816	22,562
Poids echappement femelle (t)	46,915	13,378	16,222	17,951	19,358	19,846
Poids echappement totale (t)	88,946	32,184	37,316	40,600	45,174	42,408
Production argenté totale (t)	88,946	39,755	46,127	50,199	47,910	45,646
% biomasse échappement/pristine	100	36,2	42,0	45,6	50,8	47,7
%biomasse échappement/production		81,0	80,9	80,9	94,3	92,9
Capture total (J+Ag) (t)	0	52,568	51,414	44,957	40,158	42,389

Annexe 20 : Résultats du modèle de dynamique de la population pour différentes limitations du nombre de pêcheurs

	Pas de pêche	Pas de limitation	7 pêcheurs	5 pêcheurs	4 pêcheurs	3 pêcheurs	2 pêcheurs
Input anguillette	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000	3000000
Maillage	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm	maille 6mm
Capturabilité jaune	0	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023	0,0023
Nombre ind. Pêché	0	428920	398967	352100	310672	248533	172126
Poids ind. Pêché (t)	0	17,666	16,432	14,502	12,796	10,236	7,089
Nombre male jaune Pêché	0	32537	33135	30391	27174	22787	16852
Poids male jaune Pêché (t)	0	3,415	3,477	3,189	2,852	2,391	1,769
Nombre fem. jaune Pêché	0	45171	44428	41798	38790	33704	25752
Poids fem. jaune Pêché (t)	0	23,916	23,522	22,130	20,538	17,845	13,634
Nombre anguille jaune pêché	0	506628	476529	424288	376637	305025	214729
Poids anguille jaune pêché (t)	0	44,996	43,432	39,821	36,185	30,473	22,492
Capturabilité argenté	0	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
Nombre Male argenté pêché	0	35173	27283	21618	18771	15721	11859
Poids Male argenté pêché (t)	0	3,691	2,863	2,269	1,970	1,650	1,245
Nombre Femelle argenté pêché	0	7328	6561	5485	4975	4427	3582
Poids femelle argenté pêché (t)	0	3,880	3,474	2,904	2,634	2,344	1,897
Nombre anguille argenté pêché		42501	33844	27104	23746	20148	15441
Poids total argenté pêché (t)	0	7,571	6,337	5,173	4,604	3,994	3,141
Poids echappement mâle (t)	42,031	18,806	20,180	22,817	24,998	28,175	32,192
Poids echappement femelle (t)	46,915	13,378	15,105	18,103	20,797	25,035	30,848
Poids echappement totale (t)	88,946	32,184	35,285	40,920	45,795	53,210	63,040
Production argenté totale (t)	88,946	39,755	41,622	46,093	50,399	57,204	66,181
% biomasse échappement/pristine	100	36,2	39,7	46,0	51,5	59,8	70,9
% biomasse échappement/production		81	84,8	88,8	90,9	93	95,3
Capture total (J+Ag) (t)	0	52,568	49,769	44,994	40,789	34,467	25,633