



# PROTECTION AQUATIQUE 33

## RAPPORT TECHNIQUE 2021

### Suivi de la dévalaison de l'Anguille européenne sur le bassin versant des lacs médocains



Ce projet est cofinancé par l'Union européenne. L'Europe s'engage en Aquitaine avec le Fonds européen de développement régional (FEDER).





## INFORMATIONS QUALITE

- **CONTROLE QUALITE** :

Nom du document	Rapport technique 2021 : Suivi de la dévalaison de l'Anguille européenne sur le bassin versant des lacs médocains
Récolte des données (inventaires)	Personnel technique de la FDAAPPMA 33
Rédaction, analyse des données	Jean MARTIN
Relecture	Prénom(s) NOM(S)
Maître d'ouvrage / demandeur	FDAAPPMA 33
Version	Version n°1, le 06/10/2021

- **CREDIT PHOTOS** : FDAAPPMA 33 sauf reproduction d'image spécifiée.



## LES PARTENAIRES

Ce programme est réalisé avec le concours technique et financier de plusieurs partenaires.

### Les partenaires financiers :



L'Agence de l'Eau Adour-Garonne

Le département de la Gironde

L'Europe avec les fonds FEDER

La FNPF (Fédération Nationale de la Pêche en France)

La FDAAPPMA 33 (Fédération Départementale des Association Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique de Gironde)

### Les partenaires techniques

Le SIAEBVELG (Syndicat Intercommunal d'Aménagement des Eaux du Bassin Versant des Etangs du Littoral Girondin)



INRAE

MIGADO

L'AFB

La DDTM de la Gironde

La DREAL



# SOMMAIRE

<b>TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX.....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>8</b>
<b>1 MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>19</b>
1.1 LE BASSIN VERSANT DES LACS MEDOCAINS.....	19
1.2 LE SUIVI DE LA MIGRATION D'AVALAISON A BATEJIN .....	20
1.2.1 LA CREATION D'UNE NOUVELLE ECLUSE ET L'AMENAGEMENT DE L'ANCIENNE .....	20
1.2.2 PRESENTATION DE LA ZONE DE PECHERIE .....	21
1.2.3 PROTOCOLE DE SUIVI DE LA MIGRATION D'AVALAISON .....	23
1.2.4 RELEVÉ DES DONNÉES MORPHOLOGIQUES SUR LES ANGUILES.....	23
1.2.5 RELEVÉ DES PARAMÈTRES ABIOTIQUES.....	23
1.2.6 MAINTENANCE.....	23
1.3 PROTOCOLE DE SAISIE ET ANALYSE DES DONNÉES .....	24
1.3.1 DONNÉES QUALITATIVES SUR LES ANGUILES .....	24
1.3.2 DONNÉES ABIOTIQUES .....	24
1.3.3 INDICATEURS DE SUIVI SUR LE LONG TERME .....	25
1.3.4 ANALYSES STATISTIQUES .....	25
<b>2 RESULTATS.....</b>	<b>26</b>
2.1 RESULTATS ET ANALYSE DU SUIVI DE MIGRATION 2018-2021 .....	26
<b>3 DISCUSSION.....</b>	<b>18</b>
3.1 FACTEURS ABIOTIQUES DE DECLENCHEMENT DE LA MIGRATION.....	18
3.2 SEXE RATIO .....	19
3.3 DETERMINISME ENVIRONNEMENTAL DU SEXE CHEZ L'ANGUILLE (B. GEFFROY, 2012).....	20
<b>4 CONCLUSION 2021 .....</b>	<b>18</b>
<b>5 PERSPECTIVES.....</b>	<b>18</b>
<b>6 BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>19</b>

## TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Bassin versant des Lacs Médocains.....	19
Figure 2 : Photographies de (A) l'ancienne écluse de Batejin, (B) après sa mise hors service, et (C) la nouvelle écluse de Batejin .....	20
Figure 3 : Photographies de la station de pêche (A) durant les travaux, et (B) après les travaux.....	20
Figure 4 : (A) Schéma de la station de capture de Batejin et (B) photographie de la station .....	21
Figure 5 : Relation entre la L100 et la dimension des mailles rigides (Ximenes, 1986 ; Baise 2001) ou en filet (Adam 1997 ; Naismith et Knights 1990) .....	21
Figure 6 : Photographies des différents éléments de la station de pêche des anguilles dévalantes de Batejin : (A) filet « chaussette », (B) grille obturatrice, (C) filet défeuilleur, (D) plateforme flottante, (E) annexe, et (F) conteneur .....	22
Figure 7 : Part des anguilles jaunes et argentées capturées.....	26
Figure 8 : Classes de taille des individus capturés.....	27
Figure 9 : Relation taille Poids .....	27
Figure 10 : Part des anguilles capturées dans chaque filet .....	28
Figure 11 : Schéma de présentation des différentes périodes de relevés .....	28
Figure 12 : Nombre de captures en fonction de la hauteur d'eau de la craste de l'eyron .....	18
Figure 13 : Nombre de captures en fonction de la hauteur d'eau déversé par les vannes de Batejin.....	18
Tableau 1 : Captures anguilles et diagramme des classes de taille .....	26



## INTRODUCTION

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) est un poisson migrateur amphibiotique\* thalassotoque\*, la particularité de son cycle de vie réside dans la distance qui sépare son aire de reproduction en mer des Sargasses, de son aire de croissance dans les eaux continentales européennes et nord-africaines. L'anguille connaît depuis les années 1980, un **effondrement de ses stocks**, la classant aujourd'hui « en danger critique d'extinction » par l'UICN\*. Les causes de son déclin sont multiples, pour la plupart d'origine anthropique, comme la surpêche ou la fragmentation de ses habitats.

Depuis 2007, l'anguille fait donc l'objet d'un règlement européen (n°1100/2007) appliqué par chaque état-membre sous forme d'un plan de gestion, visant à sa sauvegarde et à la reconstitution de son stock. Des mesures de gestion sont mises en œuvre depuis 2010 afin de répondre à ces objectifs en France et au niveau local par UGA.

Le lac de Lacanau a été choisi par le COGEPOMI Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre comme site privilégiée de transferts des civelles capturées dans le cadre des quotas de repeuplement mis en place dans le plan national de gestion de l'espèce. **De 2012 à 2015, ce sont près de 2 tonnes de civelles (correspondant à environ 5,5 à 6 millions d'individus) qui ont été déversées dans le lac de Lacanau.** Des suivis ont lieu à la suite de ces « alevinages » mais les taux de recaptures sont très faibles et ne permettent pas de déboucher sur un bilan en termes de production d'anguilles argentées.

Les rivières index, mises en place par l'AFB, sont un réseau de cours d'eau qui permet d'évaluer la montaison (recrutement des civelles sur les cours d'eau) et la dévalaison (retour des anguilles argentées à l'océan). Pour l'UGA Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre, la rivière index était, de 2012 à 2016, la Dronne. Mais depuis 2017, elle a été remplacée par le Canal des Etangs.

Depuis 2008, la FDAAPPMA 33 est engagée dans un suivi de la migration de montaison de l'anguille européenne sur le premier barrage rencontré par les civelles sur cet axe, l'écluse du Pas du Bouc (commune du Porge). Le passage du Canal des Etangs en rivière index nécessite donc l'installation s'une station de comptage sur ce cours d'eau pour permettre le suivi des anguilles d'avalaison. La FDAAPPMA 33 et MIGADO se sont engagées dans un suivi de la migration d'avalaison de l'anguille européenne, la station de suivi est située au niveau de l'ancien ouvrage hydraulique de Batejin.

Les objectifs établis conjointement avec MIGADO et INRAE sont :

- Suivre l'intensité du flux dévalant**
  - ➔ Fréquence de suivi = 2 à 3 relèves par semaine
  - ➔ Comparaison avec les enregistrements caméra blueview (étalonnage/validation)
- Qualité des individus dévalants : Recueil de données biologiques (taille, poids, pathologie, indice oculaire)**
- Déterminer les facteurs déclenchant le signal de dévalaison**
- Récupération de matériel biologique pour investigations supplémentaires INRAE :**
  - ➔ Origine des individus (colonisation naturelle ou transfert) par méthode de fluorimétrie sur morceau de nageoire
  - ➔ Age et Taux de croissance selon sexe
  - ➔ Fenêtre la plus probable de sortie des individus issus des premiers lâchers



# 1 MATÉRIELS ET MÉTHODES

## 1.1 Le bassin versant des lacs médocains

Le bassin topographique des Lacs Médocains d'une superficie d'environ 1 000 km<sup>2</sup> couvre 13 communes et regroupe 2 sous-bassins : le bassin versant du lac de Carcans-Hourtin (411 km<sup>2</sup>) et le bassin versant de Lacanau (572 km<sup>2</sup>). Le bassin des Lacs Médocains est peu marqué par l'activité anthropique, les zones urbanisées ne représentent que 1 % de l'occupation des sols.

Le bassin versant des Lacs Médocains présente une diversité de milieux aquatiques remarquables qui en font un secteur d'accueil très intéressant pour les anguilles. Le réseau hydrographique du bassin est organisé suivant un complexe de grands lacs (Lacanau et Carcans-Hourtin), de canaux, crastes et de zones humides. Les étangs naturels d'eau douce de Lacanau et Carcans-Hourtin sont alimentés par des crastes.

Le bassin versant des Lacs Médocains est également caractérisé par la présence de deux canaux, le canal des étangs et le canal du Porge, qui sont des voies d'écoulements d'origine naturelle, par la suite recalibrées par l'Homme pour le drainage des landes humides. **Le canal des étangs, long de 7,5 km relie le lac de Carcans-Hourtin et le lac de Lacanau.** Le canal du Porge s'étale sur un linéaire de 18,5 km et fait la jonction entre Lacanau et l'exutoire du bassin, le Bassin d'Arcachon. Dans sa partie aval, à partir de l'écluse du Pas du Bouc, ce canal a gardé son aspect naturel méandriforme. Les cours d'eau du bassin versant des Lacs Médocains sont non domaniaux et relève du domaine privé, appartenant à des particuliers, des communes et des collectivités. La gestion des eaux superficielles et des milieux aquatiques est sous la responsabilité du SIAEBVELG\* qui mènent les études et les travaux nécessaires pour la conservation, la gestion et la valorisation du bassin versant.

La pêche professionnelle de la civelle est pratiquée en aval du Canal du Porge, au niveau du bassin d'Arcachon, lieu d'arrivée des anguilles du bassin versant des Lacs Médocains. Le nombre de licences pour la pêche professionnelle maritime sur le secteur est de 17.

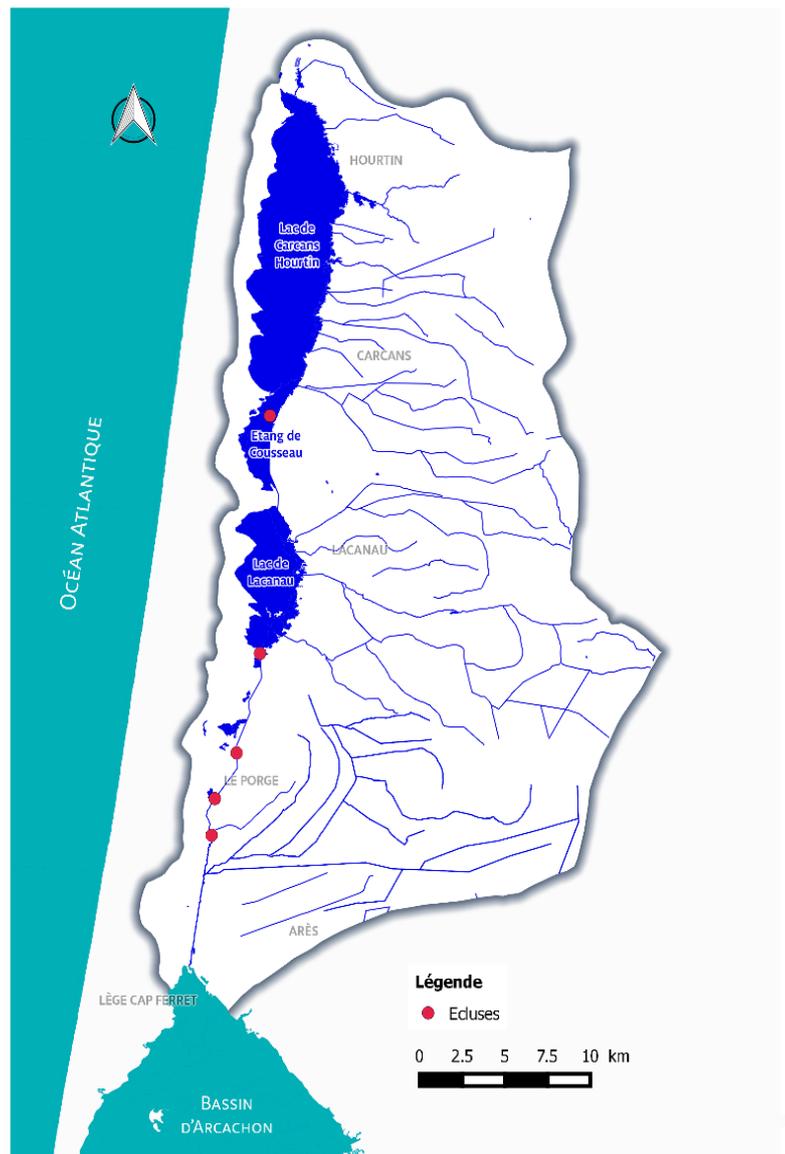


Figure 1 : Bassin versant des Lacs Médocains

## 1.2 Le suivi de la migration d'avalaison à Batejin

### 1.2.1 La création d'une nouvelle écluse et l'aménagement de l'ancienne

L'écluse de Batejin est le premier ouvrage à l'aval du lac de Lacanau. Cette écluse qui a été mise hors service en 2017, suite à la construction d'une nouvelle écluse localisée 50 mètres à l'aval. Cette nouvelle écluse permet au SIAEBVELG une meilleure gestion de la ressource en eau et elle possède 2 passes à poisson : une multi-espèces et une pour les civelles.



Figure 2 : Photographies de (A) l'ancienne écluse de Batejin, (B) après sa mise hors service, et (C) la nouvelle écluse de Batejin

Le chantier pour l'installation de la nouvelle station de comptage a eu lieu durant le mois de juillet 2018. Durant ce chantier, des glissières ont été installées pour la pose des engins de pêche, ainsi que de nouveaux garde-corps sur l'ouvrage et différents points d'accroche.



Figure 3 : Photographies de la station de pêche (A) durant les travaux, et (B) après les travaux

### 1.2.2 Présentation de la zone de pêche

L'ouvrage est composé de 8 portes, celles situées sur les cotés sont équipés de verveux sans ailes de 10 mètres de long et de mailles 10mm, appelés « Filets chaussettes » et pour les 4 autres ouvertures, des grilles obturatrices d'une maille de 20 mm sont installés. Ces dernières sont présentes pour « forcer » le passage des anguilles dans les « chaussettes » sur les rives.

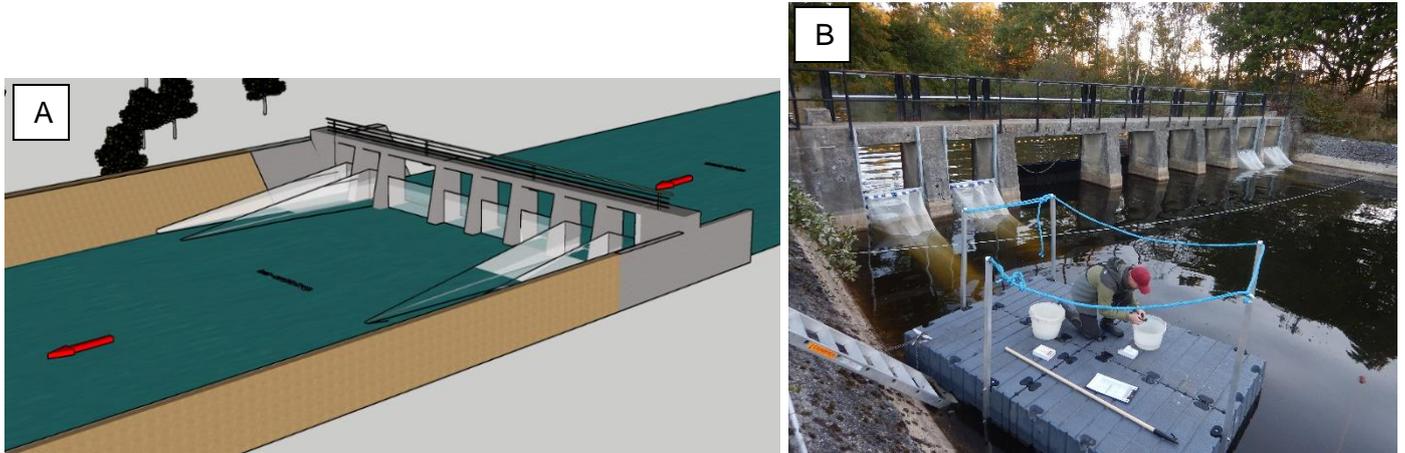


Figure 4 : (A) Schéma de la station de capture de Batejin et (B) photographie de la station

La sélectivité des **verveux de mailles 10 mm** vis-à-vis des longueurs d'anguilles a été estimée auparavant sur le lac de Grand lieu (Adam, 1997). Les verveux professionnels à mailles carrées de 10 mm utilisés pour la capture des anguilles sur ce lac présentaient une sélectivité minimale pour les anguilles de moins de 240 mm de longueur (aucune capture pour la classe de longueurs < 240 mm) et une **sélectivité maximale pour les anguilles supérieures à 330 mm**. La figure ci-dessous illustre la relation qui existe entre la longueur des anguilles capturées avec une sélectivité de 100% en fonction de la dimension des mailles des engins de pêche utilisés (*maille rigide ou souple*).

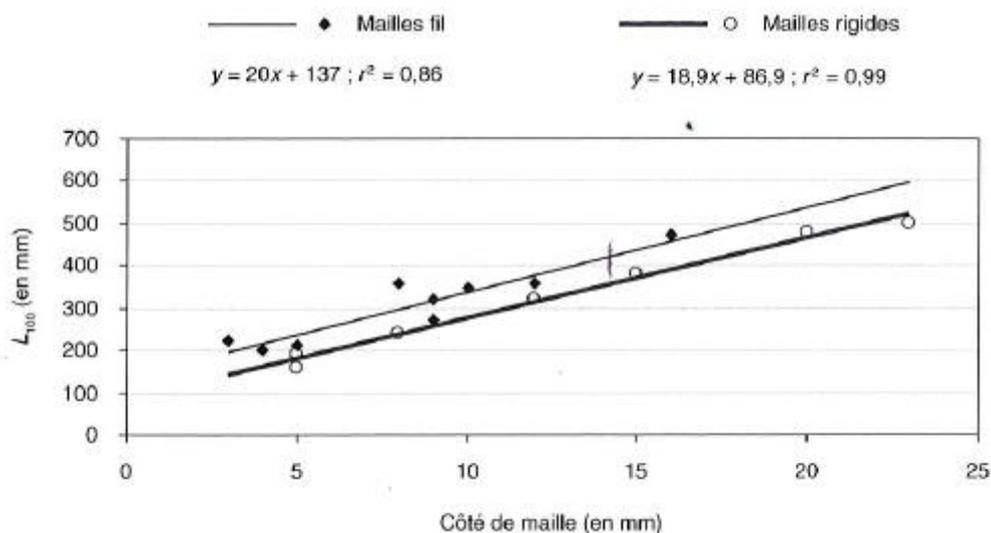


Figure 5 : Relation entre la L100 et la dimension des mailles rigides (Ximenes, 1986 ; Baise 2001) ou en filet (Adam 1997 ; Naismith et Knights 1990)

En appliquant la formule «  $y = 18.9x + 86.9$  » pour les mailles rigides concernant la sélectivité des **grilles de 20mm** on obtient une sélectivité maximale pour des **anguilles de taille supérieure à 464.9 mm**.

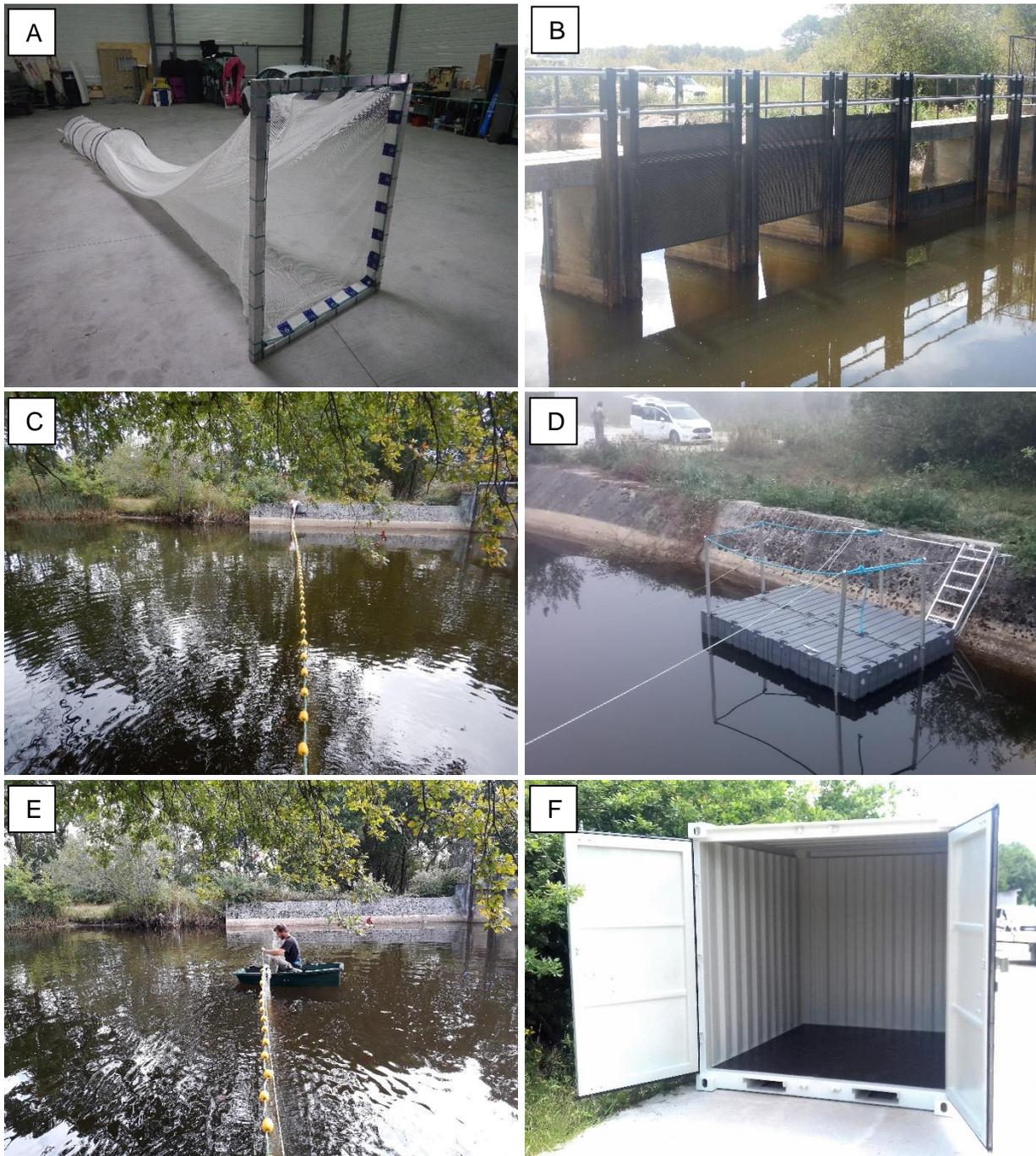
**En résumé, nos verveux de mailles souple 10 mm, capturent des anguilles de tailles supérieures à 330 mm, et les grilles de 20 mm bloquent le passage des anguilles supérieures à 464.9 mm.**

Si l'anguille est capable d'aller au contact des grilles et, le cas échéant, de forcer le passage, certains auteurs (in CHANSEAU et al, 2012) ont mis en évidence un effet répulsif du plan de grilles. Elles agissent sur un plan comportemental en incitant les anguilles dévalantes à chercher un autre passage possible (en l'occurrence les filets chaussettes).

Un filet défeuilleur (Figure 4 (c)) est présent à l'amont de la station et a pour rôle de ramasser les flottants (feuilles, branches, ...) présents à la surface du canal pour empêcher leur accumulation dans les engins de pêche.

Pour faciliter l'accès aux différents éléments de la station, une plateforme flottante modulaire (Figure 4 (d)) est installée à l'aval de l'ouvrage (installation/retrait/manutention des filets) et une annexe (Figure 4 (e)) peut être installée à l'amont de l'ouvrage (manutention des grilles et du filet défeuilleur).

Sur site est aussi présent un conteneur permettant le stockage du matériel (Figure 4 (f)).



**Figure 6 : Photographies des différents éléments de la station de pêche des anguilles dévalantes de Batejin : (A) filet « chaussette », (B) grille obturatrice, (C) filet défeuilleur, (D) plateforme flottante, (E) annexe, et (F) conteneur**

### 1.2.3 Protocole de suivi de la migration d'avalaison

Au vu de la littérature déjà présente sur cette migration et les échanges avec la FDAAPPMA 40, qui réalise un suivi équivalent à Soustons, la dévalaison diurne représente une part très faible de l'ensemble des individus migrants. La pose des pièges s'effectue donc en fin de journée, avant la tombée de la nuit. La relève s'effectue au lever du soleil, tous les individus capturés sont placés dans des viviers, les anguilles sont triées et différentes données morphologiques sont mesurées. Pour les autres espèces, seule la présence est notée. Le suivi se réalise tout au long de l'année et est séparé en 2 périodes, en fonction de l'activité des anguilles dévalantes :

- La période de forte activité qui se déroule de janvier à mai, et de fin octobre à décembre : 3 sessions de pêche sont effectuées par semaine
- La période de faible activité qui se déroule juin à septembre : 2 sessions de pêche sont effectuées par mois

### 1.2.4 Relève des données morphologiques sur les anguilles

Différents paramètres sont récoltés sur les anguilles capturées :

- La taille (en mm)
- Le poids (en g)
- L'état pathologique
- La robe de l'anguille : argenté, en cours d'argenture ou jaune
- Les diamètres de l'œil vertical et horizontal (en mm)
- La longueur de la nageoire pectorale (en mm)

### 1.2.5 Relève des paramètres abiotiques

Différents paramètres physico-chimiques et environnementaux sont relevés lors des poses et relèves des engins passifs :

- La température
- Le pH
- La conductivité
- Le taux d'oxygénation
- L'hydrologie
- La hauteur d'eau
- La nébulosité
- La transparence
- La classe de vitesse

Plusieurs paramètres environnementaux sont recueillis par d'autres structures et sont donc récupérées à posteriori :

- L'ouverture des vannes de batejin
- Le débit de la craste de l'eyron (témoin de la mise en charge du lac de lacanau)
- La pluviométrie sur lacanau

### 1.2.6 Maintenance

A chaque passage, les opérateurs s'assurent que le dispositif fonctionne de manière optimale (nettoyage, veille sur le canal...). Tous les dysfonctionnements et les opérations de maintenance sont consignés dans la fiche terrain.

Durant la période de forte activité et pour des raisons de difficulté de manutention, les grilles obturatrices ne seront pas manipulées au début et à la fin de chaque session de pêche, mais elles seront

mises à l'eau lors de la première pose de la semaine et retirées lors de la dernière relève de la même semaine.

### 1.3 Protocole de saisie et analyse des données

Toutes les données récoltées lors des suivis sur la passe sont saisies puis bancarisées au sein de la base interne de la FDAAPPMA 33.

#### 1.3.1 Données qualitatives sur les anguilles

- Les données récoltées de taille, poids et mesures biométriques vont permettre de caractériser la qualité de la fraction d'anguilles piégées
- Mesure de l'indice oculaire :

$$IO = \left( \frac{D_v + D_h}{4} \right)^2 \times \frac{\pi}{L_t} \times 100$$

IO : indice oculaire

$D_v$  : diamètre oculaire vertical

$D_h$  : diamètre oculaire horizontal

$L_t$  : longueur totale

- Mesure de l'indice de la nageoire pectorale :

$$ILn = \frac{L_n}{L_t} \times 100$$

ILn : indice de la nageoire pectorale

$L_n$  : longueur de la nageoire pectorale

$L_t$  : longueur totale

- Mesure de l'indice de DURIF : utilise les indices oculaires et de la nageoire pectorale pour déterminer le stade de maturité chez l'anguille (anguille jaune ou argentée)
- 

#### 1.3.2 Données abiotiques

- Les données thermiques de l'eau récoltées à chaque relevé → mettre en évidence l'influence de la thermie sur la dévalaison
- Les hauteurs d'eau sont mesurées à chaque relevé en pied d'ouvrage → mettre en évidence l'influence des débits
- La turbidité, la nébulosité et la phase lunaire sont récupérées soit directement sur le terrain, soit sur internet → mettre en évidence l'influence de la luminosité
- Le débit à Batejin (transmis par le SIAEBVELG) : les débits sont estimés selon les volumes entrants et sortants des lacs par EGIS
- Les filets dans lesquels les individus sont capturés sont relevés → mettre en évidence les potentiels trajets des anguilles dans le canal.

### 1.3.3 Indicateurs de suivi sur le long terme

- Le nombre de suivis réalisés sur une année
- Le nombre d'anguilles contrôlées chaque année

### 1.3.4 Analyses statistiques

Par la suite une analyse statistique est faite grâce au logiciel R Studio. On utilise un test de corrélation de Spearman car les données étudiées ne semblent jamais suivre une distribution normale. Un GLM\* (Model Linéaire Généralisé) est ensuite réalisé afin de savoir si un élément influe sur les effectifs de poissons observés. Dans tous les cas c'est une correction de Quasi-Poisson qui est réalisée et peut être considérée comme suffisante. Pour comparer deux moyennes entre elles, notamment pour comparer les biomasses ou les effectifs d'anguilles entre la rive droite et la rive gauche, c'est un test de Student avec correction de Welch qui est appliqué car les variables sont nombreuses (>30) et ne semblent pas suivre une distribution normale. Lorsque plus de deux moyennes ont été comparées (comparaison des biomasses ou des effectifs des 4 pièges différents) cela a été fait avec un test de Kruskal Wallis dont l'application se justifie comme pour les deux tests précédents. Par la suite, pour savoir quels pièges diffèrent des autres, un test dit « post hoc » a été mis en œuvre. Enfin, la normalité a toujours été évaluée par un test de Shapiro.

## 2 RESULTATS

### 2.1 Résultats et analyse du suivi de migration 2018-2021

Les résultats présentés dans ce rapport sont issus des données récoltées du **01/10/2018** au **24/03/2021**, soit **95 nuits complètes de suivi au total**.

Tableau 1 : Captures anguilles et diagramme des classes de taille

Couleur	Jaune		Argentée	
Effectifs	80		494	
Taux d'argentées en effectif	86,06%			
Biomasses (g)	14981,5		78428,6	
Taux d'argentées en biomasse	83,96%			
Sexe	Mâle ou Femelle	Femelle	Mâle	Femelle
Taille	< 45 cm	> 45 cm	< 45 cm	> 45 cm
Effectifs	49	31	380	114
Biomasses (g)	2873	12108,5	25815,5	52613,1
Total Effectif	574			
Total Biomasse	93410,1			

Les résultats présentés dans ce rapport sont issus des données recueillies entre le 1er octobre 2018 et le 24 mars 2021. Au total, **574 anguilles** ont été capturées regroupant 494 individus argentés et 80 individus jaunes. Le taux moyen d'argenture\* des individus qui effectuent une dévalaison est de 83.96 %.

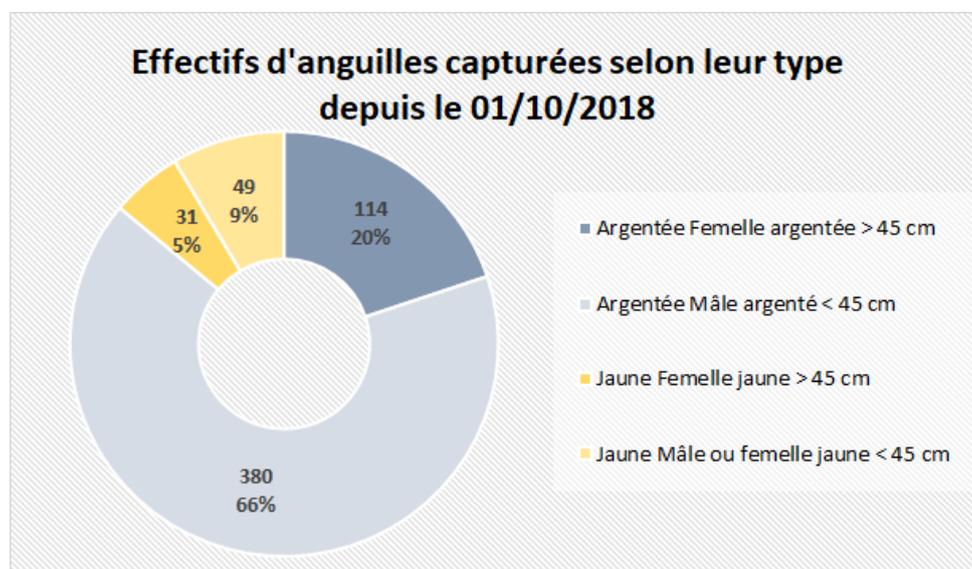
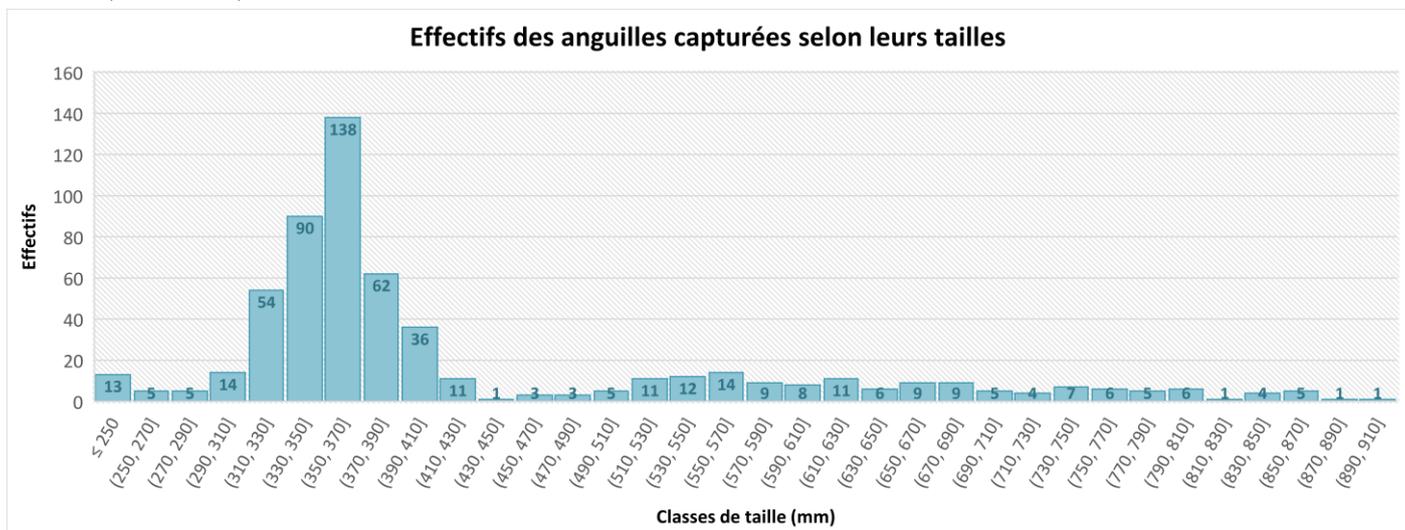


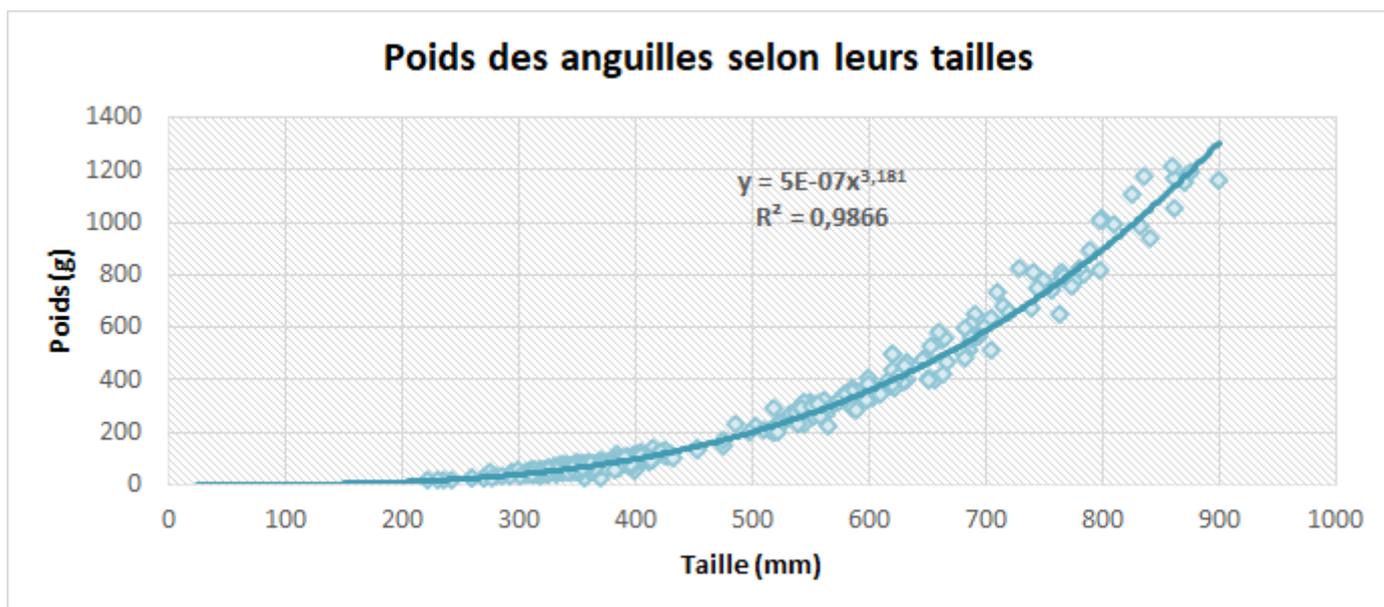
Figure 7 : Part des anguilles jaunes et argentées capturées

On constate que le nombre de femelles supérieures à 45 cm est de 146 individus. Le nombre de petits individus (< 45 cm) est bien supérieur : 429 individus, soit 74% de l'échantillonnage. La distribution des tailles des individus capturés est assez large (cf figure ci-dessous). Les plus petites anguilles mesurent 25 cm et les plus grandes atteignent 90 cm. C'est la classe de taille allant de 37 à 38 cm qui compte le plus d'individus parmi les différentes captures.



**Figure 8 : Classes de taille des individus capturés**

- ☑ Dans la littérature, nos verveux de maille souple 10 mm, sont censés capturer uniquement les anguilles de tailles supérieures à 330 mm. Cette affirmation semble effectivement juste au regard du graphique ci-dessus qui fait apparaître un pic de capture pour les individus compris entre 300 et 400 mm et peu de captures d'individus inférieurs à 300 mm.
- ☑ Concernant la sélectivité des grilles de 20 mm, elles sont censées bloquer uniquement le passage des anguilles supérieures à 464.9 mm. Il est donc vraisemblable qu'une certaine proportion d'individus inférieurs à cette taille échappe à notre échantillonnage. Pour autant les individus < 45 cm représentent 70% des captures observées sur Batejin. On peut donc conclure avec certitude que ce pourcentage de capture d'individus < 45 cm est sous-estimé, puisque les mailles des grilles les laissent majoritairement passer au travers.



La figure ci-dessous montre une relation exponentielle classique entre la taille et le poids des individus capturés.

**Figure 9 : Relation taille Poids**

La relation entre le poids et la taille des individus capturés est décrite par une courbe exponentielle tel que  $y=a.x^b$  avec ici  $a = 5.10^{-7}$  et  $b = 3.181$  ( $R^2 = 0.98$ ).

La Figure suivante présente la part des anguilles capturées dans chaque filet. Les filets B1 et B2 installé **en rive droite représentent 70 % des captures, dont 39% uniquement pour le filet B1 (le long de la berge en rive droite)**. **Seulement 30 % des effectifs sont capturés par les filets installés en rive gauche** (Test de Student avec correction de Welch :  $t = 3.319$ ,  $df = 202.89$ ,  $p\text{-value} = 0.001071$ , moyenne droite=3.564815 , moyenne gauche=1.611111).

Ce constat est en accord avec les anciennes pêcheries de Batejin qui étaient préférentiellement placées en rive droite du canal (*comm. pers. Robert Laubian*).

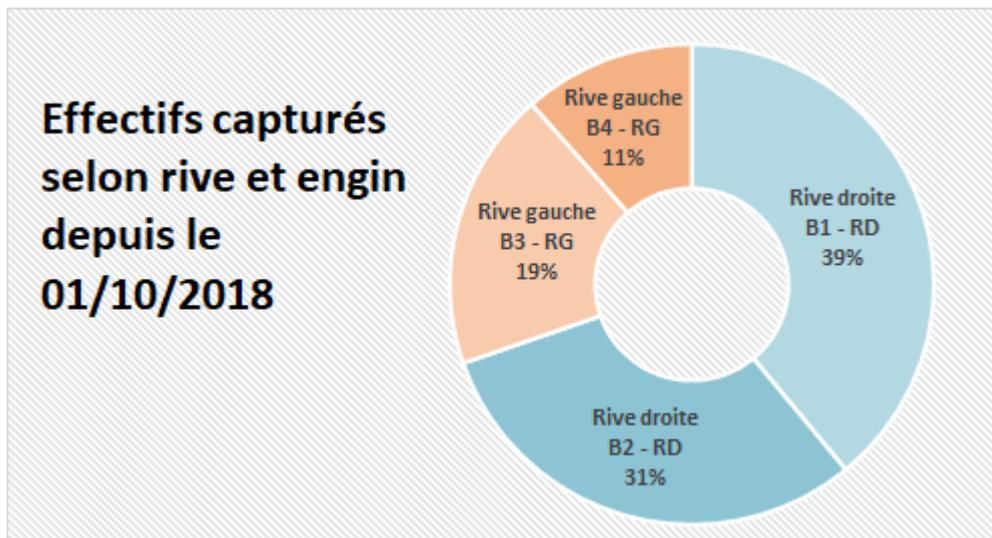


Figure 10 : Part des anguilles capturées dans chaque filet

Depuis le début de l'étude les relevés ont été effectués lors de certaines périodes clefs, c'est-à-dire qui correspondent aux périodes de dévalaison décrites dans la littérature.



Figure 11 : Schéma de présentation des différentes périodes de relevés

Sur la Figure suivante, on constate que les pics de dévalaison ont lieu de décembre à fin mars, et coïncident avec la mise en charge du lac de Lacanau, constaté grâce à la hauteur d'eau sur la Craste de l'Eyron. Cette période est liée à une pluviométrie abondante qui engendre l'épisode massif de dévalaison des anguilles argentées.

## Effectifs d'anguilles capturées selon la hauteur de l'Eyron



Figure 12 : Nombre de captures en fonction de la hauteur d'eau de la craste de l'Eyron

Chaque épisode pluvieux associé à une augmentation du niveau d'eau de la craste de l'Eyron (synonyme de « mise en charge du lac de lacanau ») semble déclencher la migration d'avalaison. A contrario, un épisode pluvieux non associé à une augmentation de hauteur d'eau sur la craste de l'Eyron ne provoque pas de dévalaison. *Certains pics de migration n'ont pas été enregistrés alors même qu'un épisode pluvieux associé à la montée de la craste de l'Eyron ont eu lieu. Ceci est dû à l'impossibilité de mettre en place le piège à cause des débits trop importants.*

### Effectifs d'anguilles capturées selon la surverse des vannes de Batejin

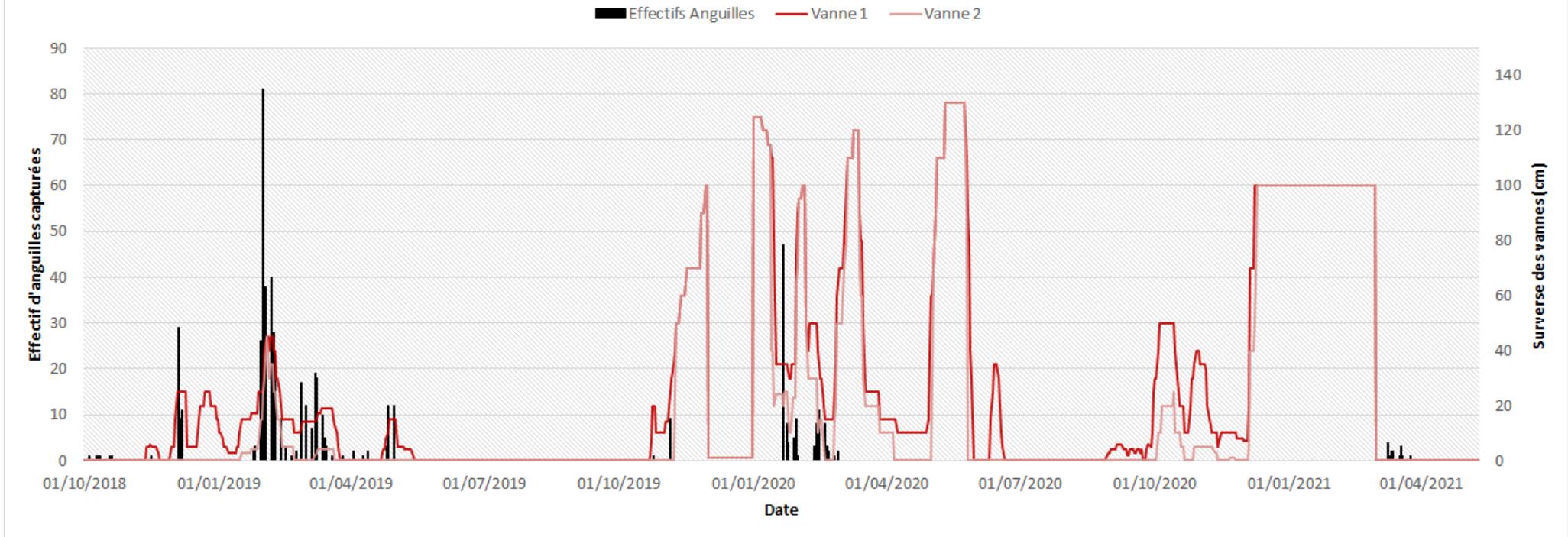


Figure 13 : Nombre de captures en fonction de la hauteur d'eau déversé par les vannes de Batejin

La figure ci-dessus caractérise la corrélation entre l'ouverture des vannes à Batejin (rive droite notamment) et les pics de dévalaison. Plus la hauteur de surverse est importante, plus la dévalaison est importante. **En janvier et février 2019 et 2021, les 2 vannes (rive gauche et droite) étaient baissées avec une surverse importante, ce qui a engendré un appel d'eau vers l'aval. L'ouverture des vannes augmente le courant amont-aval dans le canal et ce faisant déclenche le signal de dévalaison des anguilles du lac de Lacanau vers le bassin d'Arcachon. En décembre 2019 et mars 2021 les crues n'ont pas permis de poser le piège à cause du débit trop important dans le canal.**

## 3 Discussion

### 3.1 Facteurs abiotiques de déclenchement de la migration

**La période de dévalaison** semble s'établir l'hiver, **d'octobre à fin mars dans notre cas**. La période de dévalaison est variable selon les cours d'eau et les années (in CHANSEAU et al., 2012). Il est admis que la saison automnale est la plus importante mais que des migrations peuvent avoir lieu toute l'année (ENVIRONMENT AGENCY, 2011). Selon les conclusions de la synthèse réalisée par ACOU et al. (2009), « si l'intensité migratoire des anguilles argentées est maximale pendant la deuxième moitié de l'année entre Août et Décembre, celle-ci est cependant observable toute l'année ». Une période minimale de 8 mois est avancée (CHADWICK et al., 2007) avec une **fenêtre principale entre septembre et janvier** (DWA, 2005). En France, des migrations ont récemment été observées à minima d'octobre à février sur la Dordogne (ECOGEA – EDF, 2010) et toute l'année, avec une activité importante en fin d'été et en automne et une activité plus faible au printemps, sur la Bresle (ICES – FAO, 2011).

L'influence de certains **facteurs environnementaux** sur le déclenchement de la migration d'avalaison a été également mise en évidence (CULLEN et McCARTHY, 2003 ; HARO, 2003 ; KEMA, 2003 ; CHADWICK et al., 2007 ; ACOU et al., 2009 ; BRUIJS et DURIF, 2009). De façon générale, les conditions environnementales observées lors des principaux pics de migration correspondent souvent pour les anguilles à des conditions de **faible luminosité résultant des précipitations** (augmentation de la turbidité et du niveau de l'eau et couverture nuageuse), de l'effet du vent (augmentation de la turbidité par mise en suspension de la vase des étangs peu profonds) et des conditions de Lune. **Dans la littérature on note que les conditions « idéales » pour le déclenchement d'une migration massive sont (« tempête » et « absence de Lune »).** Par ailleurs, l'intensité migratoire maximale est souvent observée en début de nuit (jusqu'à 22h) puis l'activité de migration baisse en fin de nuit jusqu'au matin.

Dans notre cas, le nombre d'anguilles **est positivement corrélé à la hauteur d'eau de la craste de l'Eyron d'une part et à l'ouverture des vannes** d'autre part (*Tests de Corrélation de Spearman : p-value << 0.05, rho < 1*). Enfin, une corrélation positive apparaît entre le nombre d'individus capturés et la côte du lac de Lacanau. La pression atmosphérique et la proportion de lune visible ont aussi été relevées chaque jour. Cependant, que ce soit par un examen visuel des graphiques obtenus ou par une analyse statistique, aucune relation ne semble exister entre ces deux paramètres et les quantités d'anguilles piégées (*Test de Corrélation de Spearman : Pression atmosphérique : p-value=0.2512, rho=0.1598, influence de la lune : p-value=0.1725, rho=-0.1883*). On peut mettre en évidence que **lorsque les précipitations, la hauteur d'eau dans la craste de l'Eyron, les surverses des vannes de Batejin ou les côtes du lac de Lacanau et du Bief de Batejin augmentent, les effectifs de poissons capturés augmentent**. En effet, tous ces paramètres abiotiques sont liés les uns aux autres. Les précipitations, plus fréquentes en hivers, à partir du mois de décembre, engendrent une mise en charge du lac de Lacanau. La hauteur de la craste de l'Eyron, principale affluent du lac, témoigne de cette augmentation du niveau d'eau sur l'ensemble du bassin versant. Durant cette période de hautes eaux, le syndicat de bassin versant des lacs médocains (SIAEBVELG) manœuvre l'ouverture des vannes de Batejin (exutoire du lac) dans le but de réguler le niveau d'eau dans le lac de Lacanau. On parle à ce moment d'un **débit d'attrait** qui guide les anguilles vers la sortie du lac et déclenche la dévalaison des argentées. Ce constat rejoint ceux décrits dans la bibliographie. Ainsi, comme l'a supposé Bertin dès 1951 ou constaté Durif en 2003, **cette augmentation du débit peut présenter une occasion pour les anguilles d'amorcer leur dévalaison en réalisant des économies énergétiques** car la nage vers l'océan est alors peu coûteuse.

Concernant la **pression atmosphérique et les phases lunaires**, aucun lien entre les effectifs d'anguilles et ces paramètres n'a été mis en évidence dans cette étude. En effet ces deux paramètres, pris individuellement, ne semblent pas influencer sur le nombre de poissons en dévalaison. Ces facteurs ont été étudiés dans d'autres systèmes, mais leurs réels effets ont été souvent remis en question. Effectivement, ils

auraient un effet endogène sur les anguilles, ainsi leur activité semble augmenter en cas de dépression ou de nouvelle lune même en captivité. Mais en milieu naturel des résultats très variables sont obtenus et ne permettent pas d'attribuer un réel effet sur la migration des géniteurs. De plus, il est possible de penser que la lumière de la lune peut influencer sur le comportement des poissons. Or, cette luminosité est à mettre en relation avec la turbidité de l'eau qui évolue au cours du temps. Ainsi la luminosité éventuellement perçue par les organismes aquatiques n'est pas toujours celle réellement produite par la lune.

Le suivi mené par MIGRADOUR sur le BV de Soustons permet le constat suivant : les pics de migrations semblent être le résultat d'une lune noire ou absente et de conditions météorologiques particulières, c'est-à-dire du vent et des précipitations qui augmentent la turbidité. Le vent semble être un facteur important car, au niveau du bassin landais étudié, il permettrait un brassage accru des étangs peu profonds augmentant alors la quantité de vase en suspension. Ainsi, c'est bien la conjugaison de tous ces facteurs qui déclenche la dévalaison et pas un des facteurs pris isolément.

### 3.2 Sexe ratio

La durée de la phase de croissance est très variable en fonction du milieu de développement et des individus : de **3 à 9 ans en moyenne pour les mâles et de 5 à 18 ans pour les femelles** (FEUNTEUN et al., 2011). La différenciation sexuelle des gonades s'effectue à partir d'une longueur d'environ 30 cm (TESCH, 1979). Les mâles, qui ont un taux de croissance et une durée de résidence en milieu continental inférieurs (BERTIN, 1951 ; TESCH, 1979 ; ADAM, 1997), sont beaucoup plus petits que les femelles. Il est d'usage de considérer **qu'un individu de plus de 45 cm est obligatoirement une femelle** (COLOMBO et ROSSI, 1978 ; HARALDSTATD et al., 1985 ; POOLE et al., 1990 ; VOELLESTAD, 1992 ; DE LEO et GATTO, 1995). **Les zones situées à l'aval des bassins, présentant peu d'obstacles à la montaison et des densités d'anguilles plus élevées, accueillent une forte proportion de mâles alors que les femelles sont majoritaires dans les parties amont** (MELIA et al., 2006).

**Dans notre cas, le sexe ratio est déséquilibré en faveur d'une majorité de mâles.** Nos captures font état d'une majorité de jeunes individus dévalants (< 45cm soit 70% des captures), qui pourraient potentiellement être issus des alevinages récents (4 tonnes de civelles dans le lac de Lacanau depuis 2011). En revanche, les grosses femelles (> 45 cm), plus âgées, représentant seulement 30% des captures, seraient potentiellement des individus issus de la colonisation naturelle. Ces hypothèses restent à vérifier par INRAE grâce à la détection des marquages de civelles effectués avant déversement sur les tissus osseux.

**Pour comparaison**, de très fortes proportions de mâles ont été observées sur les lagunes méditerranéennes (60 à 97 % ; AMILHAT et al., 2008 ; CHARRIER, 2009) et sur le Frémur à Pont-es-Omnès (70 % ; LEGAULT et al., 1993) ou la lagune de Bages-Sigean dans l'Aude (11), où les mâles composaient 97% de la population. Par ailleurs, l'étang du Vaccarès (13) en 2003, présentait quasiment autant de femelles que de mâles. A contrario, des populations quasi-exclusivement composée de femelles ont été observées sur la Nive à Halsou (98 % ; GOSSET et al., 2005), la Dordogne à Mauzac (100 % ; ECOGEA pour EDF, 2010), la Bresle à Beauchamps (98 % ; FOURNEL, EUZENAT et FAGARD, com. pers. in CHANSEAU et al., 2012) ou encore la Dronne à Poltrot (100 % ; EPIDOR, com. pers. in CHANSEAU et al., 2012) par exemple.

L'étude de 2016 des anguilles dévalantes sur le lac de Grand Lieu (44), présente des résultats comparables aux nôtres, avec seulement 20% de femelles. Cette même étude indique que sur l'étang de l'Or dans l'Herault (34), la proportion de femelles relevées était de 32%. Une comparaison avec les résultats trouvés par l'association MIGRADOUR à Soustons dans les Landes (40) est aussi possible et paraît très appropriée. Cette étude présente une majorité de mâles capturés (60%) lors des périodes de migration des géniteurs. **Ainsi, à l'échelle des bassins versant français il existe une grande variabilité de la proportion de mâle ou de femelle dévalants.**

Concernant la taille des femelles capturées, elle pourrait être liée aux dimensions des bassins versants (BOUILLON et HAEDRICH, 1985 pour l'anguille américaine ; DURIF et al., 2005). Un bassin versant productif et large produirait de grosses femelles. **Dans notre cas, la proportion de femelles de « petite taille » est très élevée (90% de femelles < à 70 cm).** En comparaison à d'autres cours d'eau situés dans le Sud-Ouest de la France, il apparaît que les femelles < à 70 cm représentent 60 % et 45 % sur la Nive (GOSSET et al., 2005), 32 % et 15 % sur la Dronne (EPIDOR, com. pers. in CHANSEAU et al., 2012), 13 % et 4 % sur la Dordogne (ECOGEA pour EDF, com. pers. in CHANSEAU et al., 2012)).

### 3.3 Déterminisme environnemental du sexe chez l'anguille (B. Geffroy, 2012)

**Les lacs avec de faibles taux de recrutement sont des zones propices pour la production de femelles** (Beentjes et Jellyman, 2003). En France, la rivière du Frémur fait l'objet d'un suivi régulier concernant la dynamique de la population d'anguilles. Si les conditions locales ont, pendant longtemps, favorisé une grosse production d'anguilles (50 anguilles jaunes/100 m<sup>2</sup>) dans cette rivière, conduisant à un fort pourcentage de mâles (69%) (Lafaille et al. 2006), les auteurs remarquent néanmoins un shift progressif du sex-ratio vers les femelles ces dernières années. En Irlande et en Angleterre, les études en milieu naturel rapportent également un **fort déséquilibre en faveur des mâles lorsque les rivières présentent des densités d'individus très importantes et/ou que la capacité d'accueil du milieu atteint sa limite** (Rosell et al. 2005, Bark et al. 2007). Egusa (1979) fut l'un des premiers auteurs à constater que **les fortes densités en conditions d'aquaculture sont associées à un déséquilibre du sex-ratio qui penche en faveur des mâles chez *A. japonica* et *A. anguilla***. Plus tard Roncarati (1997) a confirmé l'effet de l'augmentation de la densité sur la production de mâles en conditions expérimentales. Han et Tzeng (2006) constatent que le sex-ratio est biaisé en faveur des femelles (85%) dans des conditions de très faibles densités (0.01 ind/m<sup>2</sup>). Chu et al. (2006) proposent que **les fortes densités conduisent à une diminution de la nourriture (via la compétition), qui se traduit par une surproduction de mâles, plus petits**. En effet, de fortes densités d'anguilles peuvent limiter la quantité de nourriture et/ou l'accès à la nourriture empêchant ainsi certains individus d'avoir une croissance optimale (Jellyman, 1997).

#### Conséquence en termes de gestion de l'espèce :

**Le Groupement de recherche sur les migrateurs amphihalins (GRISAM) souligne que l'introduction massive de jeunes anguilles peut avoir des conséquences majeures sur le sex-ratio dans ces lieux de repeuplement (Briand et al. 2008) dans la mesure où la densité est un facteur prépondérant, influençant le déterminisme du sexe des individus.** La compétition entre anguillettes nouvellement implantées et anguilles occupant déjà la niche écologique peut conduire à des changements démographiques drastiques. En effet, le repeuplement de jeunes anguillettes dans une zone lacustre du nord de l'Irlande a conduit à une migration massive de mâles adultes vers les zones en aval (Parsons et al. 1977). De plus, Verreault et al. (2009) a constaté un changement rapide du sex-ratio après l'introduction de 40 000 civelles dans un lac ne produisant que des femelles (Castonguay et al. 1994, Verreault et al. 2009). **L'alevinage massif récent en civelle (4 Tonnes), effectué depuis 2011, dans le lac de Lacanau, a pour but de produire de futures anguilles argentées. L'objectif affiché d'un tel alevinage est de soutenir une population qui a parfois des difficultés à accéder aux zones de croissance. Mais l'introduction de ces civelles ne favoriserait-elle pas la production de mâles, comme on le constate sur la pêcherie de Batejin depuis 2018 ?**

## 4 Conclusion 2021

L'analyse des données récoltées au niveau de l'ouvrage hydraulique de Batejin depuis 2018 permet deux constats. **La plupart des anguilles capturées au niveau de cet ouvrage sont des mâles argentés (<45 cm). Le second est que, chaque épisode pluvieux associé à une augmentation du niveau d'eau de la craste de l'Eyron (synonyme de mise en charge du lac) semble déclencher la migration de dévalaison.** A contrario, un épisode pluvieux non associé à une augmentation de hauteur d'eau sur la craste de l'Eyron (ce qui signifie sans « mise en charge du lac de Lacanau ») ne provoque pas de dévalaison.

Par ailleurs il existe une **corrélation entre l'ouverture des vannes à Batejin et les pics de dévalaison.** Plus la hauteur de surverse est importante, plus la dévalaison est importante. En janvier et février 2019, les 2 vannes (rive gauche et droite) étaient baissées avec une surverse importante, ce qui a engendré un appel d'eau vers l'aval. **Ce phénomène déclenche le signal le plus important de dévalaison des anguilles du lac de Lacanau vers le bassin d'Arcachon.** Dans la littérature, les épisodes de crue, associés à des précipitations importantes déclenchent le phénomène de migration des anguilles argentées vers l'océan. Dans notre cas, la pluviométrie et la mise en charge du lac seules n'expliquent pas le déclenchement de la migration. C'est la gestion artificialisée du niveau d'eau dans le lac de Lacanau par le vannage de Batejin qui crée un débit d'attrait aval et déclenche la mise en mouvement des anguilles vers la mer.

L'évaluation de cette phase de migration est importante car elle permet d'analyser le nombre de géniteurs qui s'échappe d'un bassin versant et qui participeront in fine à la reproduction en mer des Sargasses. Ainsi ce monitoring à l'échelle de la France sur toutes les rivières-index permet d'assurer la pérennité de l'espèce par une meilleure gestion des stocks. Ce suivi permet de réaliser des orientations de gestion des écosystèmes aquatiques, notamment en termes de restauration de la continuité écologique, de restauration des zones refuges/croissance et de choix des sites de déversement de civelles.

Afin de compléter cette étude mise en place, la FDAAPPMA 33, un suivi par caméra sonar au niveau de l'écluse de Batejin est réalisé par l'association MIGADO\*. Ce dispositif par caméra sonar, a l'avantage de suivre en continu le flux d'anguilles dévalantes contrairement au suivi par piégeage qui n'intervient que de façon ponctuelle, voire est dans l'incapacité d'être mis en place lors d'épisode de crue. A terme, c'est ce suivi par caméra qui sera donc privilégié.

De plus, la FDAAPPMA 33 s'intéresse aussi à la montaison des civelles dans le canal des étangs. En analysant les deux phases de migration (montaison et dévalaison) il devient possible de déterminer si le bassin versant des lacs médocains permet le bon recrutement des anguilles, c'est-à-dire la production de futurs géniteurs.

## 5 Perspectives

Le suivi 2022 sera allégé et uniquement centré sur quelques dates pendant les périodes favorables de dévalaison (conditions de forts débits du canal en hivers).



### Le but est :

- De mesurer le rythme de dévalaison des anguilles argentées de Batejin jusqu'à l'exutoire du canal (Arès) grâce à la mise en place de 30 marques acoustiques associés à des hydrophones.
- Echantillonner du tissu biologique pour INRAE pour connaître l'origine des individus, c'est à dire identifier ceux issus de l'alevinage ou de la colonisation naturelle.

## 6 Bibliographie

- Acou A., Boisneau C., Feunteun E., 2009. Prédiction des pics de dévalaison des anguilles argentées à partir de données environnementales : état des connaissances et développement d'un modèle opérationnel sur la Loire pour la gestion du turbinage. Rapport final. Rapport du Muséum National d'Histoire Naturelle, CRESCO, Dinard.
- Adam B., Schwevers U., Dumont U., 1999. Behavioural survey of eel (*Anguilla anguilla*) migrating downstream under laboratory conditions. *Verlag Natur □ Wissenschaft* 16: 1 – 63.
- Adam G., Elie P., 1994. Mise en évidence des déplacements d'anguilles sédentaires (*Anguilla anguilla* L.) en relation avec le cycle lunaire dans le lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 335 : 123 – 132.
- 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. Doctorat de l'université en hydrobiologie, Université Paul Sabatier, 353 p.
- Adam G., Feunteun E., Prouzet P., Rigaud C., 2008. L'anguille européenne. Indicateurs d'abondance et de colonisation. Editions Quae, Collection Savoir Faire. ISBN : 978-2-7592-0085-6. ISSN : 1952 – 1251.
- 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.
- Aprahamian M. W., Walker A. M., Williams B., Bark A., Knights B., 2007. On the application of models of European eel (*Anguilla anguilla*) production and escapement to the development of Eel Management Plans : the River Severn. *ICES Journal of Marine Science* 64 : 1472 – 1482.
- Baisez A., Laffaille P., 2005. Un outil d'aide à la gestion de l'anguille : le tableau de bord anguille du bassin Loire. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, vol. 378-379. pp. 115-130. ISSN 0767- 2861
- Baras E., Jeandrain B., Serouge B., Philippart J.C., 1998. Seasonal variations in time and space utilization by radio-tagged yellow eels *Anguilla anguilla* (L.) in a small stream. *Hydrobiologia* 371/372: 187 – 198.
- Bark A., Williams B., Knights B., 2007. Current status and temporal trends of European eel in England and Wales. *ICES Journal of Marine Science* 64 : 1368 – 1378.
- Bergersen R., Klemetsen A., 1988. Freshwater eel *Anguilla Anguilla* L. from North Norway with emphasis on occurrence, food, age and downstream migration. *Nordic Journal of Freshwater Research* 64: 54 – 66.
- Bertin L., 1951. Les anguilles. Variation, croissance, euryhalinité, toxicité, hermaphrodisme juvénile et sexualité, migrations, métamorphoses. Payot, Paris. 188 p.
- Bevacqua D., De Leo G.A., Gatto M., Melia P., 2009. Size selectivity of fyke nets for European eel *Anguilla anguilla*. *Journal of Fish Biology* 74: 2178 – 2186.
- Boubée J. A. T., Williams E. K., 2006. Downstream passage of silver eels at a small hydroelectricity facility. *Fisheries Management and Ecology* 13 : 165 – 176.
- Bouillon D. R., Haedrich R. L., 1985. Growth of silver eels (*Anguilla rostrata*) in two areas of Newfoundland. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, 6, 95 – 100.
- Brujls M. C. M., Durif C. M. F., 2009. Silver Eel Migration and Behaviour. G. van den Thillard, S. Dufour, J. Cliff Rankin Editors. *Spawning migration of the European eel* : 65 – 95.
- Carlisle D.B., Denton E.J., 1959. On the metamorphosis of the visual pigments of *Anguilla Anguilla* (L.). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 38: 97 – 102.
- Carr J. W., Whoriskey F. G., 2008. Migration of silver American eel past a hydroelectric dam and through a coastal zone. *Fisheries Management and Ecology* 15 : 393 – 400.

- Chadwick S., Knights B., Thorley J. L., Bark A., 2007. A long-term study of population characteristics and downstream migrations of European eel *Anguilla Anguilla* (L.) and the effects of a migration barrier in the Girnock Burn, north-east Scotland. *Journal of Fish Biology*, 70, 1535 – 1553.
- Chanseau M., Verdeyroux P., 2010. La circulation piscicole dans le département des Landes. Etat des lieux, estimation des coûts et stratégies d'intervention. Rapport ONEMA - DDTM Landes, 59 p.
- Chanseau M., Larinier M., Courret D., Bordes N., 2012. La dévalaison des migrateurs amphihalins au niveau des petites centrales hydroélectriques. Note de positionnement technique de la délégation interrégionale Sud-Ouest de l'Onema. 49 p.
- Chanseau M., Steinmetz J., Baudet J.P., Cousin P., Laffargue J., Lecoustre C., Taillebois L., Telman J.N., Corouge E., Jouve J.M., Verdeyroux P., 2013. Vers une gestion écosystémique du marais littoral de Terres d'Oiseaux. Rapport ONEMA – ONCFS, 32 p.
- Charrier F., 2009. Caractérisation de la population d'anguille de l'étang de l'Or et gestion de l'espèce. Mémoire de fin d'études DAA Spécialité Halieutique. Agrocampus Ouest Centre de Rennes et FishPass, 33 p. + annexes.
- COGEPOMI Adour et cours d'eau côtiers, 2008. Plan de gestion des poissons migrateurs. 70 p.
- COGEPOMI Adour et cours d'eau côtiers, 2015. Plan de gestion des poissons migrateurs. 96 p.
- COGEPOMI Adour et cours d'eau côtiers, 2013. État actuel de la population dans le bassin et évolution ces dernières années. Émergence éventuelle de nouvelles mesures de gestion. Groupe Anguille – Document de travail « Bilan Anguille Version 1 ». 34 p.
- Colombo G., Rossi R., 1978. Environmental influences on growth and sex ratio in different eel populations (*Anguilla anguilla* L.) of Adriatic coasts. In *Physiology and behavior of marine organisms*, DS McLusky et AJ Berry ed. Pergamon press. Oxford. pp. 313 – 320.
- Comité de Bassin Adour-Garonne, 2010. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin Adour-Garonne 2010-2015. 145 p. + annexes.
- Council of the European Union, 2007. Council Regulation (EC) No 1100/2007 of 18 September 2007 establishing measures for the recovery of the stock of European eel, Brussels, 7 p.
- Courret D., Larinier M., 2008. Guide pour la conception de prises d'eau "ichtyocompatibles" pour les petites centrales hydroélectriques. Rapport ADEME – GHAAPPE, 60 p. + annexes.
- Cullen P., McCarthy T. K., 2003. Hydrometric and meteorological factors affecting the seaward migration of silver eels (*Anguilla Anguilla* L.) in the lower River Shannon. *Environmental Biology of Fish* 67 : 349 – 357.
- Dartau B., 2013. Site Index Anguille Soustons – Mise en place et suivi 2011-2012. Rapport technique Migradour, 195 p.
- Dartau B., 2014. Site Index Anguille Soustons – Suivi 2013. Rapport technique Migradour, 180 p.
- Dartau B., 2015. Site Index Anguille Soustons – Suivi 2014. Rapport technique Migradour, 192 p.
- Dartau B., 2016. Site Index Anguille Soustons – Suivi 2015. Rapport technique Migradour, 190 p.
- De Leo G. A., Gatto M., 1995. A size and age-structured model of the European eel (*Anguilla Anguilla* L.). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52, 1351 – 1367.
- Deelder C. L., 1970. Synopsis of biological data on the eel *Anguilla Anguilla* (Linnaeus) 1758. FAO Fisheries Synopsis. var p.
- Dekker W., 2000. A Procrustean assessment of the European eel stock. *ICES Journal of Marine Science*, 57, 938 – 947.
- Dekker W., 2003. Status of the European eel stock and fisheries. In : Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K., *Eel Biology*, eds Springer-Verlag Tokyo.
- Dekker W., Casselman J.M., Cairns D.K., Tsukamoto K., Jellyman D., Lickers H., 2003. Worldwide decline of eel resources necessitates immediate action. *Fisheries*, 28, 28 – 30.

- Dufour S., 1985. La fonction gonadotrope de l'anguille européenne, *Anguilla anguilla*, au stade argenté (au moment du départ pour la migration de reproduction): les mécanismes de son blocage et sa stimulation expérimentale. Thèse de 3ème cycle, Université Paris VI.
- Dufour S., Fontaine Y.A., 1985. La migration de reproduction de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) : un rôle probable de la pression hydrostatique dans la stimulation de fonction gonadotrope. *Bulletin de la Société Zoologique de France* 110 : 291 – 299.
- Durif C., 2003. La migration d'avalaison de l'anguille européenne *Anguilla anguilla* : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Doctorat de l'Université Toulouse III en Ecologie aquatique, 348 p.
- Durif C., Dufour S., Elie P., 2005. The silvering process of *Anguilla anguilla* : a new classification from the yellow resident to the silver migrating stage. *Journal of Fish Biology*, 60, 1025 – 1043.
- DWA, 2005. Fish protection technologies and downstream fishways – Dimensioning, design and effectiveness inspection. ISBN 3 – 939057-35-4, 226 p.
- Ecogea – EDF, 2010. Evaluation de l'efficacité du dispositif de dévalaison au niveau de l'aménagement hydroélectrique EDF de Tuilières (Dordogne) pour les anguilles d'avalaison. Résultats des tests d'automne-hiver 2009-2010. 80 p. + annexes.
- ECOGEA pour Institution Adour, 2012. Etude globale de conception de dispositifs de franchissement sur les obstacles prioritaires dans le département des Landes – Version provisoire : pp. 234 – 275 et 375 – 431.
- Elie P., 1979. Contribution à l'étude des montées de civelles d'*Anguilla Anguilla* L. (poisson téléostéen anguilliforme) dans l'estuaire de la Loire : pêche, écologie, écophysiologie et élevage. Thèse de 3ème cycle, Université de Rennes, 372 p.
- Elie P., 1994. Histoire d'une vie d'anguille : part. 4 La vie de l'anguille dans les eaux continentales et son départ vers le grand large en direction de la mer des Sargasses. *Le Pêcheur Professionnel* 10 : 17 – 20.
- Elie P., Lecomte-Finiger R., Cantrelle I., Charlon N., 1982. Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla* L. (poisson téléostéen anguilliforme). *Vie et Milieu* 32 (3) : 149 – 157.
- Ellerby D.J., Spierts I.L., Altringham J.D., 2001. Slow muscle power output of yellow- and silver-phase European eels (*Anguilla anguilla* L.): changes in muscle performance prior to migration. *Journal of Experimental Biology* 204 (7): 1369 – 1379.
- Environment Agency, 2011. Screening at intakes and outfalls : measures to protect eel. *The Eel Manual – GEHO0411BTDQ-E-E*. Environment Agency, 108 p. + annexes.
- FAO EIFAC, ICES, 2008. Report of the 2008 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels. FAO / ICES, Rome / Copenhagen.
- Feunteun E., Elie P., Lambert P., Rigaud C. 2011. L'anguille européenne. in *Les poissons d'eau douce de France*. Biotope Editions, Mèze – Muséum national d'Histoire naturelle, Paris. pp. 260-263.
- Fontaine M., 1975. Physiological mechanisms in the migration of marine and amphihaline fish. *Advances in Marine Biology* 13: 241 – 355.
- Fontaine M., 1985. Action de facteurs anormaux du milieu sur l'écophysiologie d'anticipation des poissons migrateurs amphihalins. *Ichthyophysiologica Acta* 9 : 11 – 25.
- Fulton T.W., 1911. *The sovereignty of the sea*, Edinburgh and London.
- Germain L., 1927. La distribution géographique des anguilles. *Bulletin de la Société d'Océanographie de France* 35 : 678 – 682.
- Gosset C., Travade F., Durif C., Rives J., Elie P., 2005. Test of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. *River Research and Applications* 21 : 1095 – 1105.
- Grassi B., Calandrucchio S., 1896. Fortpflanzung und Metamorphose des Aales. *Allg. FischZtg* 22: 402 -408.

- Haraldstad O., Voellestad L.A., Jonsson B., 1985. Descent of European silver eel, *Anguilla Anguilla* L., in a Norwegian watercourse. *Journal of Fish Biology* 26: 37 – 41.
- Haro A., 2003. Downstream migration of silver-phase anguillid eels. In : Aida K., Tsukamoto K., Yamauchi K., *Eel Biology*, eds Springer-Verlag Tokyo, 215 – 221.
- ICES / FAO, 2011. Report of the 2010 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL). 9-14 september 2010, Hamburg, Germany.
- KEMA, 2003. Management of silver eel: Human impact on downstream migrating eel in the river Meuse. Final Report Contract Q5RS-2000-31141. 106 p.
- Kleckner R.C., 1980a. Swim bladder volume maintenance related to initial oceanic migratory depth in silver-phase *Anguilla rostrata*. *Science* 208 (4451): 1481 – 1482.
- Léauté J.-P., Caill-Milly N., 2003. Caractéristiques des petites pêches côtières et estuariennes de la Côte atlantique du Sud de l'Europe. Synthèse du Programme Pecosude. Ifremer, Bilans et perspectives, 66p.
- Legault A., Acou A., Guillouët J., Feunteun E., 1993. Suivi de la migration d'avalaison des anguilles par une conduite de débit réservé. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 368, 43 – 54.
- Locket N.A., 1975. Some problems of deep-sea fish eyes. In *Vision in Fishes*, MA Ali ed. Plenum Press. New York & London. pp. 645 – 656.
- MEDDE (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie), 2015. Plan de Gestion Anguille de la France – Rapport de mise en oeuvre – Juin 2015, 89 p. + annexes.
- MEEDM (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer), MAAP (Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche), 2010. Plan de Gestion Anguille de la France, Volet National, 120 p.
- MEEDM (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer), MAAP (Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche), 2012. Plan de Gestion Anguille de la France – Rapport de mise en oeuvre – Juin 2012, 58 p. + annexes.
- Melia P., Bevacqua D., Crivelli A.J., De Leo G.A., Panfili J., Gatto M., 2006. Age and growth of *Anguilla anguilla* in the Camargue lagoons. *Journal of Fish Biology* 68, 876-890 13 p.
- Moriarty C., Dekker W., 1997. Management of European eel fisheries. *Fishery Bulletin*, 15, 1 – 110.
- Pankhurst N.W., 1982a. Changes in body musculature with sexual maturation in the European eel. *Journal of Fish Biology* 21: 417 – 428.
- Pankhurst N.W., 1982b. Changes in the skin-scale complex with sexual maturation in the European eel, *Anguilla Anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology* 21: 417 – 428.
- Pankhurst N.W., 1982c. Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel *Anguilla Anguilla* L. *Journal of Fish Biology* 21: 127 – 140.
- Pankhurst N.W., Lythgoe J.N., 1983. Changes in vision and olfaction during sexual maturation in the European eel *Anguilla Anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology* 23: 229 – 240.
- Poole W.R., Reynolds J.D., Moriarty C., 1990. Observations on the silver eel migrations of the Burrishoole river system, Ireland, 1959 to 1988. *Internationale Revue Der Gesamten Hydrobiologie* 75 (6): 807 - 815.
- Préfecture de la Région Aquitaine, 2010. Plan Anguille Adour et cours d'eau côtiers, Volet local de l'Unité de Gestion Adour, 39 p.
- Robak S., 1994. Stocking of young eels and spring downstream migration of small eel *Anguilla anguilla* (W < 300 g) in the river Sapina Basin (Great Mazurian Lake district, Poland). *Bulletin of the Sea Fisheries Institute* 132: 3 – 11.
- Saglio P., Escaffre A.M., Blanc J.M., 1988. Structural characteristics of the epidermal mucosa in yellow and silver European eel, *Anguilla Anguilla* (L.). *Journal of Fish Biology* 32: 505 – 514.
- Schmidt J., 1922. The breeding places of the eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 211: 179 – 208.

- Stramke D, 1972. Veränderungen am auge des europäischen aales (*Anguilla Anguilla* L.) während des gelb- und blankaalphase. Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg : 101 – 117.
- Subra S., Gomes P., Bory Y., Clavé D., Larinier M., Travade F., De Oliveira E., 2008. Etude du franchissement par l'anguille argentée des ouvrages hydroélectriques du Gave de Pau. Suivi par radiopistage des rythmes de dévalaison et du franchissement des ouvrages hydroélectriques d'Artix, Biron, Castetarbe, Baigts et Puyoo. Campagne expérimentale 2006. Rapport EDF H-P76-2007-02606-FR, 115 p.
- Tesch F.W., 1979. The Eel: Biology and management of anguillid eels. Chapman and Hall, London. 434 p.
- Travade F., Larinier M., Subra S., Gomes P., De Oliveira E., 2010. Behaviour and passage of European eel (*Anguilla anguilla*) at a small hydropower plant during their downstream migration. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosystem*, 398, 01.
- Voellestad L.A., 1992. Geographic variation in age and length at metamorphosis of maturing European eel: environmental effects and phenotypic plasticity. *Journal of Animal Ecology* 61: 41 – 48.
- Voisin Consultant pour Migradour, 2011. Dossier de déclaration Loi sur l'Eau, 83 p.
- Westin L., Nyman L., 1979. Activity, orientation and migration of baltic eel (*Anguilla Anguilla* L.). Rapport des Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploitation de la Mer 174: 115 -123.
- Yamada Y., Zhang H., Okamura A., Tanaka S., Horie N., Mikawa N., Utoh H., Oka P., 2000. Morphological and histological changes in the swim bladder during maturation of the Japanese eel. *Journal of Fish Biology* 58 (3): 804 – 814.



# PROTECTION AQUATIQUE 33