



# VOILET POISSONS MIGRATEURS 2015-2021

## GESTION DE L'ANGUILLE SUR LE BASSIN VERSANT DE LA VILAINE

2019



Anguille jaune  
(© G. Germis, BGM)



Saumon mâle (© G. Germis, BGM)



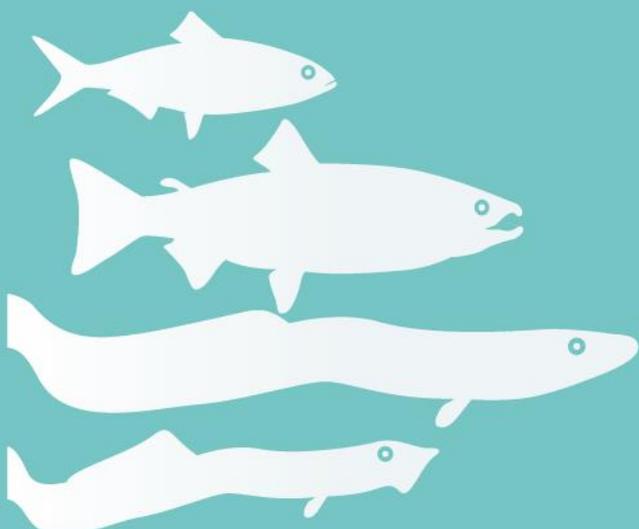
Grande alose (© FD56)



Lamproie marine  
(© F. Guéineau, FD35)



Truite de mer (© A. Langlois, Syndicat Horn)



**Maître d'ouvrage :**



**Cédric BRIAND  
Brice SAUVAGET  
Gérard ERIAU**

**Edition :**

**Août 2020**

**Réalisé avec le concours de :**



**Soutiennent les actions du volet "poissons migrateurs" :**



# Suivi des migrations d'anguilles (*Anguilla anguilla*, L.) au barrage d'Arzal, rapport 2019

Cédric Briand<sup>a</sup>, Brice Sauvaget<sup>a</sup>, Gérard Eriau<sup>a</sup>

<sup>a</sup>EPTB Vilaine, boulevard de Bretagne, 56130 La Roche Bernard

---

## Résumé

La migration sur les deux passes du barrage d'Arzal est estimée à 1 031 582 civelles pour un poids de 288 kg en 2019 ce qui place cette année au 8<sup>ème</sup> rang sur 25 années de suivi. La migration sur le gabion, passe principale au centre du barrage, est estimée à 652 929 civelles soit 182 kg. Sur le mur guide eau, passe secondaire, la migration est estimée à 378 654 civelles soit 107 kg.

17 668 anguilles jaunes ont migré sur les passes, ce qui classe cette année comme la 12<sup>ème</sup> sur 25 années de suivi.

Ce rapport détaille les conditions de recrutement, capture, migration ainsi que l'évolution des caractéristiques biologiques des civelles en 2019. Il constitue la première version d'une automatisation de l'édition du rapport de suivi à l'aide des commandes du logiciel stacomirR <http://stacomir.r-forge.r-project.org/>.

## Abstract

*The migration on the two main eel fishways of the Arzal dam is estimated at 1 031 582 glass eel for a weight of 288 kg in 2019 which ranks this year as the 8<sup>th</sup> on 25 years of monitoring. The migration on the "Gabion", the main fishway is estimated at 652 929 glass eel, which correspond to a weight of 182 kg. On the waterflow guide wall, (secondary trap) the migration is estimated as 378 654 glass eel or 107 kg.*

*17 668 yellow eel have migrated on the ladders, which classifies this year as the 12<sup>th</sup> on 25 years of monitoring. This report details the catch, migration, and evolution of biological characteristics of glass eel in 2019. It is the first version of an automated report using the stacomirR package <http://stacomir.r-forge.r-project.org/>.*

**Mots clés:** anguille, civelle, capture, recrutement fluvial, recrutement estuarien

**Keywords :** yellow eel, glass eel, fluvial recruitment, estuarine recruitment

---

## Sommaire:

|   |  |           |
|---|--|-----------|
|   | 2.7 Les migrations d'anguilles argentées . . . . .   | 18        |
|   | 2.8 Perspectives . . . . .   | 19        |
|   | 2.9 Graphiques de bilans journaliers des migrations (Anguilles jaunes) . . . . .   | 20        |
|   | <b>3 Annexes</b>   | <b>24</b> |
|   | <b>Introduction</b>  |           |
|   | Le stock d'anguilles a subit depuis le début du siècle dernier un fort déclin qui s'est traduit à partir du début des années 1980 par un déclin du recrutement (arrivées de juvéniles). Aujourd'hui l'espèce est considérée par L'IUCN comme étant en danger critique d'extinction, et depuis 1998, l'avis du CIEM (Conseil pour l'Exploration de la Mer) est de réduire au plus bas niveau possible l'ensemble des mortalités affectant le stock d'anguilles. Pour tenter de restaurer le stock, les états membres de l'UE ont adopté |           |
| <b>1 Matériel et méthodes</b>   | <b>3</b>   |           |
| 1.1 Site d'étude . . . . .  | 3  |           |
| 1.2 Captures de la pêcherie . . . . .                                   | 3  |           |
| 1.3 Suivi des passes . . . . .  | 3  |           |
| 1.3.1 Description des passes . . . . .                                  | 3  |           |
| 1.3.2 Protocole de suivi . . . . .                                      | 5  |           |
| 1.3.3 Saisie et calcul . . . . .  | 5  |           |
| 1.3.4 Conversion poids - effectif . . . . .                             | 5  |           |
| 1.3.5 Caractéristiques morphologiques des civelles de Vilaine . . . . . | 6  |           |
| <b>2 Résultats</b>  | <b>6</b>   |           |
| 2.1 Captures de la pêcherie . . . . .                                   | 6  |           |
| 2.2 Conversion poids - effectif . . . . .                               | 8  |           |
| 2.3 Les migrations de civelles . . . . .                                | 10   |           |
| 2.4 Graphiques la migration 2019 des civelles .                         | 13   |           |
| 2.5 Les migrations d'anguilles jaunes . . . . .                         | 16   |           |
| 2.6 Structure en taille des migration d'anguilles jaunes . . . . .      | 17   |           |

en 2007 un règlement européen pour la sauvegarde de l'espèce. Il s'est traduit en France par un Plan de Gestion de l'anguille visant à réduire les mortalités en s'attaquant à l'ensemble des causes de réduction du stock. Pour gérer, il faut connaître le niveau du stock. Cette connaissance est issue à la fois de la modélisation et d'un réseau de suivi permettant de rapporter des données concernant l'anguille.

Ainsi, la Vilaine est intégrée au réseau de suivi des rivières index dont l'objectif est la quantification des arrivées de civelles, du stock en place et de la dévalaison.

Sur la Vilaine, les arrivées de civelles (recrutement) sont évaluées par un suivi de la pêche et des arrivées en estuaire non capturées, les tendances du stock en place sont évaluées par un réseau de pêches électriques, et la dévalaison des anguilles argentées est suivie à l'aide d'un didson placé dans le pertuis de la quatrième vanne du barrage d'Arzal et de prélèvements biologiques réalisés auprès de la pêche professionnelle.

Les montées de civelles et d'anguilles jaunes sont suivies depuis 1996 au niveau de la passe à anguilles du barrage d'Arzal. Cette série de données, accompagnée de la série de captures des pêcheurs professionnels en estuaire, fournit une estimation de l'abondance de civelles arrivées en estuaire (recrutement estuarien). Les opérations de transport vers le bassin versant, le fonctionnement de la passe et les manoeuvres ponctuelles d'écluse dans des "éclusées" spécifiques pour les civelles fournissent une série chronologique de recrutements fluviaux annuels.

L'objectif de ce rapport est de présenter le bilan du suivi de l'année 2019 sur le barrage d'Arzal.

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1. Site d'étude

L'estuaire de la Vilaine est limité à sa portion aval par le barrage d'Arzal, construit par l'IAV en 1970, et qui à 12 km de la mer bloque l'onde de marée. L'estuaire en amont, jusqu'à la limite historique de l'estuaire tital (barrages de Malon et de la Potinais à 70- 80 km en amont) a été transformé en rivière. Le plan d'eau ainsi créé à vu se développer de nouveaux usages dont les principaux sont la navigation et l'eau potable. Le barrage d'Arzal joue aussi un rôle majeur dans la protection contre les crues de l'aval du bassin versant, en empêchant les conjonctions de forts débits amont et de surcôtes de marées. Ce barrage constitue ainsi une rupture nette entre des eaux saumâtres et douces. Il évacue le débit de la Vilaine qui avec 12400 km<sup>2</sup> couvre le tiers de la surface la Bretagne. L'embouchure, située au nord de la Loire, consitue une zone très favorable au recrutement de civelles, et la pêche installée au pied du barrage d'Arzal est très importante en volume de captures quand on la compare à l'ensemble des bassins du golfe de Gascogne.

### 1.2. Captures de la pêche

Les captures de la pêche ont été collectées à partir de plusieurs sources. Historiquement les déclarations des mareyeurs aux affaires maritimes, plus récemment le système télécapêche mis en place par le comité régional des pêches donne des informations précises sur les captures de la pêche.

### 1.3. Suivi des passes

#### 1.3.1. Description des passes

La passe à anguilles du gabion est située au centre de l'ouvrage, près de l'exutoire de la passe à fente verticales, en rive gauche du pertuis des vannes (Voir Figure 1). Cette passe dispose de deux rampes. La première est accrochée au bajoyer du barrage, et plonge dans l'estuaire près des vannes (Figure 3 D). Elle était sensée être placée au niveau d'un contre courant, à un endroit où les navires de pêche rasant le barrage réalisaient les meilleures prises. En pratique elle est peu efficace, car les courants générés par les volets (ou clapets de surface) et les vannes (lorsque les ouvertures se font par levée d'une vanne wagon) sont généralement assez violents dans la zone en hiver et au printemps. C'est à pleine mer, lorsque les niveaux mer dépassent le niveau Vilaine, et que la rampe est en eau, qu'elle est probablement la plus efficace. Lors des pics de migration, on observe une migration sur cette rampe mais qui est probablement bien moindre que celle de la deuxième rampe. Les deux rampes étant connectées par le même canal au piège à anguille (Figure 3 AB), il n'a pas jusqu'à présent été possible de déterminer l'efficacité respective de chacune des rampes.



FIGURE 1: Situation géographique des deux passes à anguilles du barrage d'Arzal. Le point au sud représente la passe en rive gauche, située sur le gabion, le point au nord représente la passe en rive droite, située sur le mur guideau à l'entrée de l'écluse. Le rectangle orange correspond à l'emplacement de l'écluse.

La deuxième rampe à anguilles de la passe du gabion plonge dans l'estuaire dans une échancrure construite dans les gabions. Les gabions sont des cercles en paleplanches qui soutiennent et ancrent le barrage au milieu de l'ancien lit estuarien (Figure 2 E). Cette rampe, beaucoup plus

longue que la première, débouche à l'aval immédiat de la passe à bassins. L'entrée de la passe est protégée par un déflecteur. Ainsi, le long du gabion, un contre courant propice à l'accumulation des civelles et anguillettes est établi, lorsque le barrage et la passe fonctionnent. Ce contre courant est exacerbé lorsque les débits sont très importants. Il se prolonge alors bien au delà de l'emprise des gabions et explique probablement la bonne efficacité de la passe à anguilles lors des crues. Les civelles repoussées par le courant des vannes viennent s'accumuler à gauche du pertuis de vannes et remontent dans le contre courant (Figure 2).

Un deuxième facteur explique l'attractivité de la passe, mais dans des conditions de débit plus réduites. Un peu en aval de l'exutoire de la rampe du gabion (Figure 2 E), on trouve l'arrivée en estuaire des tuyaux des siphons. Ces tuyaux captent l'eau dans les fosses en amont immédiat du barrage et la rejettent en aval pour évacuer les lentilles d'eau salées qui s'accumulent en amont du barrage du fait du fonctionnement de l'écluse, avec un débit de l'ordre de  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . En pratique ces tuyaux rejettent l'essentiel du débit de la Vilaine lors des périodes d'étiage, et comme ils sont situés tout près de l'entrée de la rampe aval de la passe à anguilles du gabion, ils constituent un excellent débit d'attrait, qui vient s'ajouter à celui généré par la passe à bassins, et par la pompe ( $200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ). Ainsi à l'exception du fonctionnement de l'écluse, le débit d'attrait est presque exclusivement concentré en rive gauche près de l'entrée de la passe à anguilles.

La passe du gabion dispose d'une conduite d'évacuation des anguilles. Ces dernières sont relâchées dans un bac où s'évacue le trop plein du piège à anguilles. Le tuyau traverse le barrage par la passe à bassins puis débouche en amont derrière les gabions (Figure 2)

Pour tenter d'augmenter l'efficacité de la passe à anguille, une deuxième rampe à été construite en 2008, de l'autre côté du pertuis de vannes, en 2007 (Figure 4 B). Cette rampe, aux dimensions plus modestes, capte également l'eau en amont du barrage par une pompe de  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  située en rive droite à l'amont immédiat de l'écluse. Elle est entourée d'un bâti blindé pour éviter le braconnage (Figure 4 A). Cette rampe est équipée d'un bac de repos intermédiaire et d'un piège (Figure 4 C D). Elle ne dispose pas de conduite d'évacuation et en pratique, toutes les anguilles qui y sont collectées sont transportées dans des seaux, jusqu'à la passe du gabion, puis dénombrées, pesées et relâchées dans la conduite qui les ramène à l'amont du barrage (Figure 3).

Comme la rampe aérienne de la passe du gabion, cette rampe relativement courte permet aux civelles de monter à partir de la mi-marée. Il arrive parfois que cette passe capture beaucoup de civelles, lorsque les civelles s'accumulent le long du mur guide eau (Figure 4 B), mais son efficacité est beaucoup plus réduite que la passe du gabion.

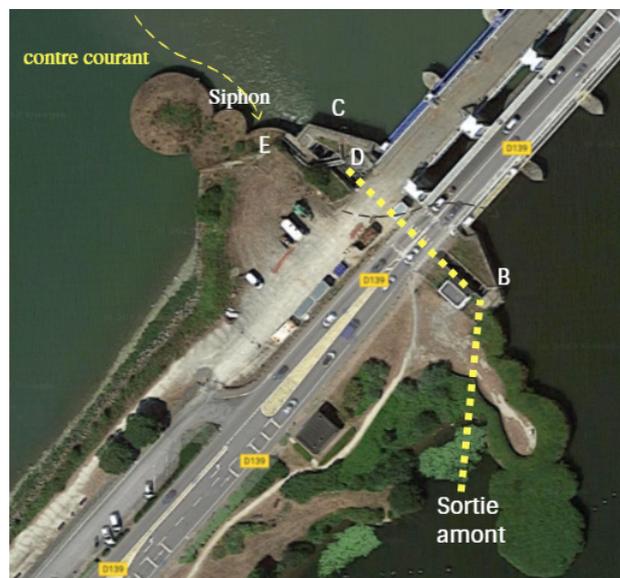


FIGURE 2: Implantation de la passe du gabion, B pompe, C rampe aérienne du bajoyer, D local de stockage, E rampe dans le gabion. L'évacuation des civelles se fait par une conduite vers l'amont du barrage.

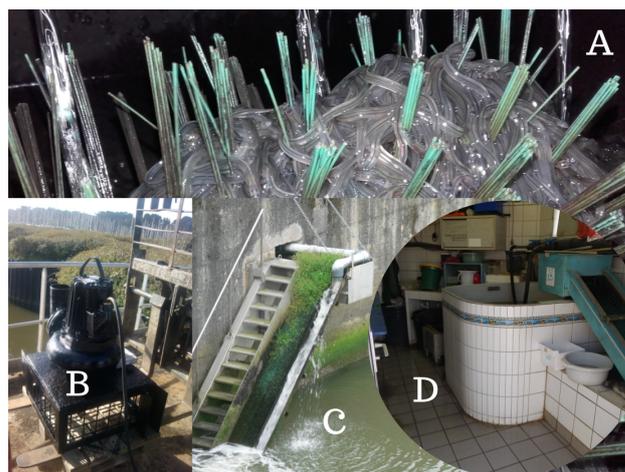


FIGURE 3: La passe à anguilles du Gabion, passe principale 1996-2016.



FIGURE 4: La passe à anguilles du mur Guide Eau, passe secondaire, 2008-2016.

### 1.3.2. Protocole de suivi

Les opérations de relève sont quotidiennes, week-end inclus quand les civelles sont nombreuses, mais plus espacées lorsque les effectifs d'anguilles jaunes et de civelles sont plus réduits (Figures 27, 29, 28). Une caméra vidéo permet aux opérateurs de surveiller le bac, de s'assurer du fonctionnement de la pompe, et d'intervenir lorsque les effectifs augmentent.

Le protocole de suivi dépend des effectifs présents dans le bac, les civelles et les anguillettes sont séparées. Les civelles sont pesées avec un égoutage léger et le poids "humide" des civelles est évalué à partir d'échantillons de 50 civelles égoutées de la même manière que les civelles capturées lors du comptage. La structure en taille des anguilles est mesurée à partir d'un échantillon composé au minimum de 600 anguillettes par mois, quand cela est possible en fonction de la migration. Une séparation à l'oeil des anguilles de plus de 16 cm et moins de 16 cm est effectuée afin de s'assurer, à la fin du mois, de la représentativité des échantillons, et éventuellement d'en corriger à postériori la composition. Les grosses anguilles de plus de 30 cm sont pesées et mesurées à part des autres, car elles peuvent former une part très importante du poids d'un lot pesé. Elles sont classées dans la classe de taille anguille (caractère qualitatif) et ce caractère permet de les distinguer de l'échantillonnage aléatoire des anguilles pour la structure en taille. Des lots de civelles sont prélevés afin de faire l'objet d'une analyse de détail avec stades pigmentaires, taille et poids.

### 1.3.3. Saisie et calcul

Les données de migration sont saisies à l'aide de l'interface JAVA du logiciel stacom, avec des opérations de durée variable en fonction de la fréquentation de la passe.

Dans les traitements, les effectifs journaliers sont calculés dans stacomIR au pro rata de la durée de l'opération dans

chaque journée. Pour obtenir des traitements cohérents, les effectifs à cheval sur deux années, sont également répartis sur chaque année<sup>1</sup>.

### 1.3.4. Conversion poids - effectif

Comme il n'est pas possible de dénombrer les civelles lorsque les migrations sont importantes, la mesure de l'effectif de civelles est faite sur la base de pesées. Ensuite les effectifs sont recalculés sur la base d'un coefficient de conversion basé sur le "poids humide"<sup>2</sup> des civelles. La relation entre les poids et les effectifs n'est pas constante dans le temps car les civelles changent de poids et de taille en fonction du mois où elles arrivent en estuaire, mais aussi d'une année sur l'autre. Pour disposer de coefficients journaliers de conversion poids-effectif il est nécessaire de modéliser cette évolution.

Le poids moyen des civelles est mesuré sur des lots de 50 civelles, toutes les semaines, lorsque les effectifs sont suffisants. Des échantillons collectés en estuaire durant la saison de pêche, peuvent permettre de compléter la mesure de poids moyen. La mesure des poids moyen est faite sur trois sous-échantillons, les civelles sont épuisettées rapidement après leur sortie de l'eau afin de garder de l'humidité dans l'épuisette. L'objectif lors du suivi est que les civelles ne perdent pas de mucus lors de leur pesée.

Le même lot de 50 civelles est pesé trois fois successivement et le poids moyen est entré en base.

Les poids moyens humides sont ensuite analysés en fin de saison à l'aide de plusieurs types de modèles. La classe `report_ge_weight` du logiciel stacomIR est utilisée pour collecter les données depuis la base de données, les scripts sont adaptés pour aller également chercher les données de poids moyen provenant de la base de donnée "estuaire". Plusieurs modèles sont proposés par cette classe et ils sont utilisés pour caler l'évolution saisonnière des poids moyens de civelles.

Désaunay et Guérault (1997) ont utilisé un modèle sinusoïdal pour modéliser les variations de poids et de taille des civelles à leur arrivée en estuaire (Formule 1).

$$w \sim a \cos(2\pi(d' - T)/365) + b$$

$$doy = d_0 + d' \text{ avec } d_0 = 212 \quad (1)$$

$$doy = \text{jours juliens}$$

Avec  $t = \text{jour}$ ,  $T = 365$  jours,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  paramètres. Le jour  $d'$  commence le premier août. Ce modèle a été utilisé lors des premières années de suivi de la passe, il permet d'ajuster une courbe par an.

1. Ce traitement, plus complexe qu'une simple somme avec une requête par groupe sur la date de début peut donner des sommes différentes.

2. Les civelles ne sont égoutées que partiellement lors des pesées

Le problème du modèle sinusoïdal est qu'il va ajuster une courbe différente pour les différentes années, ce qui crée une coupure entre les valeurs des coefficients d'une année sur l'autre, car les courbes ont des ajustements différents en fonction des poids moyens des civelles d'une année sur l'autre. Un modèle gam ajustant une tendance de long terme et une sinusoïde `model.type="seasonal2"` a donc été utilisé à la place du modèle annuel. La tendance saisonnière est ajustée à l'aide d'une sinusoïde commune à l'ensemble des années,  $\sin(\omega vt) + \cos(\omega vt)$ , pour laquelle  $vt$  est une variable temporelle et  $\omega$  une constante qui permet d'établir la tendance cyclique de la variable temporelle sur une année  $2\pi/365 = 0.0172$ . Le modèle s'écrit alors  $w \cos(0.0172doy) + \sin(0.0172doy) + s(time)$ .

Un modèle équivalent `model.type="seasonal"` utilisant des smoother de gam au lieu des sinusoïdes est également testé. Ce modèle va ajuster la tendance annuelle à l'aide d'une fonction gam commune à l'ensemble des années. En terme de fonctionnement, il est relativement similaire aux modèles précédents.

Enfin, le dernier modèle est un modèle adapté manuellement et qui prend en compte une tendance "annuelle", une tendance interannuelle de long terme et un terme d'interactions.

### 1.3.5. Caractéristiques morphologiques des civelles de Vilaine

Des lots de civelles collectées dans la passe ou en estuaire font l'objet d'une analyse individuelle. Sur chaque individu, les paramètres suivants sont examinés : le stade pigmentaire, la taille au millimètre près, le poids à 0.001 gramme près. En préalable à la mesure du poids, les civelles sont essuyées doucement à l'aide d'un tissu. Ces mesures ont pour objectif de comparer, année après année, les caractéristiques biologiques des civelles arrivant de l'océan.

## 2. Résultats

### 2.1. Captures de la pêcherie

Les captures de la pêcherie ont diminué depuis un maximum de 209 tonnes en 1979 jusqu'à une valeur minimale de 2.1 tonnes en 2013. Globalement ces captures reflètent bien la fluctuation du recrutement. Le médaillon en figure 5 illustre la part des échappements à la pêcherie, c'est à dire les montées sur la passe et l'estimation d'arrivées en estuaire non pêchées et n'ayant pas franchi la passe (Briand, 2009).

Après 2005, pour estimer l'échappement à la pêche civellière, il serait nécessaire de disposer des données d'efforts journaliers de la pêcherie ainsi que des captures totales journalières. Ces données sont nécessaires à la calibration du modèle GEMAC (Beaulaton et Briand, 2007). Depuis

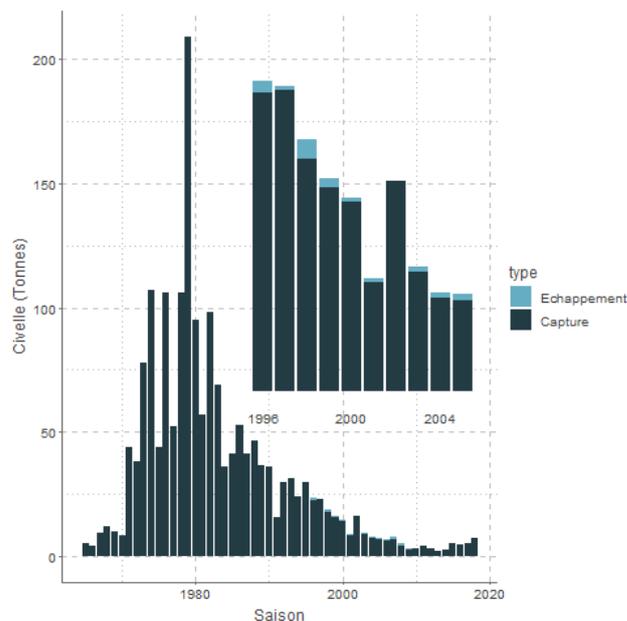


FIGURE 5: Tendances des captures de civelles en estuaire de Vilaine 2019. Les échappements estimés à l'aide du modèle GEMAC ou d'une hypothèse d'efficacité de la passe sont comparés aux captures en estuaire (données 1996-2005 (Briand, 2009)).

1996, l'effort nominal de la pêcherie a été divisé par plus que deux, mais l'impact réel de cette réduction d'effort de pêche n'est pas immédiat compte tenu du blocage de la migration des civelles par le barrage. Il serait nécessaire d'analyser finement, la pêcherie et les montées sur passe pour tenter de comprendre l'efficacité du dispositif en période hivernale.

En effet, la passe à fait l'objet d'une mesure d'efficacité en période printanière, mais les chiffres obtenus alors que les conditions de température sont favorables à la montée sont difficiles à transposer à la capture des civelles en hiver. Il est nécessaire de rappeler ici que la mise en place des quotas de pêche s'est traduit par des montées massives de civelles en janvier, alors que de telles montées n'avaient jamais lieu quand la pêche fonctionnait en continu au pied du barrage, les nuits de relève et les échappements à la pêcherie ne permettant pas aux civelles de disposer du temps nécessaire à leur changement de comportement les conduisant à utiliser les passes.

Les arrivées de civelles sont estimées à l'échelle du stock par les données d'un ensemble de sites mesurant les arrivées sur le long terme sur l'ensemble du territoire européen. Ces sites peuvent être des passes, des zones où sont effectuées des suivis scientifiques, ou des séries de captures issues de la pêche. Un indice de recrutement européen est calculé chaque année par le groupe de travail du CIEM. Lorsqu'on compare la série de recrutement provenant des captures de la pêcherie de Vilaine, à la série européenne, la Vilaine est la station présentant le moins d'écart à la série européenne (Figure 6).

Tableau 1: Captures de la pêche de civelles d'Arzal de 1995 à 2019, sources : 1= Affaires Maritimes (données mareyeurs), 2= De Casamajor et Briand 2009 (OFIMER), 3= Comité des pêches maritimes Auray-Vannes, 4=télécapêche Vilaine (Comité des pêches maritimes Auray-Vannes). La date d'arrêt correspond à la date de fermeture de la pêche en fin de saison.

| Année | Capture (t) | Source | Arrêt    |
|-------|-------------|--------|----------|
| 1995  | 29.50       | 1      | 30-avr   |
| 1996  | 22.40       | 1      | 15-avr   |
| 1997  | 22.60       | 1      | 30-avr   |
| 1998  | 17.50       | 1      | 06-avr   |
| 1999  | 14.93       | 1      | 05-avr   |
| 2000  | 13.94       | 1      | 15-avr   |
| 2001  | 7.93        | 1      | 30-mars  |
| 2002  | 14.51       | 1      | 23-mars  |
| 2003  | 9.14        | 1      | 23-mars  |
| 2004  | 7.26        | 1      | 27-mars  |
| 2005  | 6.72        | 1      | 20-mars  |
| 2006  | 6.99        | 1      | 23-mars  |
| 2007  | 6.78        | 1      | 11-mars  |
| 2008  | 4.57 (4.2)  | 3 (2)  | 11-mars  |
| 2009  | 2.61        | 3      | 31-mars  |
| 2010  | 3.03        | 3      | 30-avril |
| 2011  | 3.92        | 3      | 30-avril |
| 2012  | 2.99        | 3      | 30-avril |
| 2013  | 2.10        | 4      | 30-avril |
| 2014  | 2.68        | 4      | 25 avril |
| 2015  | 4.86        | 4      | 30 avril |
| 2016  | 4.62        | 4      | 19 avril |
| 2017  | 5.87        | 4      | 30 avril |
| 2018  | 6.53        | 4      | 13 mars  |
| 2019  | 5.13        | 4      | 9 mars   |

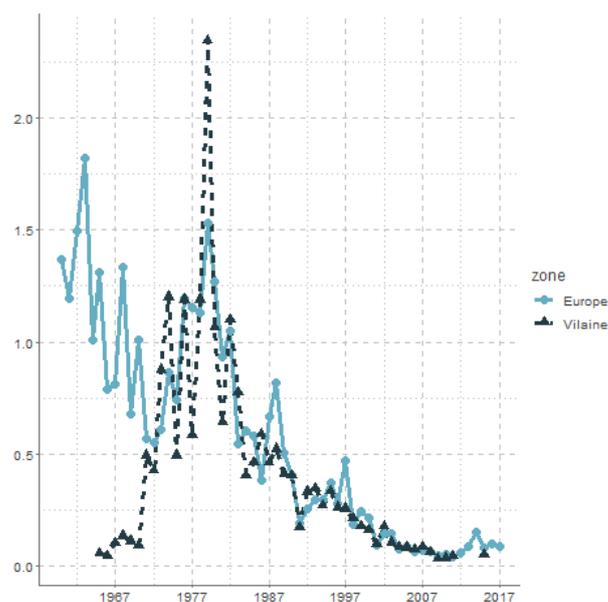


FIGURE 6: Indice de recrutement européen du WGEEL : moyenne géométrique des prédictions de recrutement (GLM) pour tous les sites en dehors de la mer du nord jusqu'à 2019. Le modèle GLM ( $recruit \sim area : year + site$ ) est calé sur les séries de recrutement européenne comprenant soit des civelles soit un mélange de civelles et de jeunes anguilles jaunes. Ces données sont comparées à la série de recrutement de la Vilaine. Les deux séries sont ajustées pour que la moyenne des années 1960 et 1970 soit à 1. Les valeurs avant la fermeture du barrage (avant 1970) ne sont pas incluses dans cette standardisation ni dans la série de recrutement européen. Les valeurs de 2012 à 2014 pour lesquelles les captures ont été influencées par les quotas n'ont pas non plus été incluses.

2.2. Conversion poids - effectif

Les données de poids moyen proviennent essentiellement de la passe, mais elles peuvent également provenir d'échantillons collectés en estuaire, lorsque la pêche est continue sans arrêt dans la saison et que le nombre de civelles montant sur la passe n'est pas suffisant pour collecter des informations sur les caractéristiques biométriques des civelles.

Au total, en 2019<sup>3</sup>, 29 échantillons de poids moyen ont été collectés (Tableau 2).

| année | passé | estuaire * |
|-------|-------|------------|
| 1996  | 16    |            |
| 1997  | 51    |            |
| 1998  | 35    |            |
| 1999  | 53    | 13         |
| 2000  | 21    | 17         |
| 2001  | 19    | 5          |
| 2002  | 47    |            |
| 2003  | 16    | 8          |
| 2004  | 15    | 13         |
| 2005  | 8     | 21         |
| 2006  | 14    | 7          |
| 2007  | 10    | 22         |
| 2008  | 6     | 2          |
| 2009  | 21    | 1          |
| 2010  | 38    | 18         |
| 2011  | 6     | 12         |
| 2012  | 44    | 2          |
| 2013  | 32    | 2          |
| 2014  | 29    |            |
| 2015  | 15    |            |
| 2016  | 30    |            |
| 2017  | 22    | 2          |
| 2018  | 21    | 3          |
| 2019  | 29    |            |

Tableau 2: Nombre d'échantillons de poids moyen de civelles depuis 1995 et jusqu'au 01 août 2019 \*Données collectées en pêches expérimentales et par pêche professionnelle

Parmi les modèles testés, le modèle des poids moyens `model.type="seasonal2"` ajuste bien la tendance de long terme. Il traduit l'évolution positive du poids moyen des civelles depuis un minimum en 2009 jusqu'à un maximum en 2014 (Figure 8).

Toutefois, ce modèle, ainsi que le modèle `model.type = "seasonal1"` - non présenté - basé sur des gam au lieu de sinusoides, imposent une tendance cyclique commune à l'ensemble des années qui a du mal à ajuster les valeurs aux extrêmes.

*A contrario*, le modèle ajustant par année une tendance sinusoidale ajuste bien les tendances saisonnières de chaque

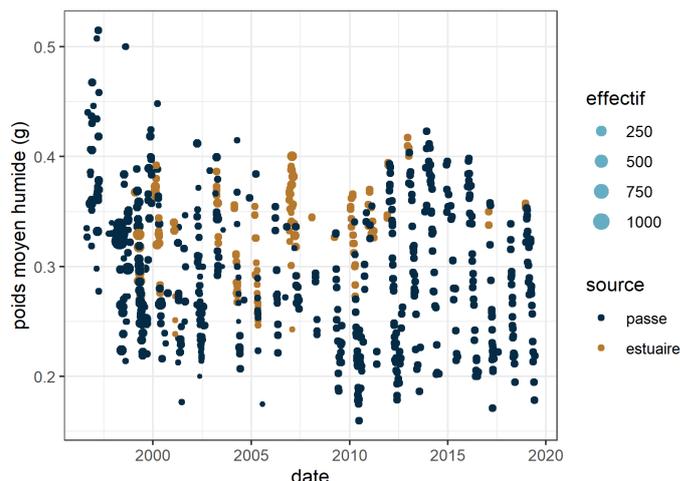


FIGURE 7: « Poids moyens humides » collectés en estuaire de Vilaine sur des échantillons achetés aux pêcheurs de civelles (source pêche) et sur la passe en rive gauche du barrage d'Arzal (source passé). Les effectifs des échantillons sont indiqués par la taille du point.

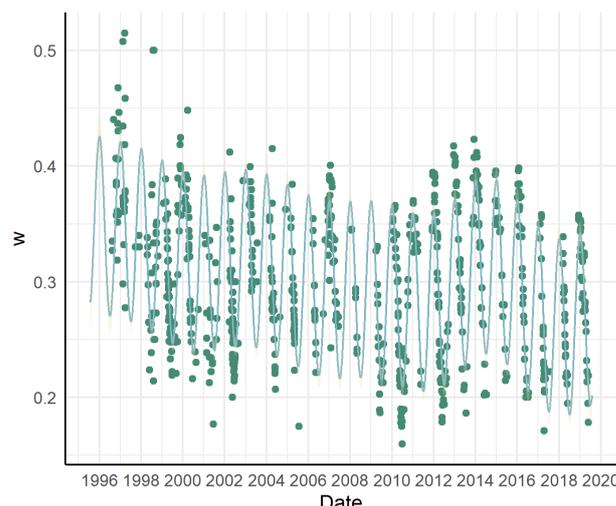


FIGURE 8: Tendence saisonnière des poids moyens de 1996 à 2019, calée avec une tendance de long terme et une tendance saisonnière sinusoidale (`model.type="seasonal2"` dans `stacomir`). L'ajustement de long terme est correct mais les valeurs extrêmes sont mal ajustées.

année, mais pose deux autres problèmes. D'une part il introduit des ruptures de tendance d'une année sur l'autre, d'autre part il ajuste mal les années où des données sont manquantes (Figure 9). Dans l'ensemble, les données de poids moyen des premières 10 années, moins standardisées, sont plus difficiles à ajuster.

Au final, le script utilise la sortie "manual" de `stacomir` pour caler un modèle *ad hoc* (Formule 2).

$$w \sim s(yday, bs = cc, k = 12) + s(time, bs = cr, k = 20) + ti(yday, time, k = c(12, 20), bs = c(cc, cr)) \quad (2)$$

L'objectif est également de fournir dans le script de ce rapport, un exemple d'ajustement manuel tel que prévu

3. jusqu'au 01/08/2019)

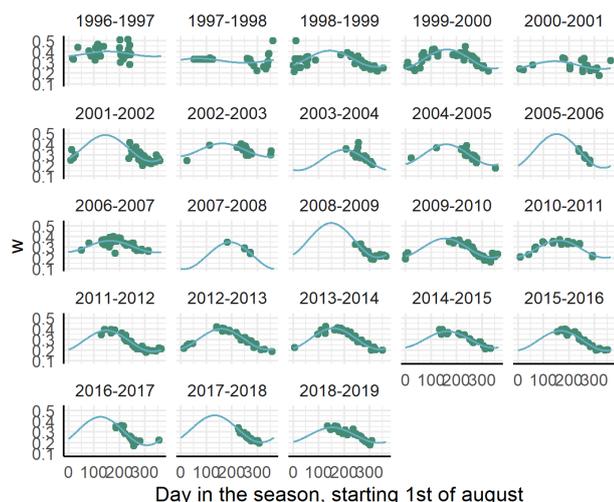


FIGURE 9: Tendance saisonnière des poids moyens de 2006 à 2019. Ajustement par le modèle de Désaunay et Guérault (1997). Les années avec des données manquantes sont moins bien ajustées.

dans le logiciel stacomIR. Les coefficients du modèle pour la partie linéaire (coefficients paramétriques) se réduisent à l'intercept (Tableau 3).

Les courbes saisonnières sont ajustées à l'aide de modèles gam, avec un terme cyclique pour la saison, une tendance de long terme, et une interaction à l'aide de produits tensoriels pour chaque saison (Wood, 2006) (Tableau 4, Figure 10).

Au final les prédictions du modèles et l'intervalle de confiance à 95% sont données en Figure 11.

|             | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t )   |
|-------------|----------|------------|---------|------------|
| (Intercept) | 0.30     | 0          | 206.99  | 0.0000e+00 |

Tableau 3: Intercept pour le modèle GAM de poids moyen.

|               | edf   | Ref.df | F      | p-value   |
|---------------|-------|--------|--------|-----------|
| s(yday)       | 7.97  | 10     | 119.95 | 0.000e+00 |
| s(time)       | 17.00 | 17     | 13.32  | 7.160e-33 |
| ti(yday,time) | 68.71 | 214    | 1.61   | 9.266e-43 |

Tableau 4: Termes de lissage pour le modèle gam, edf = degrés de liberté estimés.

La tendance des poids moyens humides renseigne à la fois sur la tendance de poids des civelles mais elle intègre aussi une partie liée à l'opérateur (égoutement plus ou moins prononcé) lors de la mesure des poids (Figure 11). Les tendances fines des variations interannuelles des caractéristiques des civelles doivent donc être analysées à l'aide des données de poids individuel et des données de taille.

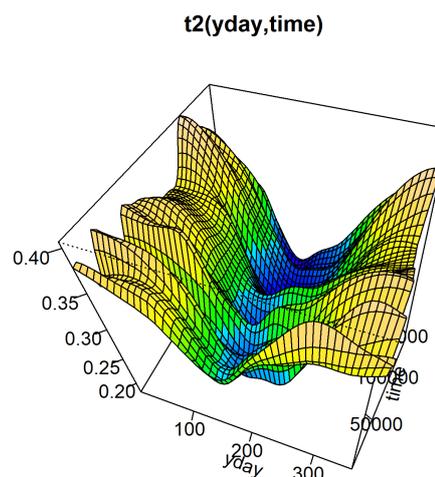


FIGURE 10: Réponses du modèle ajusté manuellement pour les années 2008 à 2019, réponse croisée suivant la durée (time) et le jour. La méthode utilise les produits tensoriels alternatifs (t2) du package mgcv. En résumé, la "vallée" représente l'évolution au cours du temps de la forme de la sinusoïde des poids moyens.

2.3. Les migrations de civelles

La migration des civelles pour 2019 s'établit à 1 031 582 individus pour un poids de 288 kg ce qui place cette année au 8<sup>ème</sup> rang sur 25 années de suivi (Figure 12, tableau 5).

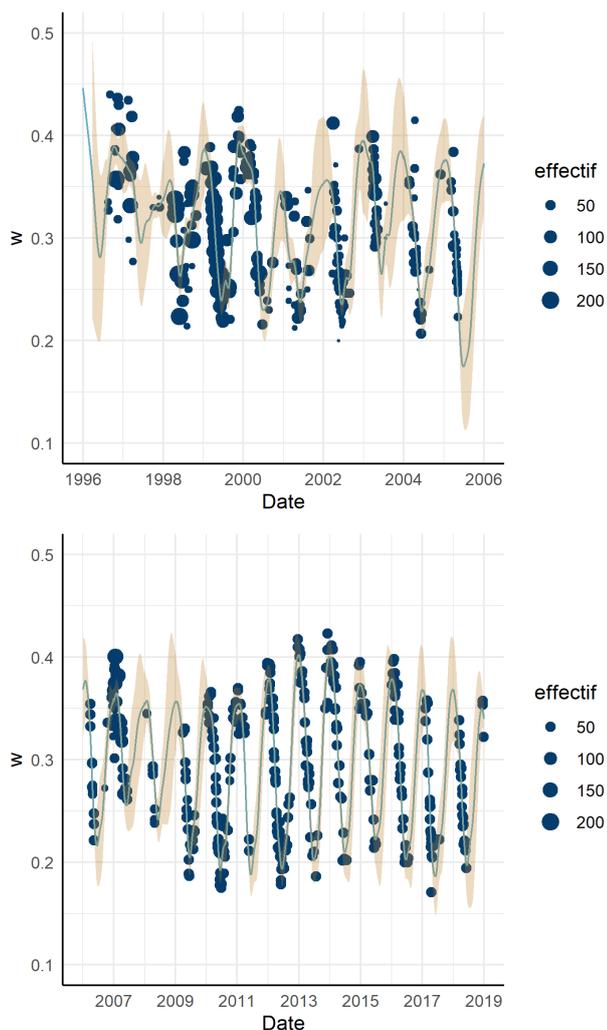


FIGURE 11: Prédications du modèle ajusté manuellement pour les années 2008 à 2019, les points représentent les poids moyens mesurés (en fonction des effectifs), et les courbes les prédictions du modèle avec les intervalles de confiance à 95%.

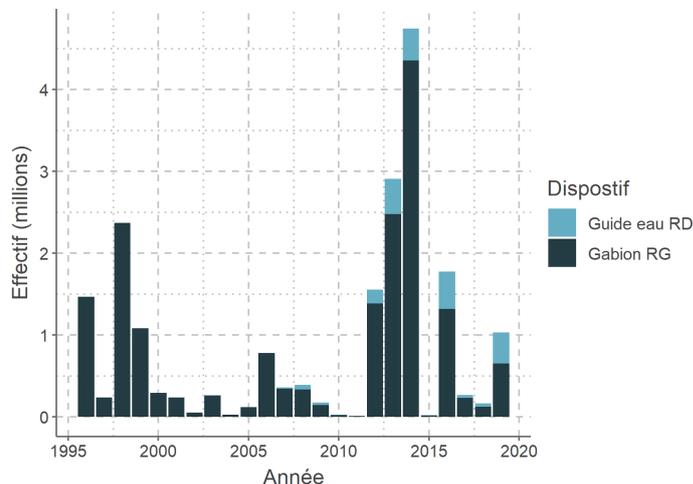


FIGURE 12: Effectif de civelles estimés sur les deux passes du barrage d'Arzal entre 1996 et 2019.

Les tendances interannuelles de migration montrent des montées sur les passes extrêmement variables d'une année à l'autre (Figure 15).

Cette variabilité de la migration en terme quantitatifs masque pourtant un phénomène migratoire essentiellement centré sur le mois d'avril avec un décalage récent sur les mois janvier -février (Figure 13).

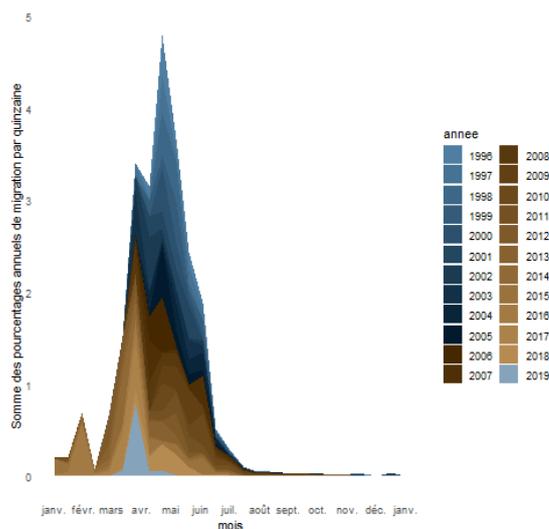


FIGURE 13: Saisonnalité des migrations de civelles, données combinées sur les deux dispositifs de franchissement du barrage.

Pour interpréter les effectifs en migration sur les passes, il faut comprendre que ceux-ci sont dépendants de la pê-

| Année | N         | P        |
|-------|-----------|----------|
| 1996  | 1 470 386 | 443,20   |
| 1997  | 239 527   | 70,00    |
| 1998  | 2 373 050 | 702,40   |
| 1999  | 1 084 905 | 301,00   |
| 2000  | 294 486   | 82,70    |
| 2001  | 239 759   | 61,00    |
| 2002  | 53 034    | 17,10    |
| 2003  | 261 380   | 83,40    |
| 2004  | 27 973    | 7,30     |
| 2005  | 119 936   | 29,40    |
| 2006  | 779 410   | 217,60   |
| 2007  | 362 910   | 101,70   |
| 2008  | 392 396   | 112,70   |
| 2009  | 177 929   | 43,40    |
| 2010  | 26 168    | 5,90     |
| 2011  | 11 209    | 2,60     |
| 2012  | 1 555 448 | 434,00   |
| 2013  | 2 909 955 | 877,40   |
| 2014  | 4 745 808 | 1 607,30 |
| 2015  | 21 852    | 6,50     |
| 2016  | 1 774 857 | 629,40   |
| 2017  | 269 238   | 74,80    |
| 2018  | 168 361   | 41,50    |
| 2019  | 1 031 582 | 288,30   |

Tableau 5: Montées de civelles dans les passes du barrage d'Arzal,  $N$  nombre,  $P$  poids (en kg).

cherie. Les arrivées estuariennes les plus importantes sont en janvier et février mais l'échappement nécessaire pour que la passe fonctionne n'intervient que lorsque la pêche est arrêtée sur plusieurs jours de rang. La transition de comportement nécessaire pour que les civelles passent en phase active prendrait entre 15 et 30 jours pour une température de 8 à 12 degrés (voir Briand, 2009, p 186). Ainsi, sur la période historique précédant la mise en œuvre du plan de gestion, le constat a été effectué par modélisation que seules des mesures de gestion basées sur des fermetures saisonnières de la pêcherie, pouvaient conduire à un échappement substantiel (détails sur Beaulaton et Briand, 2007, figure 4).

Les montées supérieures à quelques civelles par jour ont toujours débuté entre fin mars et début avril entre 1996 et 2009 (Figure 14). Après l'implémentation des plans de gestion, en 2010 et 2011, l'exploitation a couvert l'ensemble de la saison, car les mesures de gestion saisonnières ont été retirées du plan de gestion dont la nouvelle mesure de régulation était le quota. Malheureusement, le quota a été basé sur des valeurs de captures, qui correspondaient à un taux d'exploitation important sur la Vilaine, et la poursuite de la baisse du recrutement s'est traduite par des niveaux de quotas supérieurs aux arrivées effectives sur la Vilaine. Les effectifs totaux en migration sur les passes d'Arzal se sont vraiment effondrés avec des poids de 5.4 et 2.5 kg (pour des captures de 3 tonnes et 3.9

tonnes - Tableau 1). Du point de vue de la saisonnalité, ces deux années sont donc difficilement interprétables car les effectifs  $y$  sont trop faibles.

A partir de 2012, les arrivées de civelles connaissent une augmentation (Figure 6). Les quotas, qui sont alors toujours calculés sur une tendance à la baisse, ne dépassent plus le recrutement. La pression de pêche diminue aussi du fait d'une diminution du nombre de navires. Ainsi, l'estuaire connaît des périodes continues sans pêche.

La saisonnalité des arrivées en a été bouleversée. Les températures parfois clémentes, ont autorisé la migration de civelles sur les passes, dont les effectifs hebdomadaires en janvier, février ou mars pourront dépasser 1 million de civelles par semaine (Figure 14).

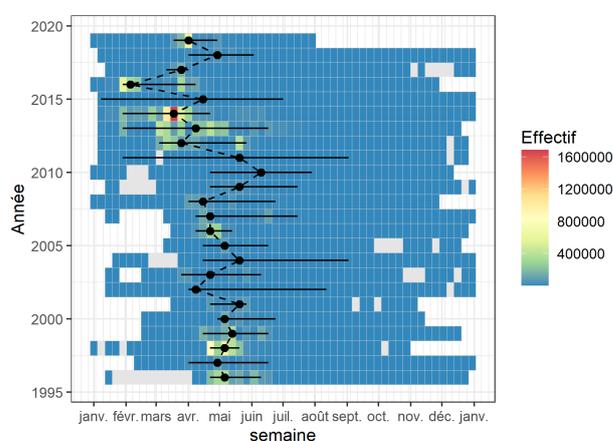


FIGURE 14: Migrations de civelles sur les deux dispositifs du barrage d'Arzal, chaque cluster indique l'effectif ayant migré cette semaine, la barre horizontale indique les quantiles 5% et 95% de la migration. En couleur période entre la première arrivée de civelles et la dernière, avec une couleur relative à l'importance des effectifs en migration. En gris, période incluse entre la première et la dernière arrivée de civelles mais sans migration observée cette semaine. Les points représentent la date médiane de migration des civelles, ils sont reliés par une ligne en pointillé qui indique un changement de la saisonnalité après l'implémentation du plan de gestion (2009).

En 2015, le quota ne permet pas d'arrêts de la pêcherie pendant la saison. La pêche s'étend sur toute la durée de la saison et on retrouve les très faibles échappements de 2010 et 2011 (Tableau 5 et Figure 12).

En 2016, il y a eu plusieurs arrêts de pêche au cours de la saison, qui ont permis l'échappement de civelles. Les civelles destinées au repeuplement ont été pêchées en fin de saison. Les migrations de janvier et février sont les plus fortes jamais enregistrées pour ces mois.

La pêche durant la saison 2017 est interrompue à quelques reprises, environ une semaine fin janvier et deux semaines courant mars. La première interruption ne permet pas la migration de civelles car les températures d'eau sont très basses. Les échappements à la pêcherie en mars atteignent à peine la moyenne historique, bien que la migration 2017 soit très majoritairement regroupée pendant

ce mois (Briand et al., 2018). Avec la reprise de la pêche ensuite jusqu'à fin avril, la migration est anecdotique.

En 2018, les captures sont importantes dès le début de la saison. La pêche est quasi continue, sans aucune migration sur les passes, et la fin de la saison est précoce malgré le transfert de quota de 1300 kg depuis l'Adour. Bien que la fermeture intervienne le 13 mars, les migrations restent faibles par la suite.

Les arrivées durant la saison 2019 sont très précoces et les captures fortes dès décembre. Il y a peu d'interruptions de pêche, et très peu de migration sur les passes. Aucun transfert de quota ne retarde la fin de saison qui intervient tôt, le 9 mars. La migration sur les passes s'effectue à 80% sur 2 semaines, la dernière de mars et la première d'avril.

Les résultats pour les deux dernières années sont surprenants, car les arrêts de la pêcherie sont intervenus très tôt et sont une mesure de gestion importante, correspondant aux préconisations de "bonne gestion" de la ressource. Un examen particulier des montées sur la passe du mur guide eau (rive droite) et le gabion (en rive gauche) montre une diminution de la proportion de captures sur le gabion (la passe principale). Une des causes possible pourrait être une mauvaise répartition des débits entre la rampe amont et la rampe aval de la passe du gabion<sup>4</sup>. Une analyse plus fine des fonctionnements des vannes du barrage et de leur influence sur les montées respectives du guide eau et du gabion serait également à conduire. Il est cependant possible que les arrivées tardives aient été faibles. Le suivi avec marquage recapture entre 1996 et 2005 a montré la grande variabilité des arrivées tardives et leur influence sur les montées.

Le détail mensuel de la migration de 2019 (en effectif) est donné en annexe aux Tableaux 9 et 10. Les Tableaux 11 et 12 synthétisent la migration par an, à la fois en poids et en effectif.

---

4. La rampe amont adossée au bajoyer est globalement peu efficace, toutefois pour une configuration de débit similaire, l'année 2020 (rapport à venir) revient à un « pourcentage » normal du ratio entre la passe et le gabion

2.4. Graphiques la migration 2019 des civelles

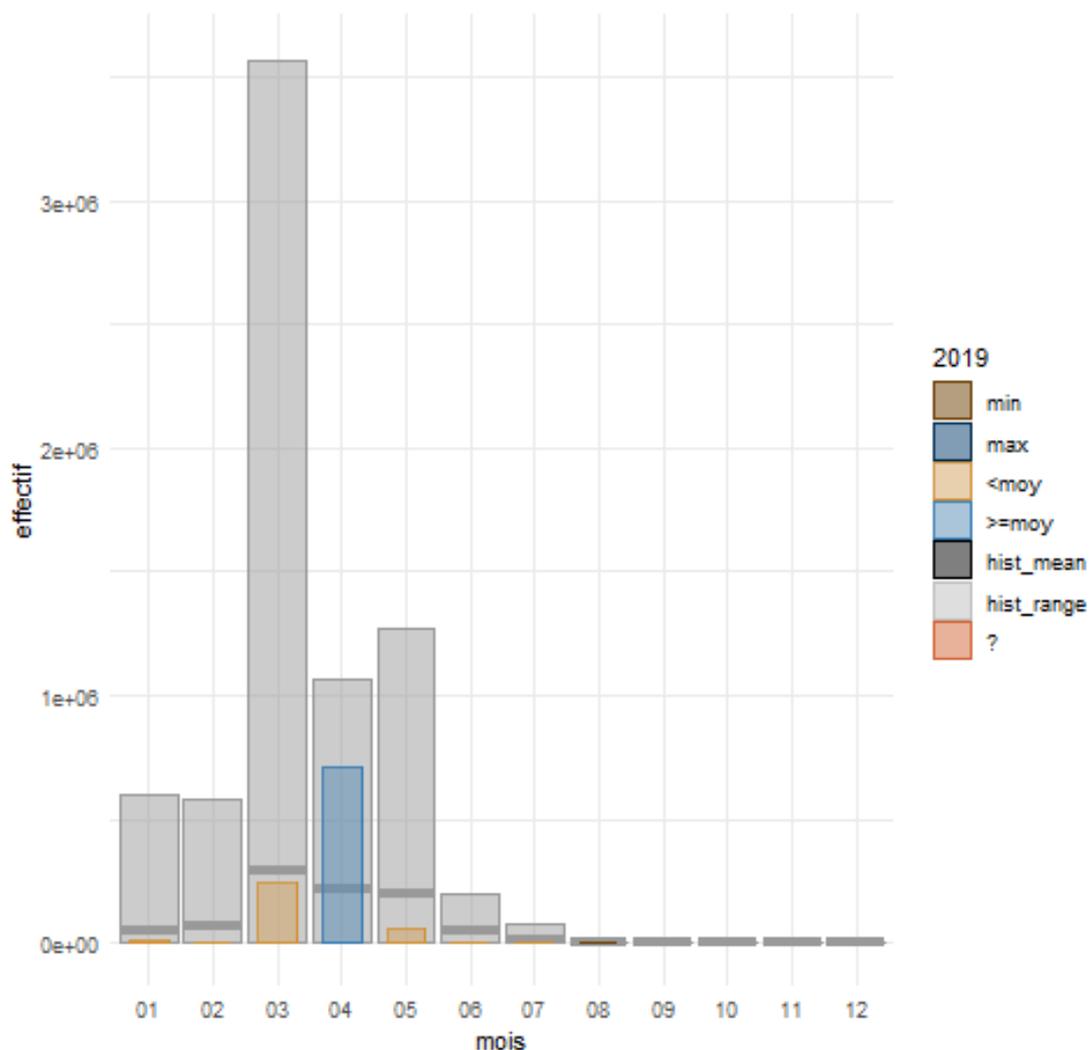


FIGURE 15: Comparaison des migrations de civelles de l'année 2019 à la tendance historique (en gris, valeurs min et max et moyenne (hist\_mean), en bleu valeurs maximales, en bleu clair valeurs supérieures à la moyenne, en marron valeurs inférieures à la moyenne.

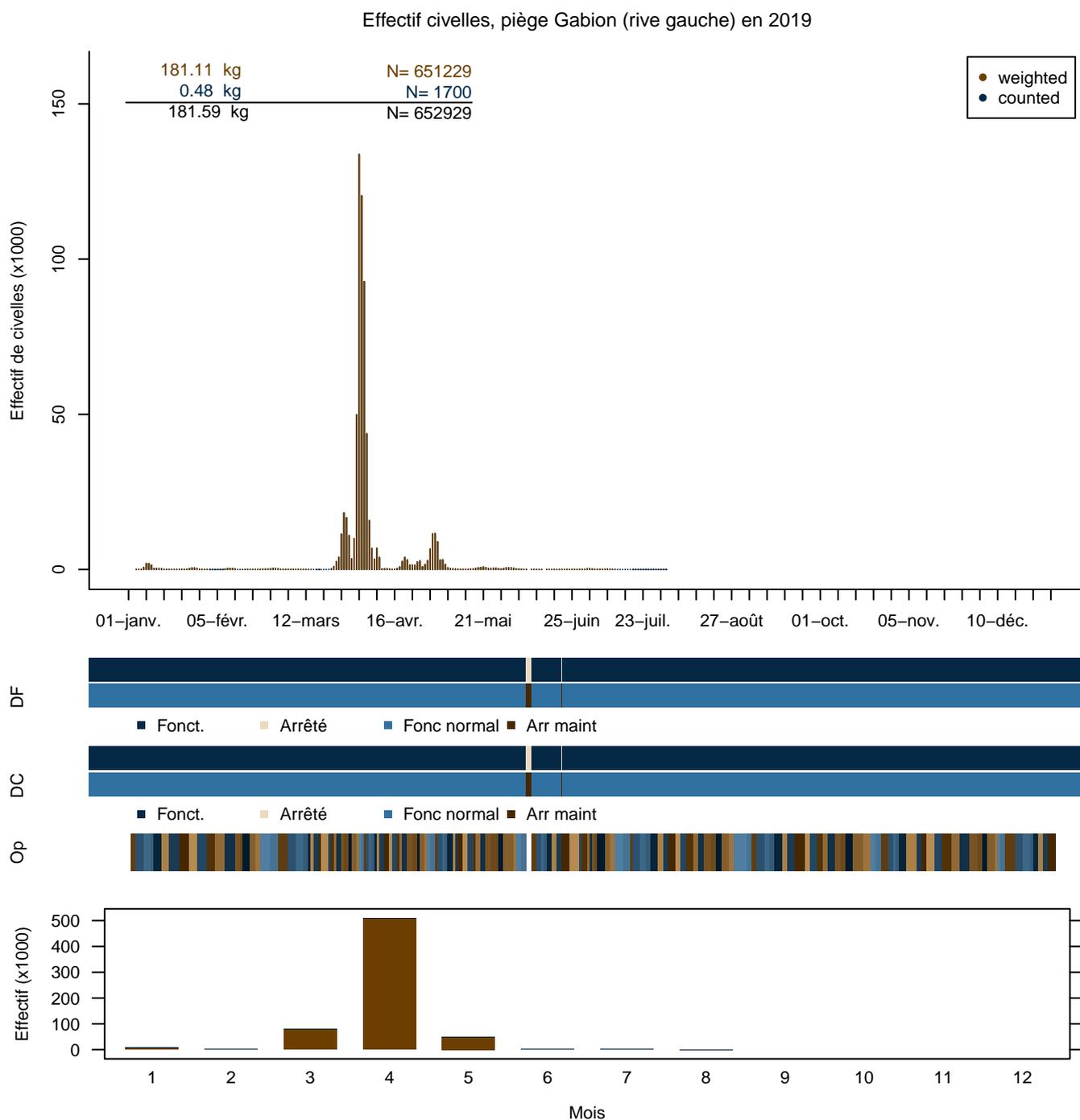


FIGURE 16: Bilan migration du piège principal en rive gauche, le bilan montre aussi la conversion entre les poids et les effectifs, les fonctionnements du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

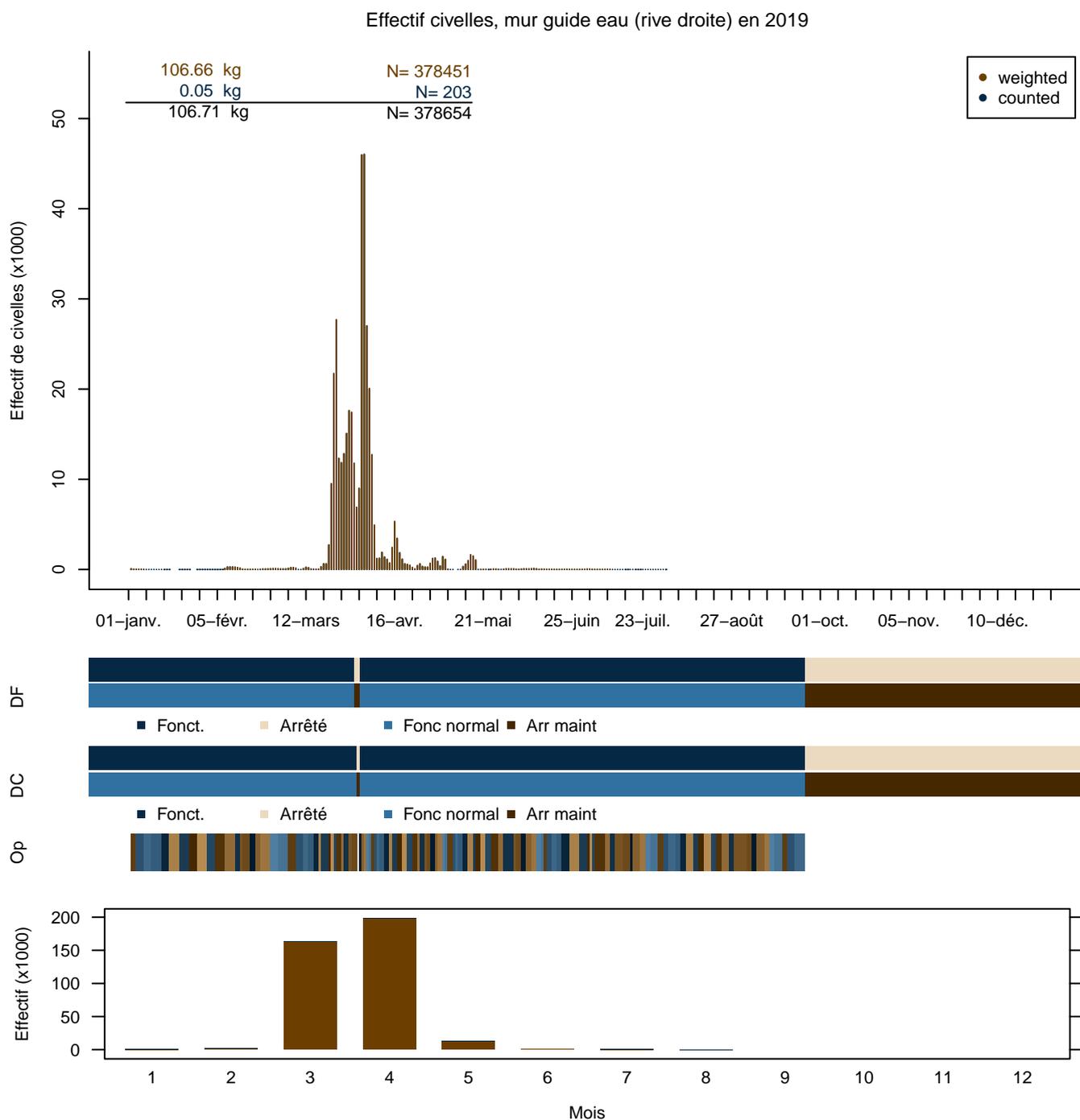


FIGURE 17: Bilan migration du piège secondaire, en rive droite, le bilan montre aussi la conversion entre les poids et les effectifs, les fonctionnements du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

2.5. Les migrations d'anguilles jaunes

17 668 anguilles jaunes ont migré sur la passe, ce qui classe cette année comme la 12<sup>ème</sup> sur 25 années de suivi. Les migrations d'anguilles jaunes sont extrêmement variables d'une année sur l'autre. Le minimum des migrations a été connu en 2005 avec seulement 878 anguilles jaunes dans l'ensemble de l'année (Tableau 8). Le maximum a été trouvé en 2013 après deux saisons de fort échappement en civelles avec 145000 anguilles jaunes, soit une fluctuation d'un facteur 160. Globalement, la période récente montre une augmentation de la migration d'anguilles jaunes depuis la mise en œuvre du plan de gestion (Figure 18). La

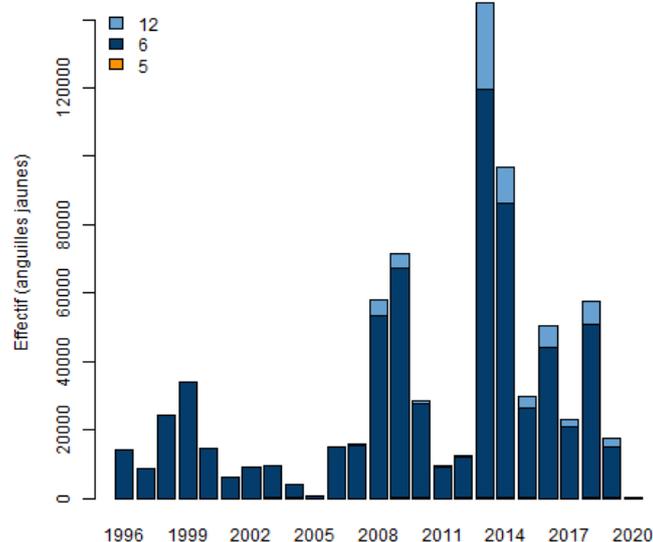


FIGURE 18: Tendence de migration des anguilles jaunes sur les trois dispositifs du barrage, les anguilles migrant par la passe à bassins, peu nombreuses ne sont pas attribuées à un stade particulier.

majeure partie des effectifs concerne des petites anguilles d'âge zéro et un, puis la migration diminue pour les classes suivantes. La migration a un caractère saisonnier très marqué (Figure 19) avec des pics de migration en avril-juin et septembre. Les débits de la Vilaine et les coefficients de marée sont des éléments prédictifs de l'intensité migratoire.

L'extension de la saison migratoire aux mois de janvier, février et mars observée sur les années 2013-2015 semble aussi concerner les anguilles jaunes (Figure 20).

La figure 21 montre une migration 2019 modale centrée sur le mois de mai. Tous les effectifs sont largement inférieurs à la moyenne historique.

|      | P. bassins | Anguille |          |
|------|------------|----------|----------|
|      |            | Piège RG | Piège RD |
|      |            | Jaune    | Total    |
| 1996 |            | 14 171   | 14 171   |
| 1997 |            | 8 614    | 8 614    |
| 1998 |            | 24 437   | 24 437   |
| 1999 | 2          | 33 935   | 33 937   |
| 2000 |            | 14 608   | 14 608   |
| 2001 |            | 6 336    | 6 336    |
| 2002 | 39         | 9 186    | 9 225    |
| 2003 | 121        | 9 323    | 9 444    |
| 2004 | 211        | 3 910    | 4 121    |
| 2005 |            | 878      | 878      |
| 2006 |            | 15 011   | 15 011   |
| 2007 |            | 15 255   | 15 669   |
| 2008 | 37         | 53 508   | 57 931   |
| 2009 | 60         | 67 109   | 71 656   |
| 2010 | 105        | 27 430   | 28 457   |
| 2011 | 31         | 9 127    | 9 346    |
| 2012 | 191        | 11 959   | 12 645   |
| 2013 | 111        | 119 391  | 145 103  |
| 2014 | 62         | 86 203   | 96 745   |
| 2015 | 129        | 26 454   | 29 636   |
| 2016 | -20        | 44 011   | 50 312   |
| 2017 | -118       | 21 181   | 22 964   |
| 2018 | 182        | 50 789   | 57 787   |
| 2019 | 171        | 14 811   | 17 668   |
| 2020 |            | 150      | 150      |

Tableau 6: Migration des stades anguilles jaunes, dans les trois passes du barrage d'Arzal (P. bassin = passe à fente verticale, Piège RG = passe piège historique sur le gabion, Piège RD = passe du mur guide eau. Les effectifs des opérations à cheval sur deux années sont répartis au pro-rata des effectifs de chaque année

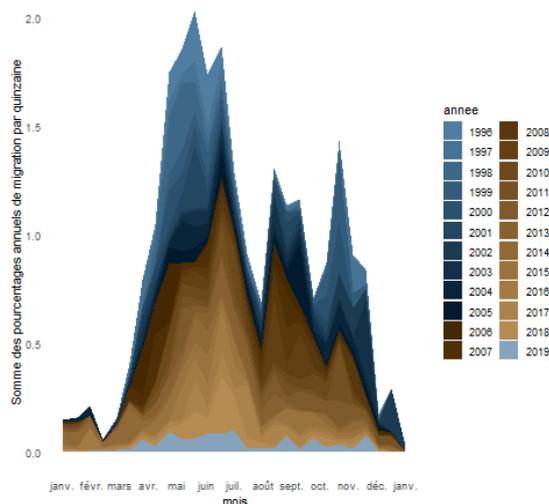


FIGURE 19: Saisonnalité des migrations d'anguilles jaunes, données combinées sur les deux dispositifs de franchissement du barrage d'Arzal.

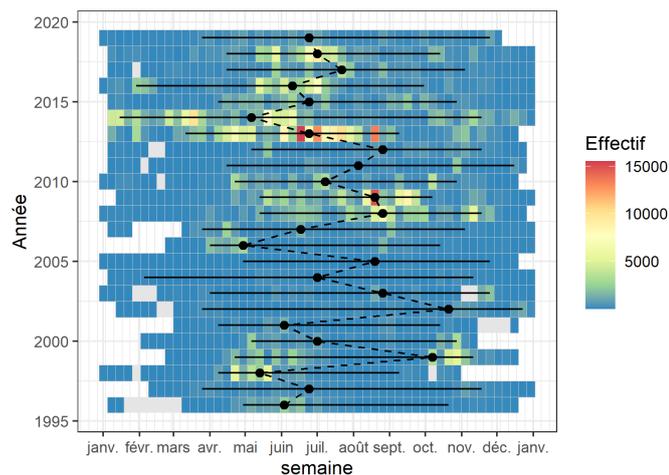


FIGURE 20: Migrations d'anguilles jaunes sur les deux dispositifs du barrage d'Arzal, chaque cluster indique l'effectif ayant migré cette semaine, la barre horizontale indique les quantiles 5% et 95% de la migration. En couleur période entre la première arrivée d'anguilles jaunes et la dernière, avec une couleur relative à l'importance des effectifs en migration. En gris, période incluse entre la première et la dernière arrivée d'anguille jaune mais sans migration observée cette semaine. Les points représentent la date médiane de migration des anguilles jaunes.

2.6. Structure en taille des migration d'anguilles jaunes

La taille de 5 756 anguilles jaunes a été mesurée en 2019 (Figure 22). Les anguilles jaunes mesurées sur la passe vont de la taille civelle (minimum 60 mm) à des tailles de 480 mm. De plus grandes anguilles peuvent être rencontrées dans la passe à bassins mais l'interprétation des migrations sur les vitres de vidéo comptage est difficile pour les plus petites anguilles (de moins de 25-30 cm). En période de migration, des civelles sont parfois observées devant les vitres de la passe, lorsque cette dernière est fermée à pleine mer. Il est possible que certaines puissent venir de amont, pour des civelles et des anguillettes relâchées par la conduite d'évacuation de la passe à anguilles. Il semble que l'essentiel correspond à des civelles rentrées au droit de fuites à l'aval. Les migrations de petites anguilles dans la passe, si elles interviennent parfois, sont quand même limitées par l'importance de la chute aval de la passe à bassins qui est généralement réglée à 300 mm. Elles n'interviennent en général qu'autour de la marée haute, quand les vannes de la passe se ferment. Les effectifs très faibles des anguilles comptées dans la passe à bassins attestent d'eux même de l'efficacité relative des passes, et de la sélectivité de la caméra vis à vis des classes de taille (Tableau 8).

Les données sont réparties par classe de taille de 5 mm puis redressées à partir des effectifs mensuels migrant sur les deux passes à anguilles d'Arzal (Figure 23). La taille médiane des anguilles jaunes varie entre 124 et 180 mm. Lorsqu'on compare la structure en taille de 2019 aux structures en taille des années précédentes (Figures 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38 et 39) on observe clairement la prédominance des anguilles de l'année en 2013 et 2014, et des

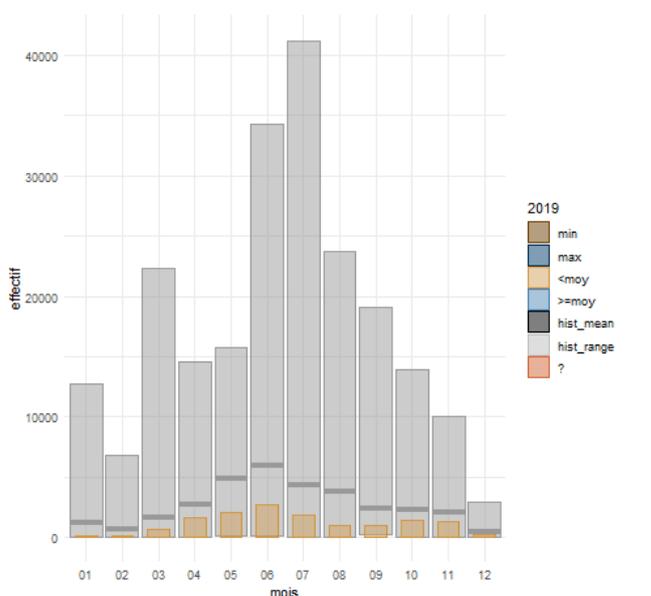


FIGURE 21: Comparaison des migrations d'anguilles jaunes de l'année 2019 à la tendance historique (en gris, valeurs min et max et moyenne (hist\_mean), en bleu valeurs maximales, en bleu clair valeurs supérieures à la moyenne, en marron valeurs inférieures à la moyenne).

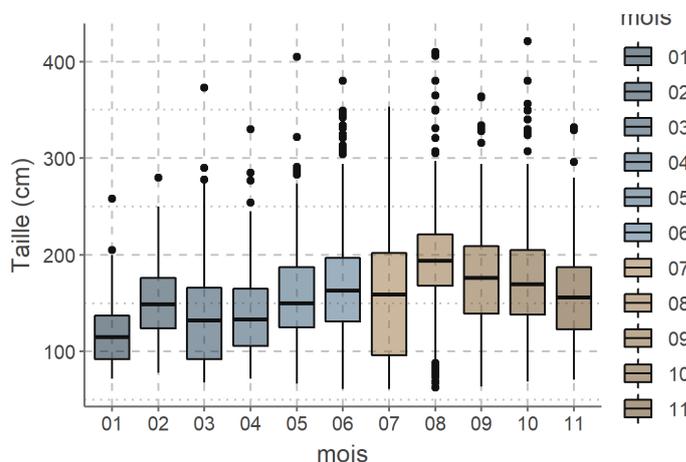


FIGURE 22: Box plot des tailles d'anguilles jaunes (en mm) en 2019 mesurées par mois sur la passe principale du barrage d'Arzal.

arrivées plus diffuses en 2010, 2011, 2012, 2016 et 2018. En 2017 et 2019 le mode correspondant aux civelles de petite taille est absent. Ce constat est surprenant pour 2019 car la migration de civelles était importante. Peut être est-ce la conséquence de deux années de recrutement relativement faible au stade civelle (2017 et 2018) qui aurait libéré de la place en estuaire.

La structure en taille de chaque mois est multipliée par une clé taille âge basée sur les mesure de croissance des anguilles d'estuaire (Lecture Mounaix, données 1998-1999) (Figure 24). Cette conversion permet d'obtenir une idée « grossière » de la migration par classe d'âge pour répondre

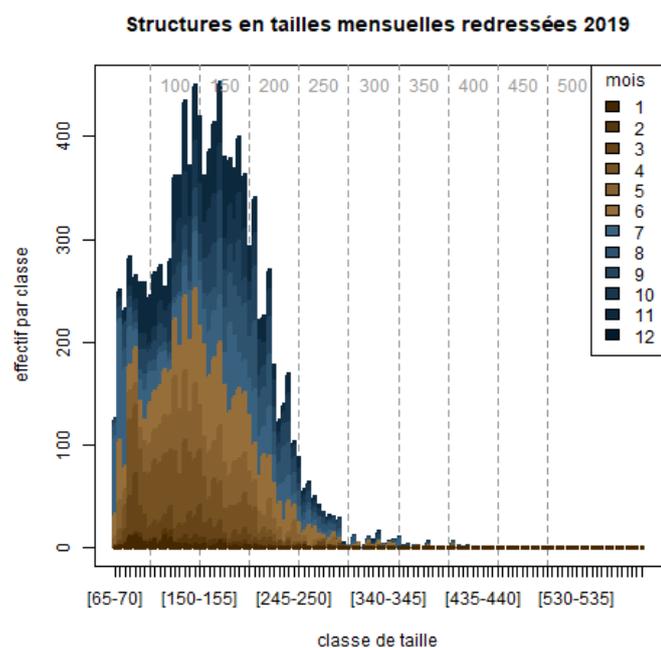


FIGURE 23: Structure en taille des anguilles jaunes en 2019 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

| Mois | n    | $\tau$ |    |
|------|------|--------|----|
|      |      | moy    | sd |
| 01   | 101  | 121    | 36 |
| 02   | 87   | 151    | 38 |
| 03   | 378  | 139    | 51 |
| 04   | 562  | 137    | 41 |
| 05   | 418  | 156    | 48 |
| 06   | 1345 | 165    | 51 |
| 07   | 446  | 155    | 60 |
| 08   | 453  | 192    | 54 |
| 09   | 547  | 175    | 54 |
| 10   | 748  | 174    | 50 |
| 11   | 671  | 157    | 45 |
| Tous | 5756 | 161    | 52 |

Tableau 7: Moyenne et écart types des tailles d'anguilles  $\tau$  par mois, et nombre d'échantillons collectés en 2019.

à la question suivante : pour une cohorte, est-il possible de suivre année après année une migration qui fut importante au stade civelle ? (Figure 25). Dans tous les cas, la migration du stade civelle domine numériquement les effectifs (Figure 26).

### 2.7. Les migrations d'anguilles argentées

Les migrations d'anguilles argentées au barrage sont principalement comptées à l'aide du Didson (voir rapport sur le bilan des migrations d'argentées). Des anguilles migrent en dévalaison dans la passe à bassins et une partie peut

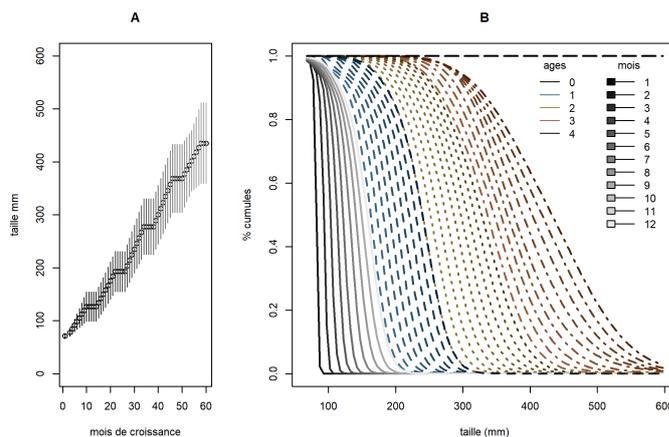


FIGURE 24: - A) Modélisation de la croissance des anguilles en milieu estuarien, taille des anguilles en fonction du nombre de mois de croissance. B) Clés taille/âge utilisées pour l'analyse, pourcentage cumulé de chacune des classes d'âge pour les différents mois de l'année, par exemple pour 400mm au mois de décembre, on trouve de l'ordre de 10% d'âge 2, (60% - 10%=50%) d'âge 3 et 40% d'âge 4 ...

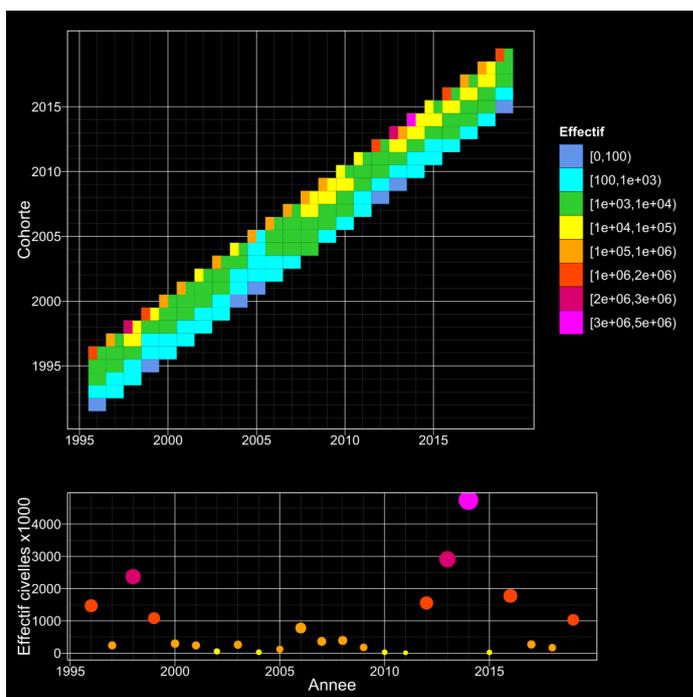


FIGURE 25: Migration des anguilles jaunes et des civelles sur les passes du barrage d'Arzal entre 1996 et 2019. En haut, chaque tuile représente une année et une cohorte à l'exception de la cohorte d'âge zéro (en haut) qui est séparée en une tuile correspondant aux civelles (à gauche) et une tuile correspondant aux anguillettes d'âge zéro à droite. En ligne on peut lire l'intensité migratoire d'une cohorte au cours de plusieurs années successives, en colonne on peut lire la migration des différents groupes d'âge une année donnée. La couleur correspond aux effectifs de la cohorte (anguille jaune) ou des civelles pour l'année en cours. En bas : effectif en migration au stade civelle (multiplier par 1000). La grosseur du point est relative à l'effectif et les couleurs correspondent aux classes du premier graphique, avec une couleur plus intense lorsque l'effectif est plus grand.

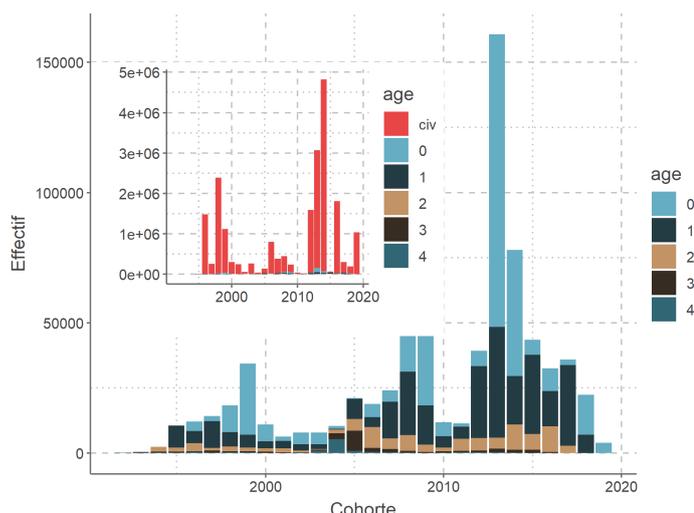


FIGURE 26: Migration d’anguille par cohorte. Chaque année sur l’axe des x représente une cohorte. Les âge 0 et les civelles migrent dans l’année. Les âge 1 migrent après une année (un hiver de plus) en estuaire... En onglet, les civelles, en nombre sont portées sur le même graphique que le précédent.

être considérée comme des argentées (Figure 30). Il est impossible avec notre système de suivi vidéo de différencier de manière certaines les stades jaune et argenté, d’où un classement des individus dévalant s’appuyant sur l’expérience de l’opérateur. En 2019, la migration d’argentées par la basse à bassins est quasi nulle. Globalement, les migrations d’argentées sont très minoritaires lorsqu’on les compare aux autres stades de développement (Figure 27).

### 2.8. Perspectives

Le package stacomIR fait l’objet d’une maintenance applicative : [https://r-forge.r-project.org/R/?group\\_id=1019](https://r-forge.r-project.org/R/?group_id=1019). A partir de la version 4.0 de R, le package comportant les composants d’interface graphique n’est plus maintenu. Il va falloir rapidement développer une version fonctionnant à l’aide de shiny pour remplacer l’interface graphique. Dans l’attente, le package n’est plus disponible sur CRAN. Dans le travail qui reste à faire :

- Traitement de l’ensemble des séries chronologiques de recrutement - y compris des transports- pour reporter dans ce rapport l’indice de recrutement (pour l’instant sur excel).
- Développement de l’option "bilans négatifs" du bilan migration dans stacomIR.
- [https://www.researchgate.net/publication/304986381\\_DOES\\_S\\_IZE\\_MATTER\\_G\\_LASS\\_E\\_L\\_S\\_I\\_Z\\_E\\_A\\_N\\_D\\_R\\_E\\_C\\_R\\_U\\_I\\_T\\_M\\_E\\_N\\_T\\_I\\_N\\_T\\_W\\_O\\_E\\_S\\_4\\_N\\_T\\_n\\_B\\_u\\_1\\_I\\_d\\_q\\_0\\_5\\_U\\_Q\\_I\\_F\\_i\\_9\\_B\\_6\\_l\\_H\\_Y\\_Z\\_Z\\_Q\\_u\\_m\\_d\\_h\\_y\\_3\\_2\\_R\\_e\\_-\\_Q\\_c\\_2\\_P\\_X\\_L\\_H\\_D\\_v\\_w\\_B\\_Y\\_k\\_t\\_N\\_8\\_F\\_E\\_N\\_1\\_b\\_K\\_W\\_y\\_U\\_p\\_j\\_8\\_E\\_m\\_h\\_S\\_C\\_t\\_F\\_R\\_Q\\_M\\_H\\_3\\_V\\_E\\_Z\\_D\\_3\\_m\\_s\\_K\\_Z\\_F\\_6\\_6\\_f\\_e\\_x\\_h\\_j\\_k\\_C\\_3\\_2\\_0\\_N\\_b\\_Q\\_x\\_e\\_1\\_N\\_w\\_6\\_X\\_e\\_u\\_d\\_u\\_7\\_d\\_1\\_1\\_K\\_r\\_Q\\_K\\_F\\_I\\_z\\_E](https://www.researchgate.net/publication/304986381_DOES_S_IZE_MATTER_G_LASS_E_L_S_I_Z_E_A_N_D_R_E_C_R_U_I_T_M_E_N_T_I_N_T_W_O_E_S_4_N_T_n_B_u_1_I_d_q_0_5_U_Q_I_F_i_9_B_6_l_H_Y_Z_Z_Q_u_m_d_h_y_3_2_R_e_-_Q_c_2_P_X_L_H_D_v_w_B_Y_k_t_N_8_F_E_N_1_b_K_W_y_U_p_j_8_E_m_h_S_C_t_F_R_Q_M_H_3_V_E_Z_D_3_m_s_K_Z_F_6_6_f_e_x_h_j_k_C_3_2_0_N_b_Q_x_e_1_N_w_6_X_e_u_d_u_7_d_1_1_K_r_Q_K_F_I_z_E)

|      | Passé à bassins | Piège RG | Piège RD |
|------|-----------------|----------|----------|
|      | Anguille        |          |          |
|      | Argentée        |          | Total    |
| 1999 | 2               |          | 2        |
| 2000 | 1               |          | 1        |
| 2001 | 44              |          | 44       |
| 2002 | 3               |          | 3        |
| 2003 | 2               |          | 2        |
| 2004 | 1               |          | 1        |
| 2006 | 1               |          | 1        |
| 2007 | 1               |          | 1        |
| 2009 | 3               | 1        | 4        |
| 2010 | 6               |          | 6        |
| 2011 | 1               |          | 1        |
| 2012 | 2               |          | 2        |
| 2013 | 11              | 1        | 12       |
| 2015 | 3               |          | 3        |
| 2016 | 5               |          | 5        |
| 2017 | 4               |          | 4        |
| 2018 | 6               | 1        | 7        |
| 2019 | -17             | 3        | -14      |

Tableau 8: Migration des stades anguilles argentées, dans les deux passes du barrage d’Arzal, Piège RG = passe piège historique sur le gabion, Piège RD = passe du mur guide eau). Les effectifs des opérations à cheval sur deux années sont re-répartis au pro-rata des effectifs de chaque année. (Note : le stade des anguilles est difficile à déterminer en suivi vidéo, et la plupart des anguilles migrant dans la passe à bassins sont classées comme jaunes.)

2.9. Graphiques de bilans journaliers des migrations (Anguilles jaunes)

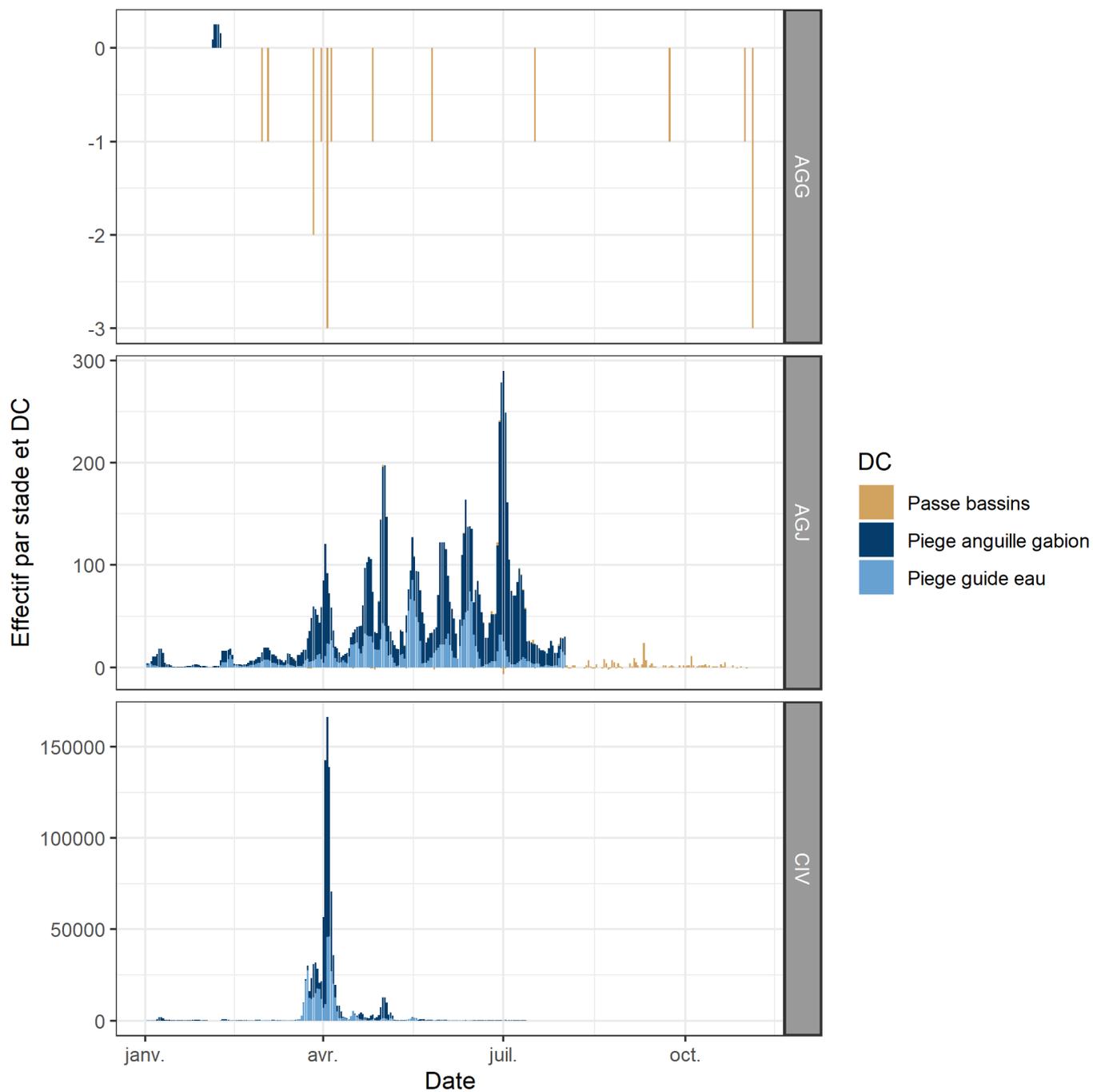


FIGURE 27: Bilan migration multiple, combinant trois stades de développement et les trois dispositifs de comptage d'Arzal. Le Bilan montre qu'en effectif la migration est dominée par les civelles, et que cette année comme les autres années, la passe du gabion en rive gauche du barrage concentre la majeure partie des effectifs.

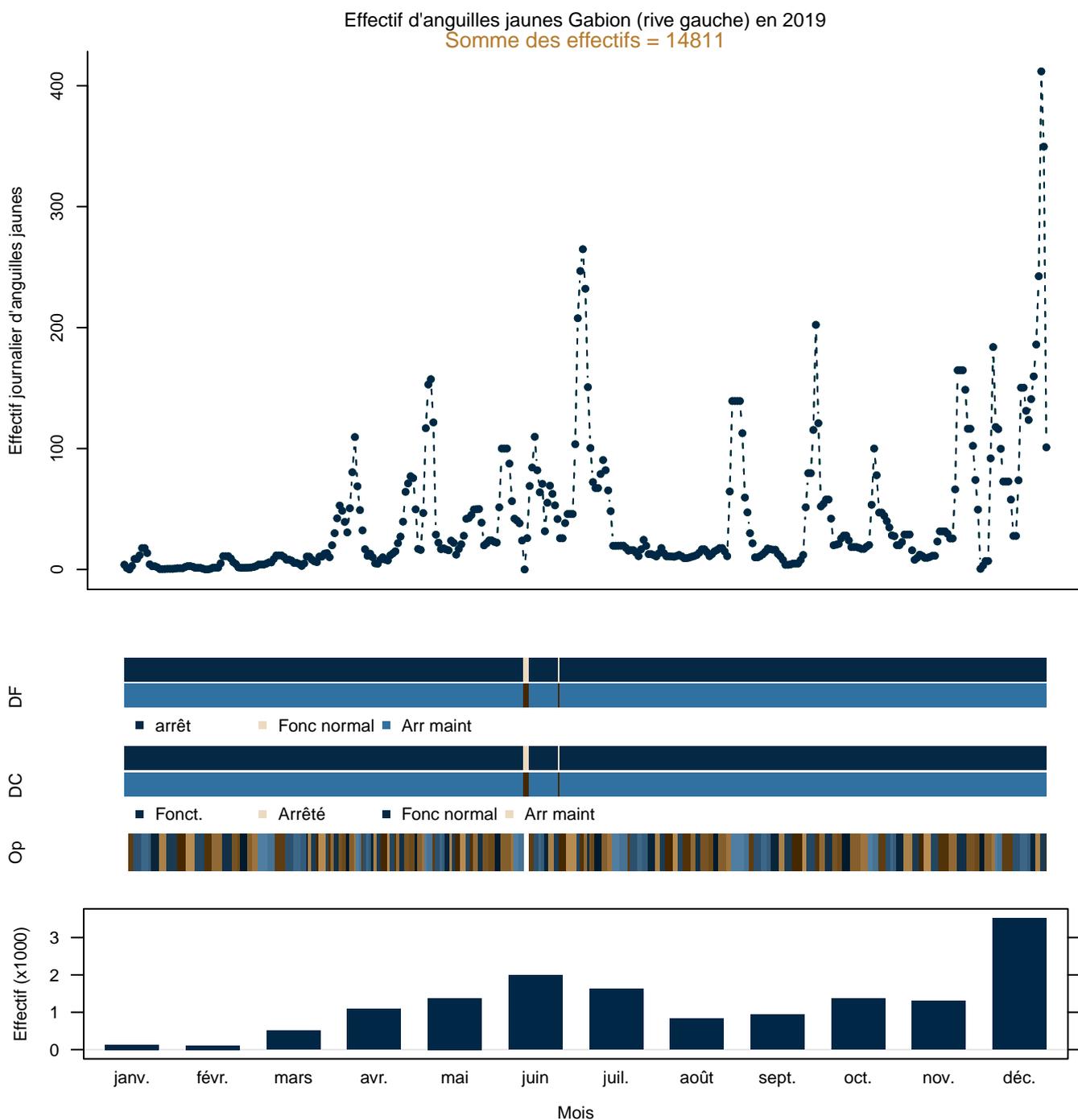


FIGURE 28: Bilan migration pour les Anguilles jaunes sur le piège principal en rive gauche, le bilan résume les fonctionnements du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

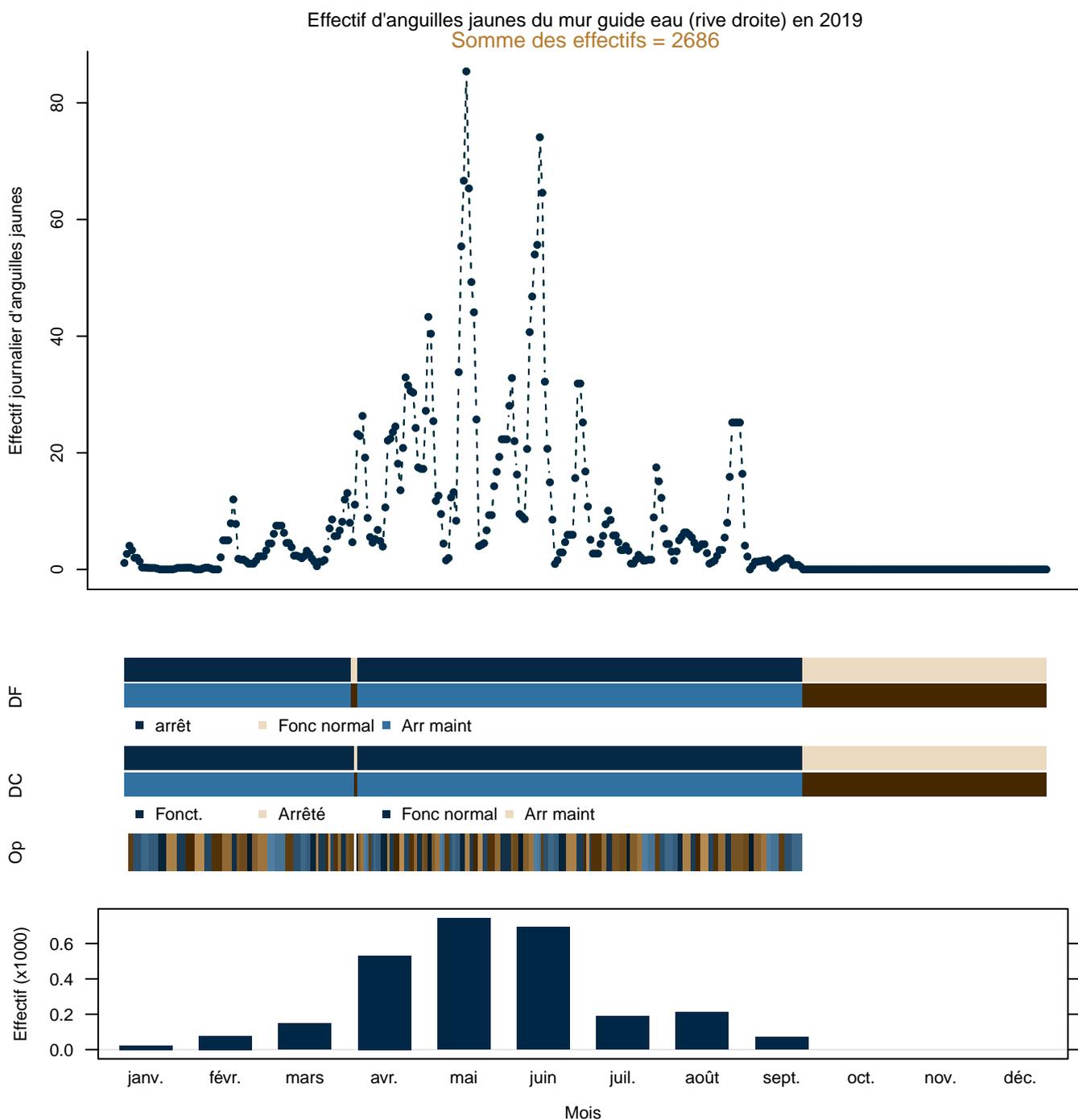


FIGURE 29: Bilan migration des anguilles sur le piège en rive droite sur le mur guide eau, le bilan résume les fonctionnement du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

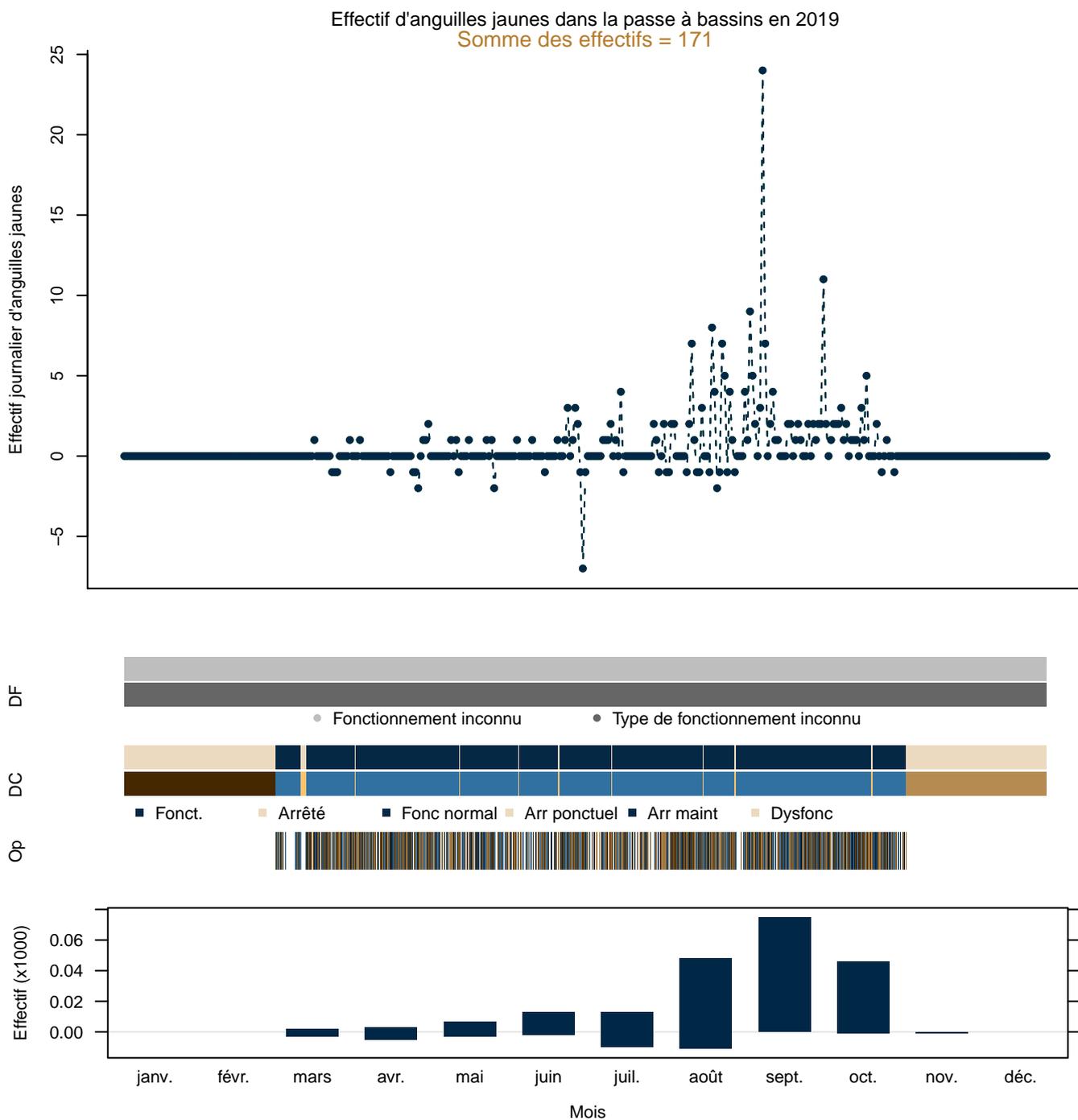


FIGURE 30: Bilan migration des anguilles dans la passe à bassins du barrage d'Arzal. Les migrations vont dans les deux sens, avec des bilans journaliers négatifs ou positifs. Le fonctionnement du DF est difficile à rendre sur une échelle annuelle puisque la passe peut se fermer ou rentrer en dysfonctionnement hydraulique plusieurs fois par jour. Le fonctionnement du DC et les opérations de contrôle correspondent aux périodes de dépouillement vidéo et de chaque opération de contrôle (rentrée toutes les dix minutes si des poissons sont observés).

3. Annexes

| Mois  | Min* | Moyenne* | Max*     | N (2019) |
|-------|------|----------|----------|----------|
| janv. | 0,00 | 36,80    | 346,91   | 9,66     |
| févr. | 0,00 | 55,08    | 435,00   | 3,16     |
| mars  | 0,01 | 251,54   | 3 235,65 | 79,16    |
| avr.  | 1,47 | 218,97   | 1 061,47 | 509,89   |
| mai   | 0,71 | 186,80   | 1 273,13 | 47,57    |
| juin  | 1,25 | 41,55    | 195,59   | 1,96     |
| juil. | 0,18 | 6,06     | 66,18    | 1,52     |
| août  | 0,00 | 0,94     | 5,91     | 0,00     |

Tableau 9: Montées de civelles (en milliers) dans la passe principale du barrage d'Arzal (Gabion en rive gauche), données par mois, N (2016) effectifs par mois pour 2019, les trois statistiques \* correspondent à la période 1996-2019. min\* minimum mensuel, max\* maximum mensuel, moyenne\* moyenne des effectifs mensuels.

| Mois  | Min* | Moyenne* | Max*   | N (2019) |
|-------|------|----------|--------|----------|
| janv. | 0,00 | 36,29    | 250,31 | 0,22     |
| févr. | 0,00 | 33,85    | 145,59 | 2,12     |
| mars  | 0,00 | 78,85    | 332,91 | 163,63   |
| avr.  | 0,32 | 44,72    | 198,72 | 198,72   |
| mai   | 0,00 | 13,66    | 76,66  | 12,76    |
| juin  | 0,02 | 6,32     | 30,97  | 0,98     |
| juil. | 0,01 | 1,60     | 11,62  | 0,23     |
| août  | 0,00 | 0,14     | 0,35   | 0,00     |

Tableau 10: Montées de civelles (en milliers) sur la passe secondaire du barrage d'Arzal (Mur guide eau en rive droite), données par mois, les trois statistiques \* correspondent à la période 2008-2019. N (2016) effectif par mois pour 2019, min\* minimum mensuel, max\* maximum mensuel, moyenne\* moyenne des effectifs mensuels.

| Année | N         | P        |
|-------|-----------|----------|
| 1996  | 1 470 386 | 443,20   |
| 1997  | 239 527   | 70,00    |
| 1998  | 2 373 050 | 702,40   |
| 1999  | 1 084 905 | 301,00   |
| 2000  | 294 486   | 82,70    |
| 2001  | 239 759   | 61,00    |
| 2002  | 53 034    | 17,10    |
| 2003  | 261 380   | 83,40    |
| 2004  | 27 973    | 7,30     |
| 2005  | 119 936   | 29,40    |
| 2006  | 779 410   | 217,60   |
| 2007  | 347 855   | 97,80    |
| 2008  | 336 943   | 96,60    |
| 2009  | 146 283   | 35,90    |
| 2010  | 24 239    | 5,40     |
| 2011  | 10 387    | 2,40     |
| 2012  | 1 388 858 | 391,20   |
| 2013  | 2 480 710 | 749,60   |
| 2014  | 4 354 652 | 1 478,40 |
| 2015  | 17 568    | 5,30     |
| 2016  | 1 319 983 | 462,30   |
| 2017  | 231 682   | 64,80    |
| 2018  | 127 451   | 31,10    |
| 2019  | 652 929   | 181,60   |

Tableau 11: Montées de civelles dans la passe principale du barrage d'Arzal (Gabion en rive gauche), N nombre, P poids (en kg).

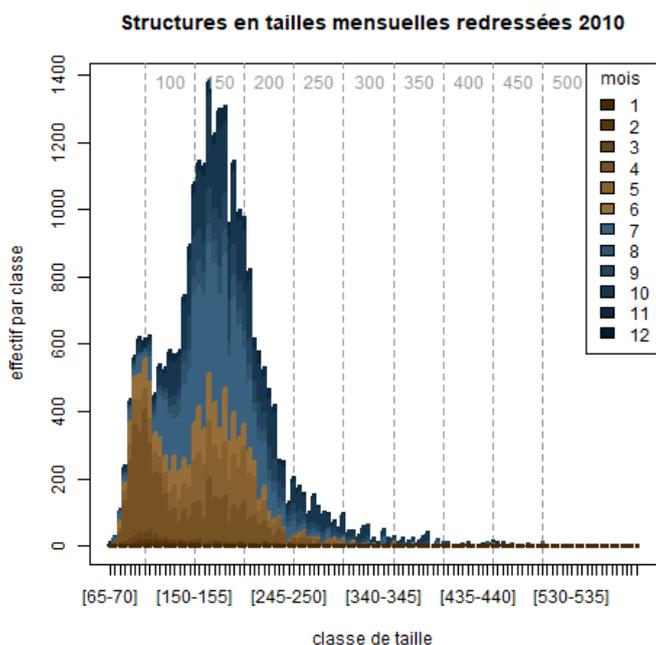


FIGURE 31: Structure en taille des anguilles jaunes en 2010 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

| Année | N       | P      |
|-------|---------|--------|
| 2007  | 15 055  | 3,90   |
| 2008  | 55 453  | 16,10  |
| 2009  | 31 646  | 7,50   |
| 2010  | 1 929   | 0,50   |
| 2011  | 821     | 0,20   |
| 2012  | 166 590 | 42,90  |
| 2013  | 429 244 | 127,80 |
| 2014  | 391 156 | 128,90 |
| 2015  | 4 284   | 1,10   |
| 2016  | 454 874 | 167,10 |
| 2017  | 37 556  | 10,00  |
| 2018  | 40 910  | 10,40  |
| 2019  | 378 654 | 106,70 |

Tableau 12: Montées de civelles sur la passe secondaire du barrage d'Arzal (Mur guide eau en rive droite), N nombre, P poids (en kg).

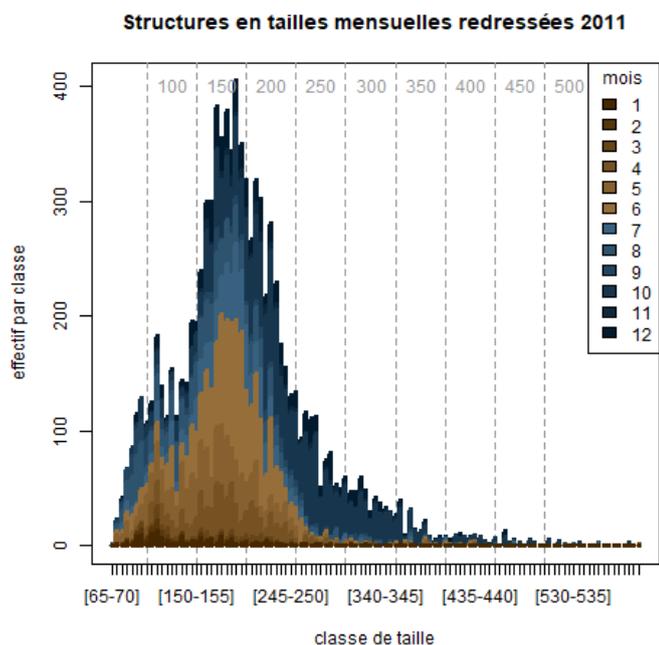


FIGURE 32: Structure en taille des anguilles jaunes en 2011 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

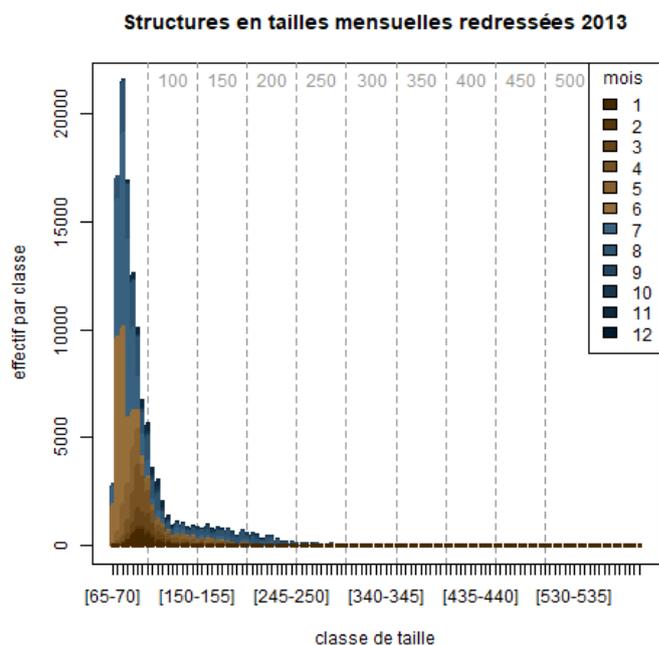


FIGURE 34: Structure en taille des anguilles jaunes en 2013 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

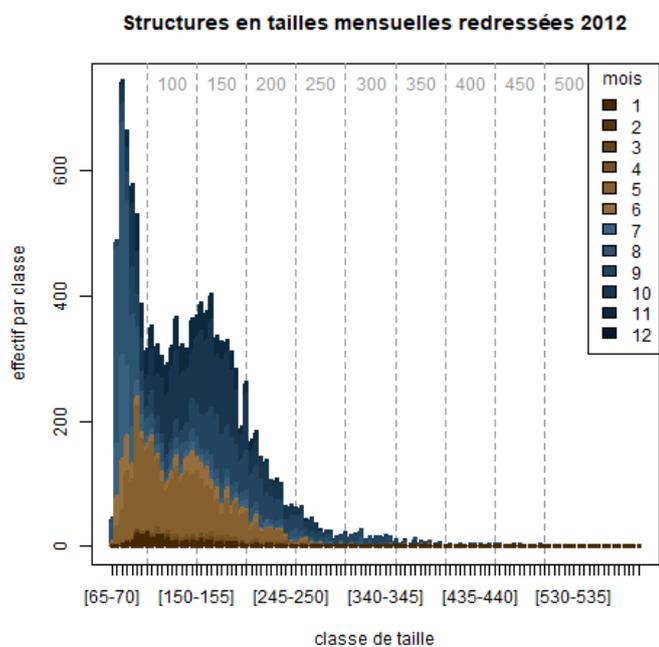


FIGURE 33: Structure en taille des anguilles jaunes en 2012 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

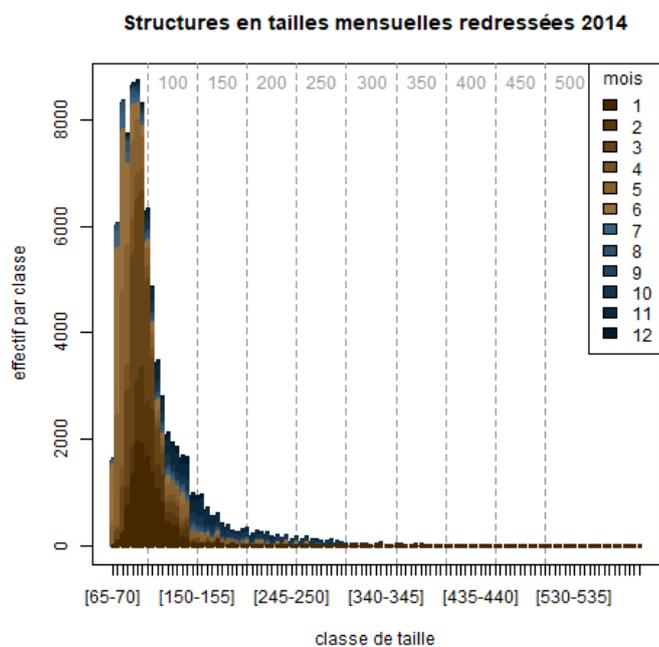


FIGURE 35: Structure en taille des anguilles jaunes en 2014 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

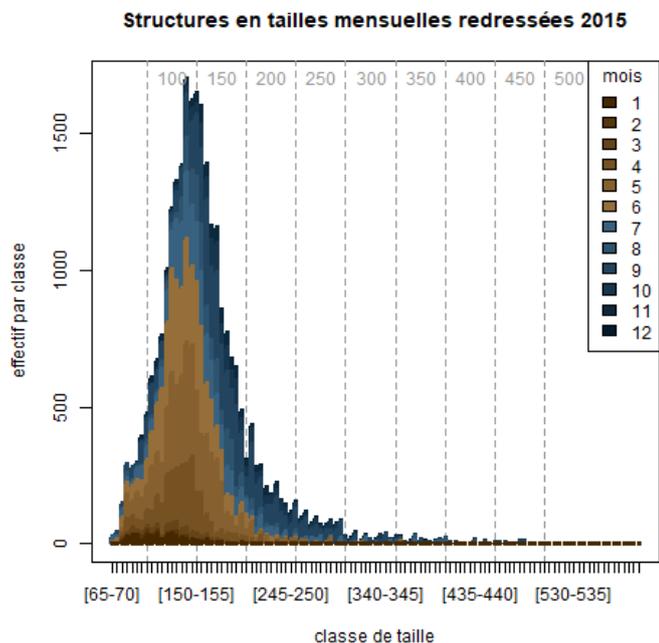


FIGURE 36: Structure en taille des anguilles jaunes en 2015 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

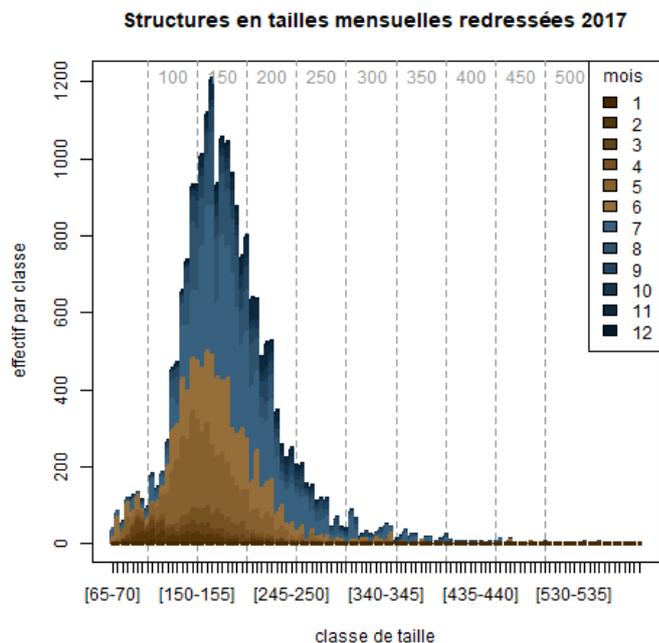


FIGURE 38: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

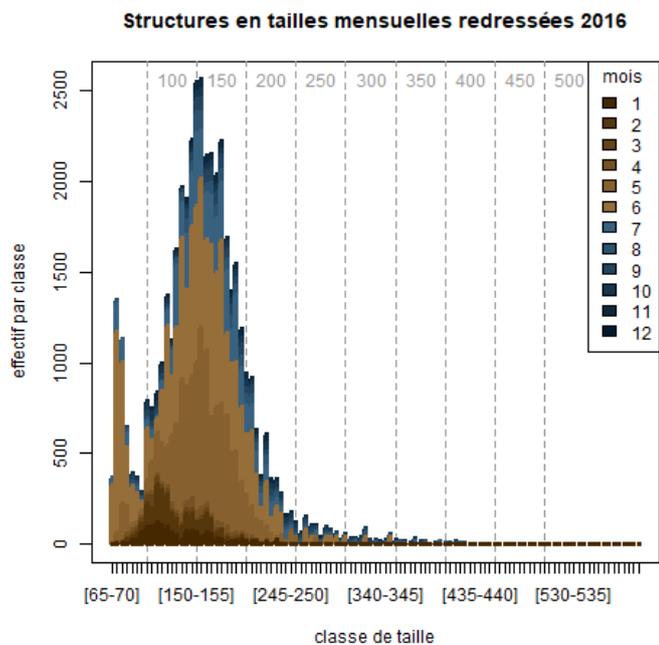


FIGURE 37: Structure en taille des anguilles jaunes en 2016 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

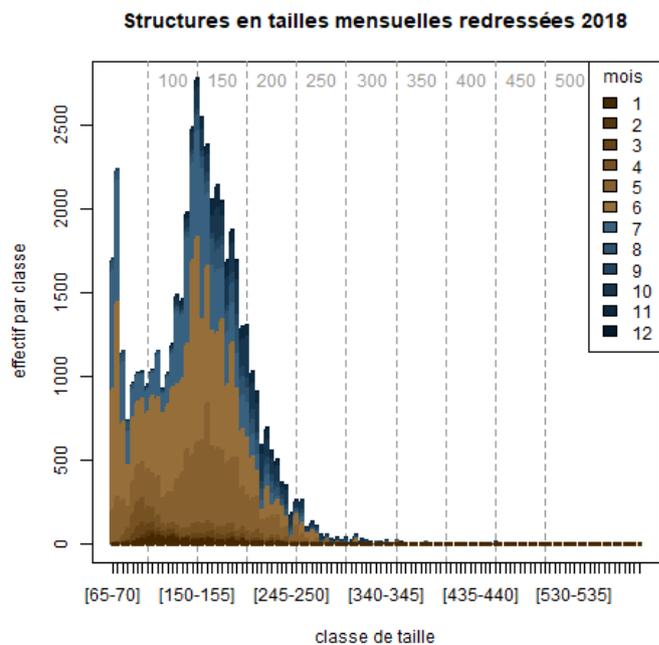


FIGURE 39: Structure en taille des anguilles jaunes en 2018 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

Versions précédentes des rapports annuels (table 13).

Tableau 13: Rapports précédents concernant le suivi de l'anguille au barrage d'Arzal.

| Année | Rapport   |
|-------|---|
| 2018  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2018 |
| 2017  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2017 |
| 2016  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2016 |
| 2015  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2015 |
| 2014  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2014 |
| 2013  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2013 |
| 2012  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2012 |
| 2011  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2011 |
| 2010  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2010 |
| 2009  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2009 |
| 2008  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2008 |
| 2007  | Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2007 |

## Références

- Beaulaton, L. et Briand, C. 2007. Effect of management measures on glass eel escapement. *ICES J. Mar. Sci.* **64**(7) : 1402–1413.
- Briand, C. Legrand M., B.T. 2017. Stacomir 0.5.1- fish migration monitoring .
- Briand, C. 2009. Dynamique de population et de migration des civelles en estuaire de vilaine. population dynamics and migration of glass eels in the vilaine estuary.
- Briand, C., Sauvaget, B., et Eriau, G. 2018. Suivi des migrations d'anguilles au barrage d'Arzal. Rapport technique, EPTB Vilaine.
- Désaunay, Y. et Guérault, D. 1997. Seasonal and long-term changes in biometrics of eel larvae : a possible relationship between recruitment variation and North Atlantic ecosystems productivity. *Journal of Fish Biology* **51** : 317–339. Passage de 75 mm à 68 mm moyenne de novembre à Mars dans les années 80 à 90.
- Wood, S.N. 2006. Low-rank scale-invariant tensor product smooths for generalized additive mixed models. *Biometrics* **62**(4) : 1025–1036. doi :10.1111/j.1541-0420.2006.00574.x.

Rapport Sweave  $\LaTeX$

---

packages R :

Stacomir (Briand, 2017)

$\LaTeX$  :Hmisc, xtable, stargazer, tables

graphiques : stacomir, ggplot2, lattice, ggthemr

traitements : stringr, lubridate, reshape2, dplyr

base : XLConnect, RPostgreSQL, sqldf

---

Dernière compilation : le 5 août 2020

R version 4.0.1 RC (2020-05-30 r78619)

plateforme x86\_64-w64-mingw32