

Suivi des migrations d'anguilles (*Anguilla anguilla*, L.) au barrage d'Arzal, rapport 2020

Cédric Briand^a, Brice Sauvaget^a, Gérard Eriau^a

^aEPTB Vilaine, boulevard de Bretagne, 56130 La Roche Bernard

Résumé

La migration sur les deux passes du barrage d'Arzal est estimée à 317 548 civelles pour un poids de 84 kg en 2020 ce qui place cette année au 12 ème rang sur 25 années de suivi. La migration sur le gabion, passe principale au centre du barrage, est estimée à 277 722 civelles soit 74 kg. Sur le mur guide eau, passe secondaire, la migration est estimée à 39 826 civelles soit 10 kg.

26 088 anguilles jaunes ont migré sur les passes, ce qui classe cette année comme la 10 ème sur 25 années de suivi.

Ce rapport détaille les conditions de recrutement, capture, migration ainsi que l'évolution des caractéristiques biologiques des civelles en 2020. Les traitements et l'écriture du rapport sont fait dynamiquement à l'aide du package stacomirR <http://stacomir.r-forge.r-project.org/>.

Abstract

The migration on the two main eel fishways of the Arzal dam is estimated at 317 548 glass eel for a weight of 84 kg in 2020 which ranks this year as the 12th on 25 years of monitoring. The migration on the "Gabion", the main fishway is estimated at 277 722 glass eel, which correspond to a weight of 74 kg. On the waterflow guide wall, (secondary trap) the migration is estimated as 39 826 glass eel or 10 kg.

26 088 yellow eel have migrated on the ladders, which classifies this year as the 10th on 25 years of monitoring. This report details the catch, migration, and evolution of biological characteristics of glass eel in 2020. Data treatment and automated report are built using the stacomirR package <http://stacomir.r-forge.r-project.org/>.

Mots clés: anguille, civelle, capture, recrutement fluvial, recrutement estuaire

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

Sommaire:

1 Matériel et méthodes	3	2.7 Structure en taille des migration d'anguilles jaunes	15
1.1 Site d'étude	3	2.8 Les migrations d'anguilles argentées	17
1.2 Captures de la pêcherie	3	2.9 Perspectives	17
1.3 Suivi des passes	3	2.10 Graphiques de bilans journaliers des migrations (Anguilles jaunes)	19
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		
2 Résultats	6	3 Annexes	23
2.1 Captures de la pêcherie	6		
2.2 Fonctionnement de la passe	7		
2.3 Conversion poids - effectif	7		
2.4 Les migrations de civelles	9		
2.5 Migration des civelles en 2020 (graphiques)	12		
2.6 Les migrations d'anguilles jaunes	15		

Introduction

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

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 pêcherie, des prélèvements biologiques réalisés auprès de la pêcherie professionnelle 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 .

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 estuaire). Les opérations de transport vers le bassin versant, le fonctionnement de la passe et les manœuvres 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 2020 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 (barages de Malon et de la Potinais à 70- 80 km en amont) a été transformé en rivière. Le plan d'eau ainsi créé a 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 surcotes 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 km² 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 pêcherie 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 pêcherie

Les captures de la pêcherie ont été collectées à partir de plusieurs sources. Historiquement les déclarations des maîtres-pêcheurs 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 pêcherie.

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 fentes 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 estuaire (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 établit, 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 $6 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. 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 ($1 \text{ à } 2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$), et par la pompe ($0.05 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$). 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).



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.

Pour tenter d'augmenter l'efficacité de la passe à anguilles,

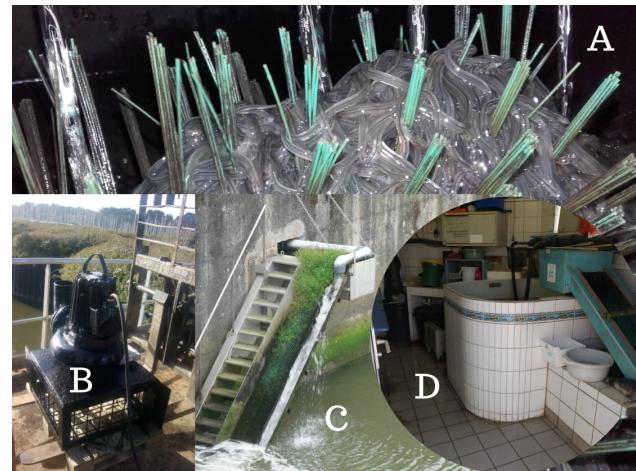


FIGURE 3 – La passe à anguilles du Gabion, passe principale 1996-2020.

une deuxième rampe a 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 $70 \text{ m}^3.h^{-1}$ 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 en général plus réduite que la passe du gabion.



FIGURE 4 – La passe à anguilles du mur Guide Eau, passe secondaire, 2008-2020.

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 égoûtage léger et le poids "humide" des civelles est évalué à partir d'échantillons de 50 civelles égouttées 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 stacomi, 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 année¹.

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"² 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.

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 égouttées que partiellement lors des pesées.

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 épuisées 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).

$$\begin{aligned} w &\sim \text{acos}(2\pi(d' - T)/365) + b \\ \text{doy} &= d_0 + d' \text{ avec } d_0 = 212 \\ \text{doy} &= \text{jours juliens} \end{aligned} \quad (1)$$

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.

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 ω 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 $w \cos(0.0172\text{doy}) + \sin(0.0172\text{doy}) + s(\text{time})$.

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 manuelle-

ment 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).

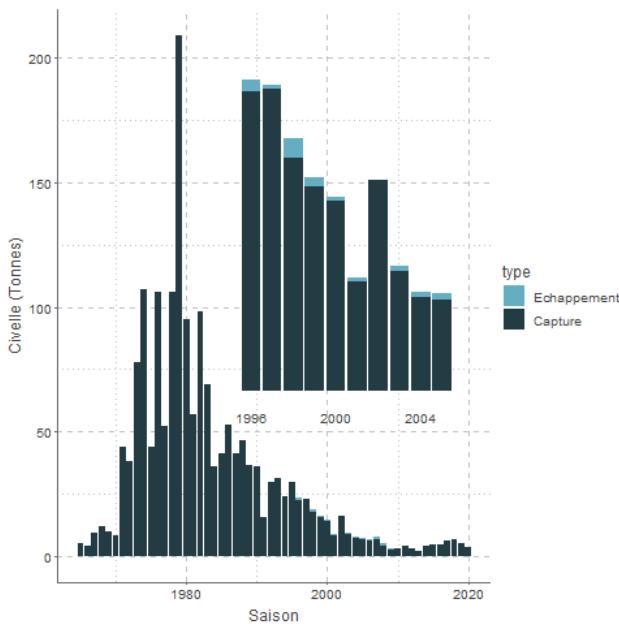


FIGURE 5 – Tendances des captures de civelles en estuaire de Vilaine 2020. Les échappements estimés à l'aide du modèle GEMAC ou d'une hypothèse d'efficacité de la passe sont comparés aux captures en estuaire (données 1996-2005 (Briand, 2009)).

Après 2005, pour estimer l'échappement à la pêche civelière, 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

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 a 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.

TABLEAU 1 – Captures de la pêcherie de civelles d'Arzal de 1995 à 2020, 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-avr
2011	3.92	3	30-avr
2012	2.99	3	30-avr
2013	2.10	4	30-avr
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
2020	3.45	4	22 mars

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 pécherie de Vilaine à la série européenne, la Vilaine est la station présentant le moins d'écart à la tendance moyenne des séries européennes (indice wgeel, Figure 6).

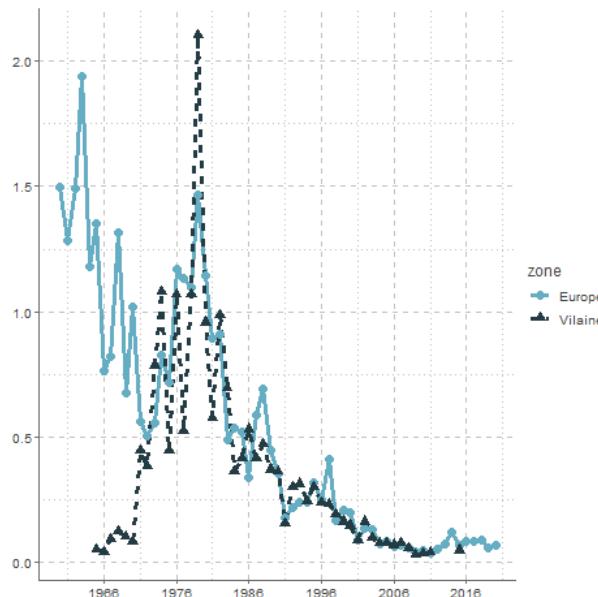


FIGURE 6 – Indice de recrutement européen du WGEEL : moyenne géométrique des préditions de recrutement (GLM) pour tous les sites en dehors de la mer du nord jusqu'à 2020. Le modèle GLM ($recruit \sim area : year + site$) est calé sur les séries de recrutement européenne comprenant soit des civelles soit 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. Fonctionnement de la passe

2.3. 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 2020³, 29 échantillons de poids moyen ont été collectés (Tableau 2).

Parmi les modèles testés, le modèle des poids moyens `model.type="seasonal2"` ajuste bien la tendance de long terme.

annee	passee	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	30	2
2020	25	4

TABLEAU 2 – Nombre d'échantillons de poids moyen de civelles depuis 1995 et jusqu'au 01 août 2020 *Données collectées en pêches expérimentales et par pêche professionnelle.

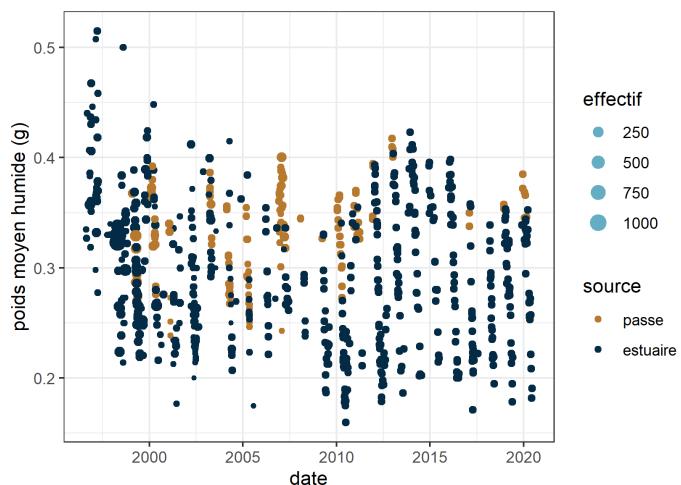


FIGURE 7 – « Poids moyens humides » collectés en estuaire de Vilaine sur des échantillons achetés aux pêcheurs de civelles (source estuaire) et sur la passe en rive gauche du barrage d'Arzal (source passe). Les effectifs des échantillons sont indiqués par la taille du point.

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 si-

3. jusqu'au 01/08/2020)

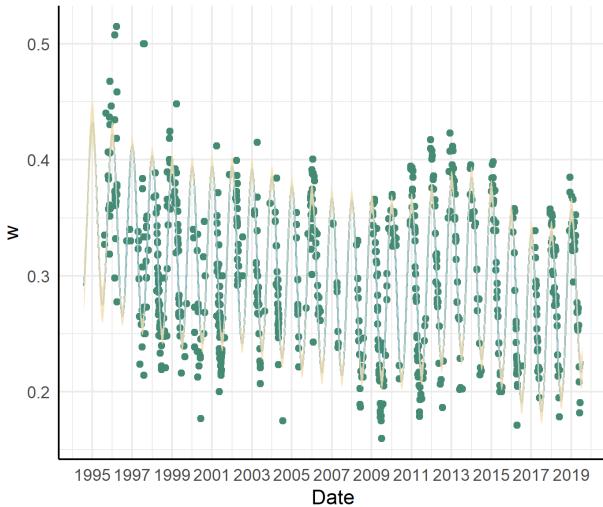


FIGURE 8 – Tendance saisonnière des poids moyens de 1996 à 2020, calée avec une tendance de long terme et une tendance saisonnière sinusoïde (model.type="seasonal2" dans stacomiR). L'ajustement de long terme est correct mais les valeurs extrêmes sont mal ajustées.

nusoides, 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 sinusoïde ajuste bien les tendances saisonnières de chaque 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.

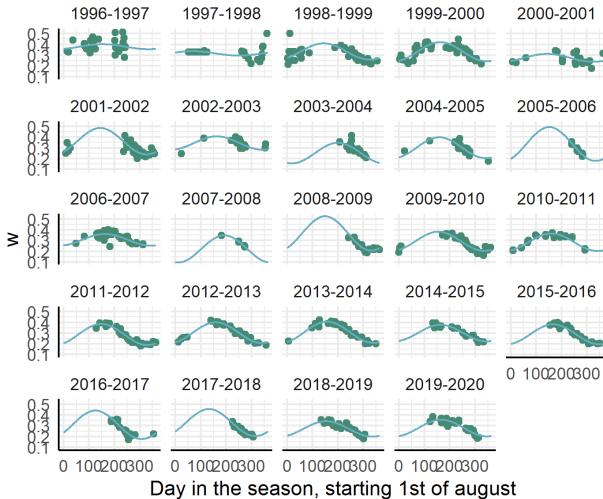


FIGURE 9 – Tendance saisonnière des poids moyens de 2006 à 2020. Ajustement par le modèle de [Désaunay et Guérault \(1997\)](#). Les années avec des données manquantes sont moins bien ajustées.

Au final, le script utilise la sortie "manual" de stacomi pour

caler un modèle *ad hoc* (Formule 2).

$$\begin{aligned} w \sim & s(yday, bs = cc, k = 12) + s(time, bs = cr, k = 20) \\ & + ti(yday, time, k = c(12, 20), bs = c(cc, cr)) \end{aligned} \quad (2)$$

L'objectif est également de fournir dans le script de ce rapport, un exemple d'ajustement manuel tel que prévu 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	223.60 0.0000e+00

TABLEAU 3 – Intercept pour le modèle GAM de poids moyen.

	edf	Ref.df	F	p-value
s(yday)	8.45	10	129.03	0.000e+00
s(time)	17.72	18	12.13	0.000e+00
ti(yday,time)	69.99	224	1.51	0.000e+00

TABLEAU 4 – Termes de lissage pour le modèle gam, edf = degrés de liberté estimés.

t2(yday,time)

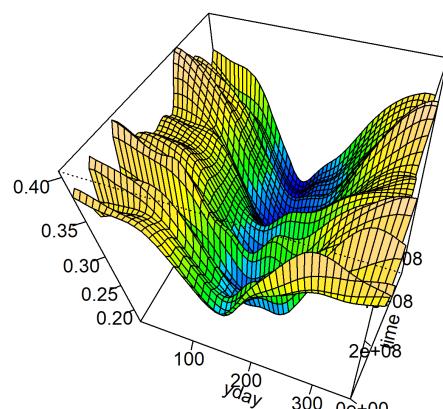


FIGURE 10 – Réponses du modèle ajusté manuellement pour les années 2008 à 2020, réponse croisée suivant la durée (time) et le jour. La méthode utilise les produits tensoriels alternatifs (t2) du package mgcv. En résumé, la "vallée" représente l'évolution au cours du temps de la forme de la sinusoïde des poids moyens.

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 (égouttage 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.

2.4. Les migrations de civelles

La migration des civelles pour 2020 s'établit à 317 548 individus pour un poids de 84 kg ce qui place cette année au 12 ème rang sur 25 années de suivi (Figure 12, tableau 5).

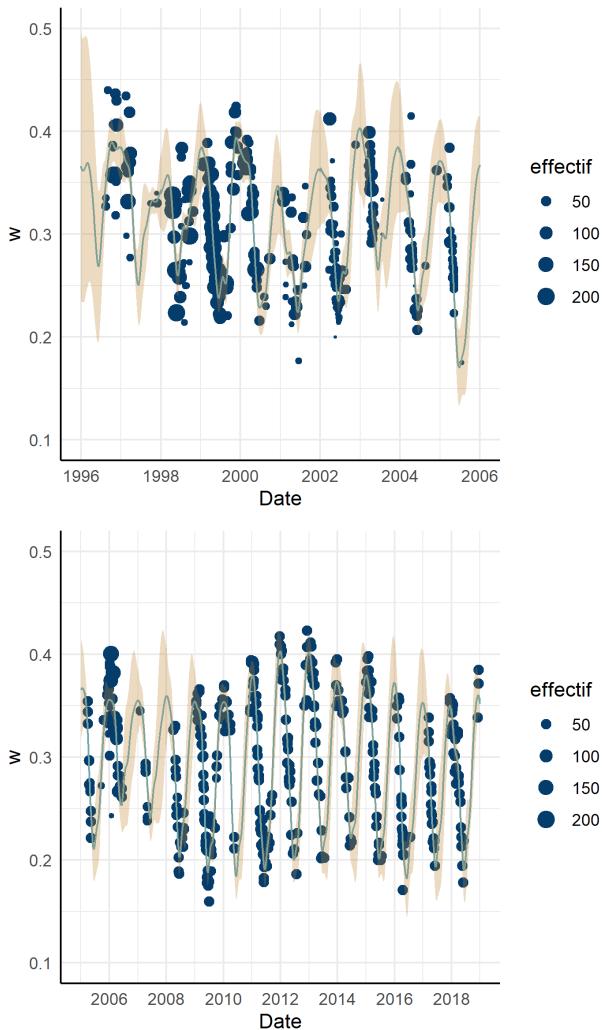


FIGURE 11 – Prédiction du modèle ajusté manuellement pour les années 2008 à 2020, les points représentent les poids moyens mesurés (en fonction des effectifs), et les courbes les prédictions du modèle avec les intervalles de confiance à 95%.

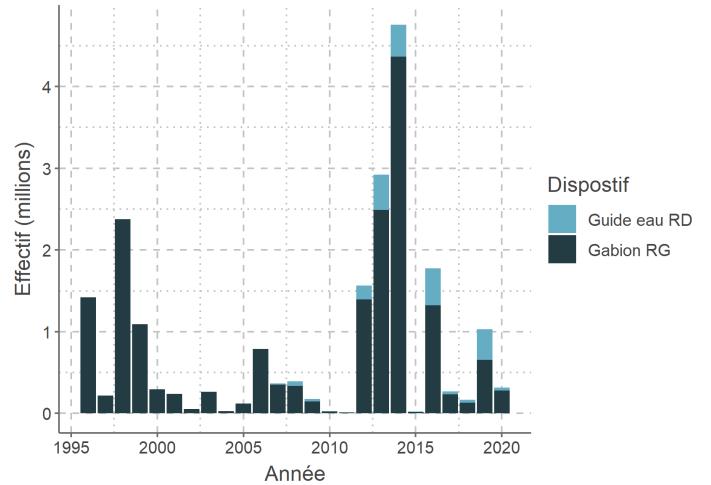


FIGURE 12 – Effectif de civelles estimés sur les deux passes du barrage d'Arzal entre 1996 et 2020.

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).

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

Année	N	P
1996	1 420 644	443,20
1997	219 825	70,00
1998	2 378 408	702,40
1999	1 089 676	301,00
2000	295 844	82,70
2001	240 654	61,00
2002	53 166	17,10
2003	263 084	83,40
2004	28 114	7,30
2005	120 647	29,40
2006	786 484	217,60
2007	364 840	101,70
2008	393 913	112,70
2009	178 824	43,40
2010	26 307	5,90
2011	11 224	2,60
2012	1 562 390	434,00
2013	2 920 832	877,40
2014	4 757 502	1 607,30
2015	21 916	6,50
2016	1 777 658	629,40
2017	271 177	74,80
2018	169 151	41,50
2019	1 032 457	288,50
2020	317 548	84,00

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

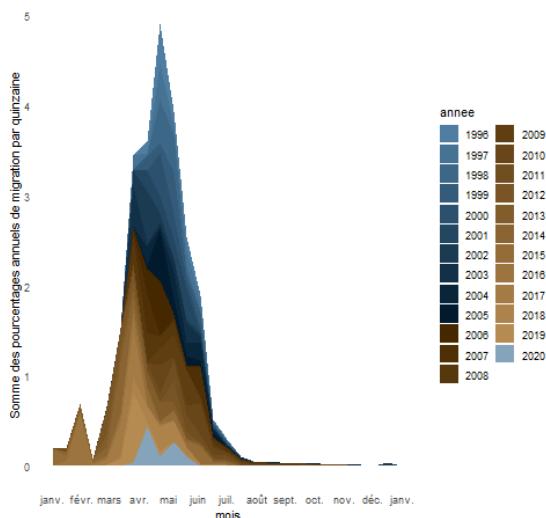


FIGURE 13 – Saisonnalité des migrations de civelles, données combinées sur les deux dispositifs de franchissement du barrage.

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).

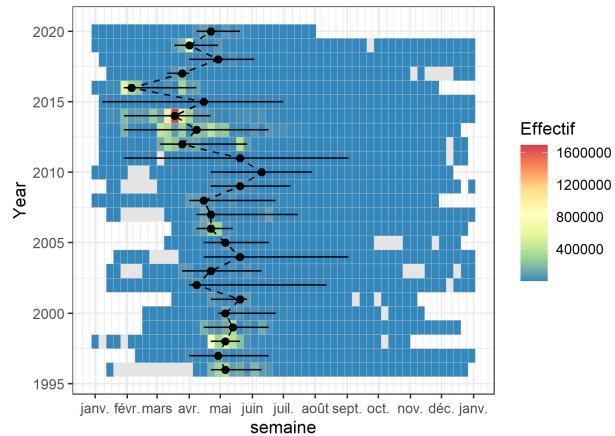


FIGURE 14 – Migrations de civelles sur les deux dispositifs du barrage d'Arzal, chaque cluster indique l'effectif ayant migré cette semaine, la barre horizontale indique les quantiles 5% et 95% de la migration. En couleurs période entre la première arrivée de civelles et la dernière, avec une couleur 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 ont été 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.

En 2020, la saison de pêche s'arrête le 22 mars. On observe quelques montées sur la passe en février et début en mars avant l'arrêt de la pêcherie. Mais les montées ne débutent en grande quantité que à partir du 10 avril. Les montées de civelles restent bien en deça des années précédentes (Figure 15). Les pics de migrations sont relativement synchrones sur les deux passes à anguilles (Figures 16 et 17).

Les résultats pour les trois dernières années sont surprenants, car les arrêts de la pêcherie sont intervenus bien plus précocément que les autres années 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 du gabion (en rive gauche) montre une diminution de la proportion de captures sur le gabion (la passe principale). Une des causes possibles pourrait être une mauvaise répartition des débits entre la rampe amont et la rampe aval de la passe du gabion⁴. 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.

Enfin, on compare les arrivées sur une chronique historique, or le recrutement en civelles est de l'ordre de quatre à six fois moins important qu'en début de période. Même si en comparaison aux premières années, la pression de

pêche a beaucoup diminué, les montées se font sur la base d'effectif estuariens très limités.

Le détail mensuel de la migration de 2020 (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.

2.5. Migration des civelles en 2020 (graphiques)

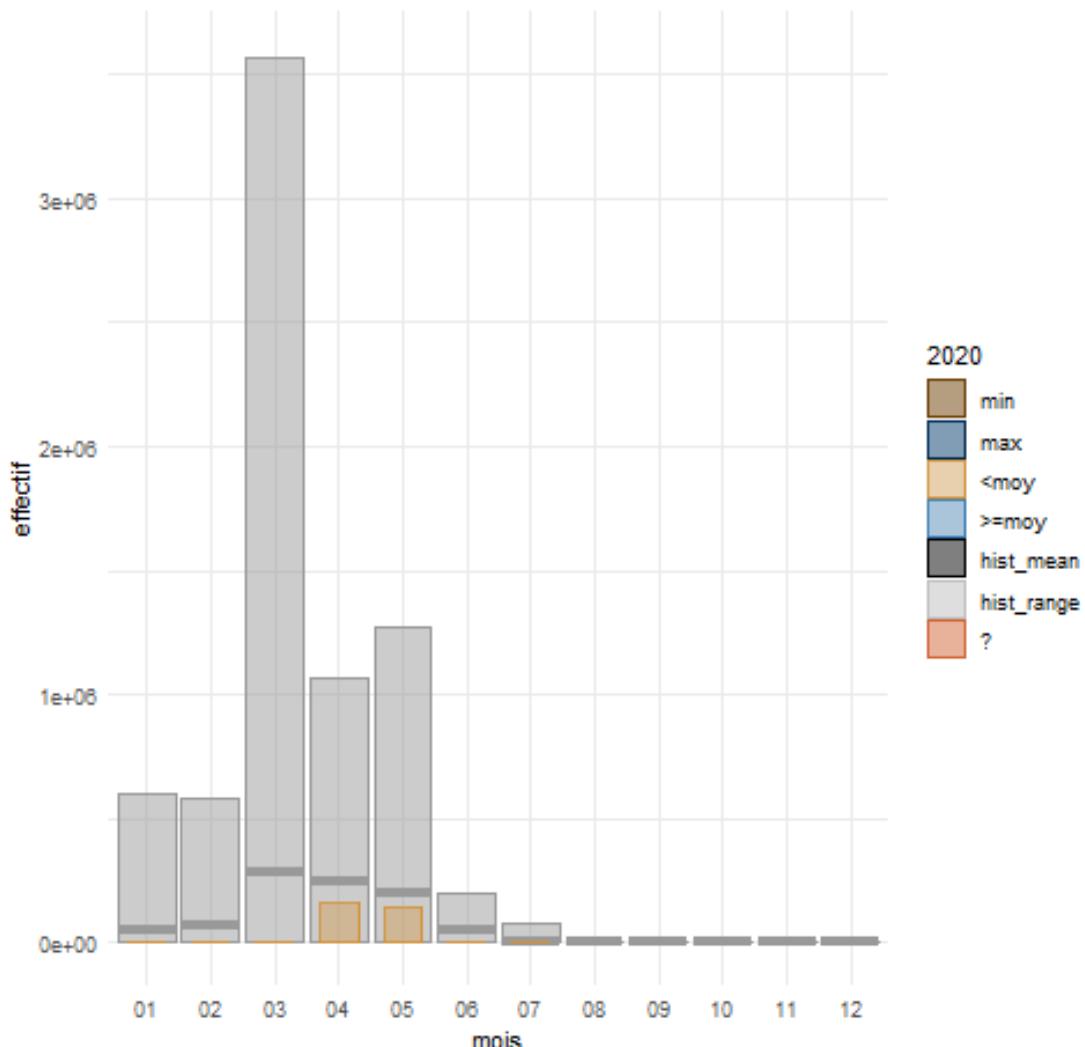


FIGURE 15 – Comparaison des migrations de civelles de l'année 2020 à la tendance historique (en gris, valeurs min et max et moyenne (hist_mean), en bleu valeurs maximales, en bleu clair valeurs supérieures à la moyenne, en marron valeurs inférieures à la moyenne).

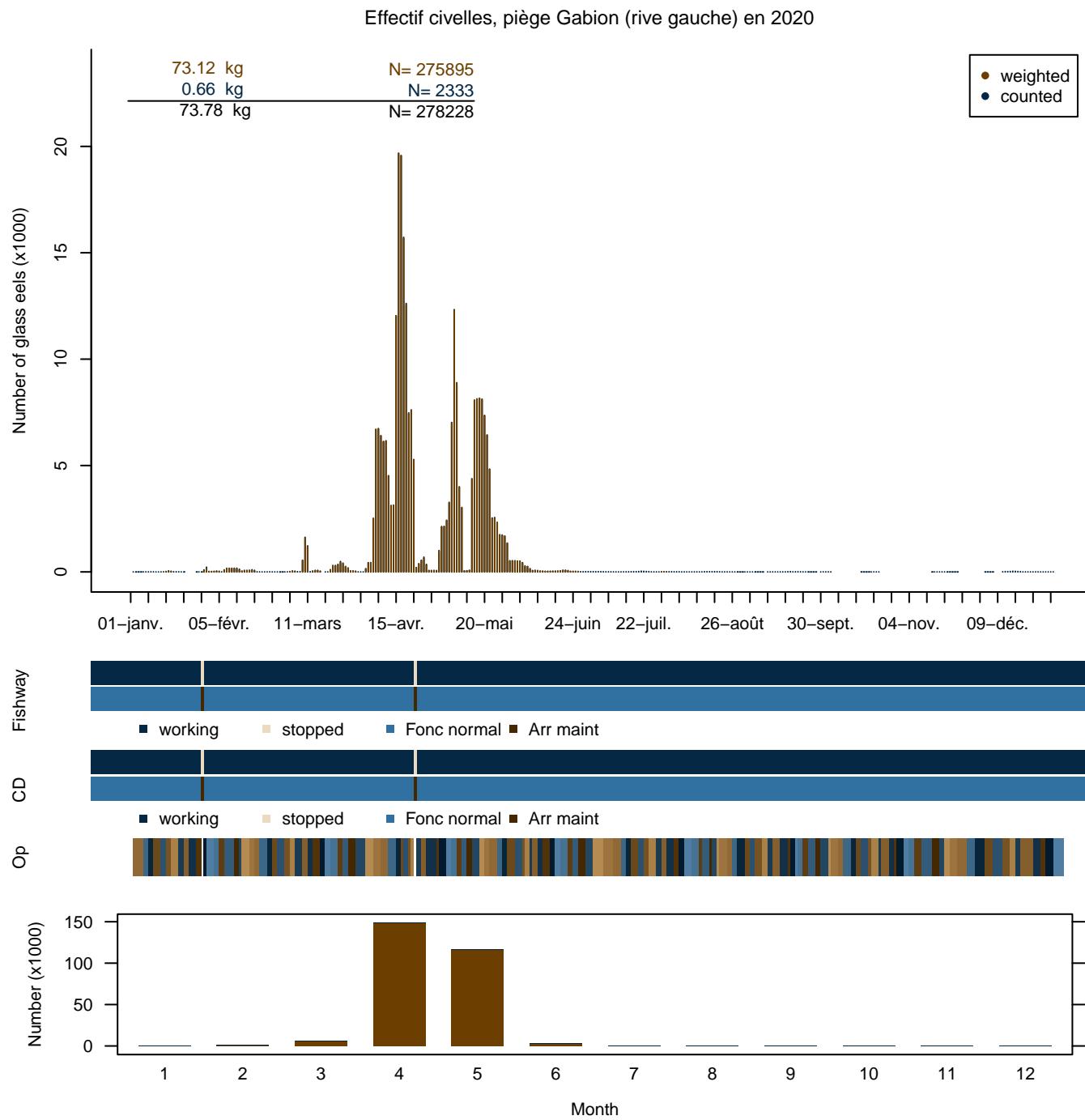


FIGURE 16 – Bilan migration du piège principal en rive gauche, le bilan montre aussi la conversion entre les poids et les effectifs, les fonctionnements du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

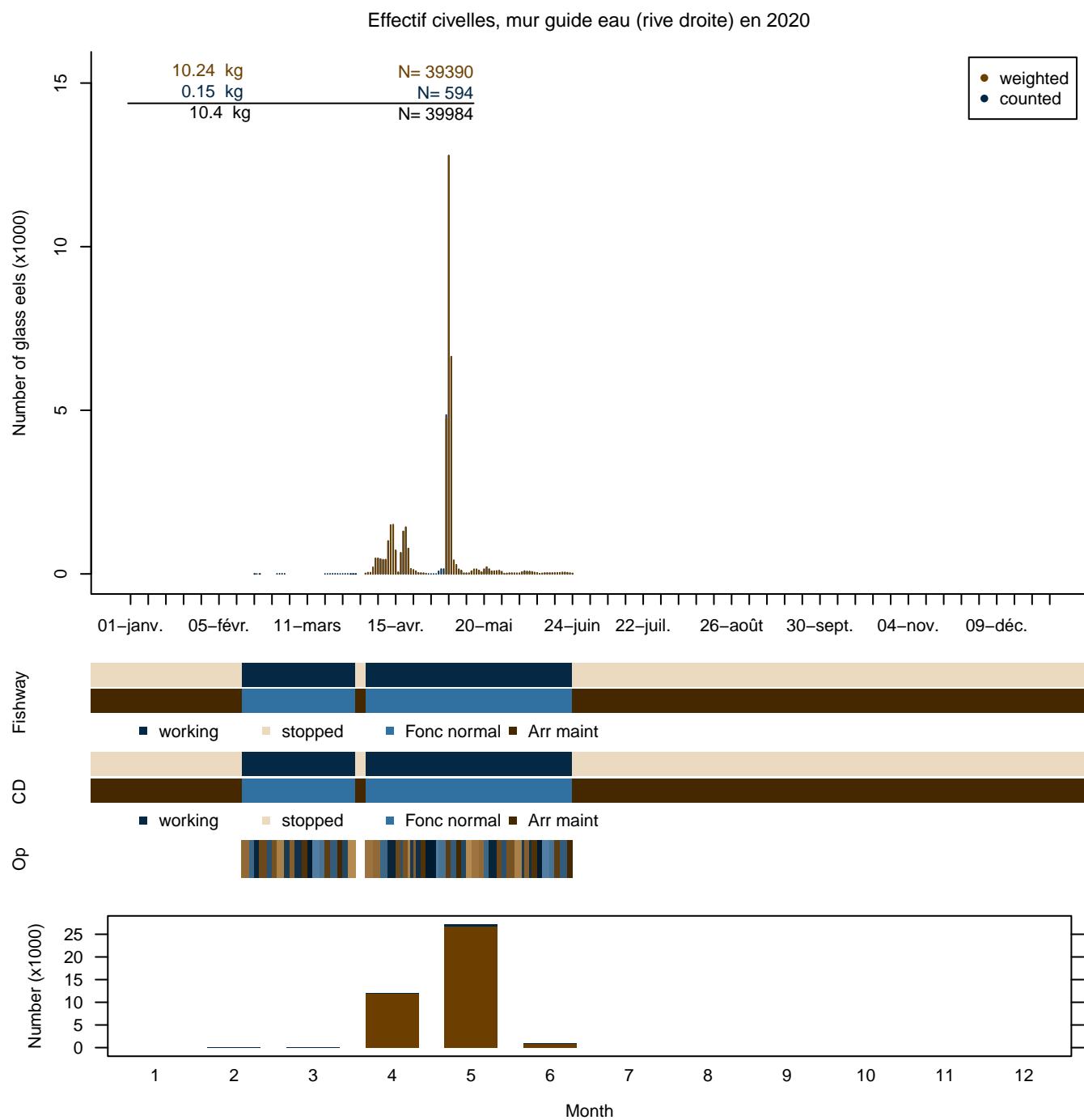


FIGURE 17 – Bilan migration du piège secondaire, en rive droite, le bilan montre aussi la conversion entre les poids et les effectifs, les fonctionnement du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

2.6. Les migrations d'anguilles jaunes

26 088 anguilles jaunes ont migré sur la passe, ce qui classe cette année comme la 10 ème 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

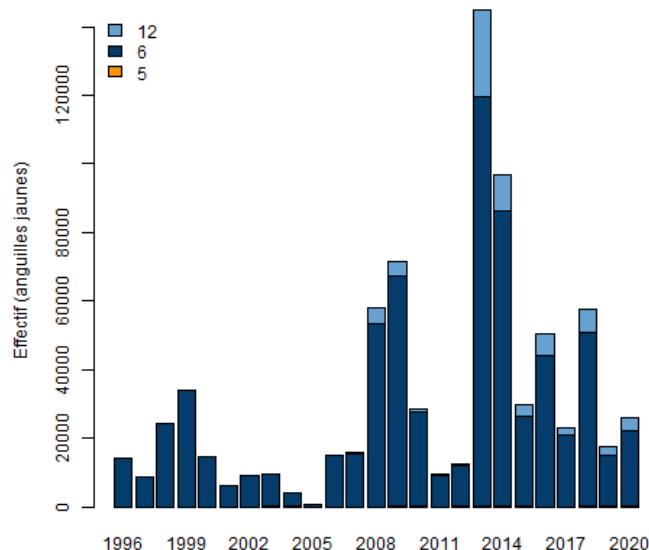


FIGURE 18 – Tendance de migration des anguilles jaunes sur les trois dispositifs du barrage, les anguilles migrant par la passe à bassins, sont très peu nombreuses et n'apparaissent pas pour cette raison. 12 mur guide-eau, 5 passe à bassins, 6 Gabion.

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 prédicteurs 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 2020 supérieure à la moyenne interannuelle de janvier à avril et également en septembre. Les effectifs des mois de juin à août sont inférieurs à la moyenne historique.

	P. bassins	Piège RG	Piège RD
	Anguille	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	414 15 669
2008	37	53 508	4 386 57 931
2009	60	67 109	4 486 71 656
2010	105	27 430	923 28 457
2011	31	9 127	188 9 346
2012	191	11 959	495 12 645
2013	111	119 391	25 601 145 103
2014	62	86 203	10 480 96 745
2015	129	26 454	3 053 29 636
2016	-20	44 011	6 321 50 312
2017	-118	21 181	1 901 22 964
2018	182	50 789	6 816 57 787
2019	171	14 811	2 686 17 668
2020	298	21 715	4 075 26 088

TABLEAU 6 – Migration des stades anguilles jaunes, dans les trois passes du barrage d'Arzal (P. bassin = passe à fentes verticales *, 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. * Les anguilles jaunes migrent principalement dans les rampes à anguilles, mais peuvent emprunter la passe à bassins. Elles sont comptées lorsqu'elles sont observées devant la vitre de comptage mais elles peuvent passer au travers des grilles qui orientent les poissons vers les vitres, elles sont difficilement détectables par la caméra surtout quand elles passent au fond. Les effectifs d'anguilles fréquentant la passe à bassins sont juste présentés pour information.

2.7. Structure en taille des migration d'anguilles jaunes

La taille de 7 818 anguilles jaunes a été mesurée en 2020 (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 l'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

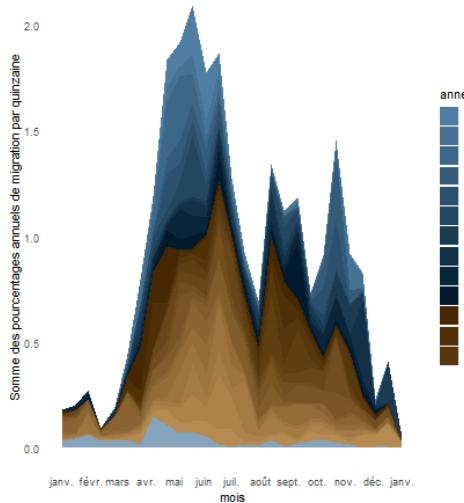


FIGURE 19 – Saisonnalité des migrations d'anguilles jaunes, données combinées sur les deux dispositifs de franchissement du barrage d'Arzal.

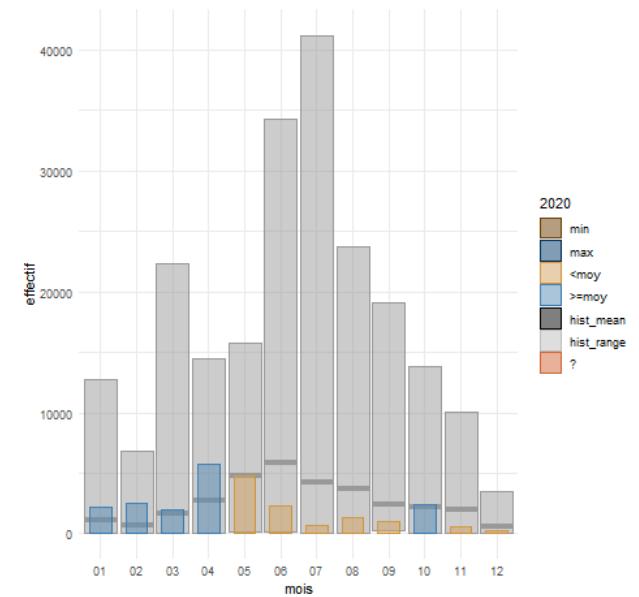


FIGURE 21 – Comparaison des migrations d'anguilles jaunes de l'année 2020 à la tendance historique (en gris, valeurs min et max et moyenne (hist_mean), en bleu valeurs maximales, en bleu clair valeurs supérieures à la moyenne, en marron valeurs inférieures à la moyenne).

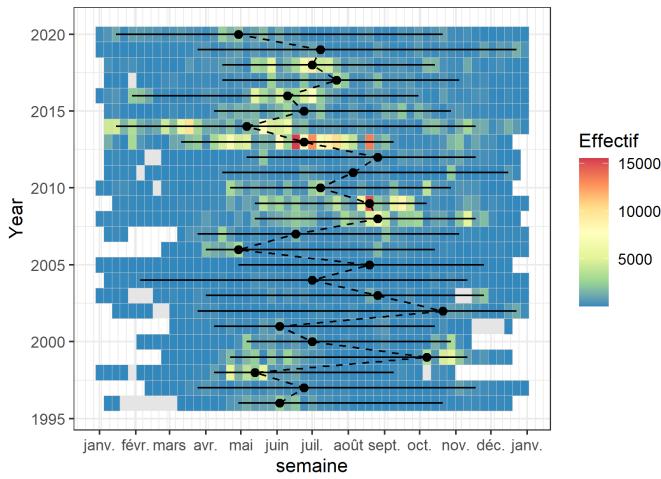


FIGURE 20 – Migrations d'anguilles jaunes sur les deux dispositifs du barrage d'Arzal, chaque cluster indique l'effectif ayant migré cette semaine, la barre horizontale indique les quantiles 5% et 95% de la migration. En couleur période entre la première arrivée d'anguilles jaunes et la dernière, avec une couleur relative à l'importance des effectifs en migration. En gris, période inclue 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.

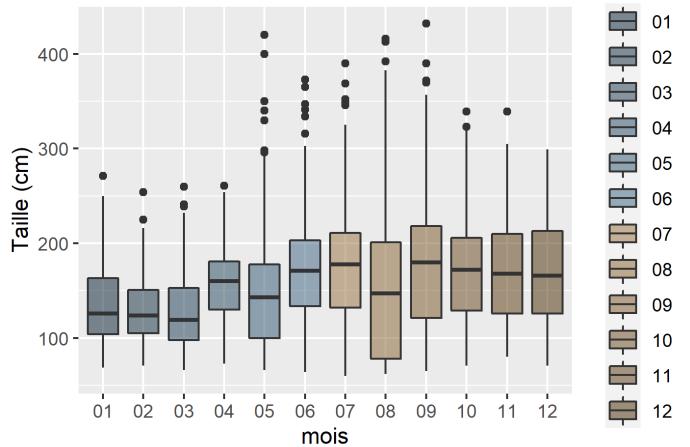


FIGURE 22 – Box plot des tailles d'anguilles jaunes (en mm) en 2020 mesurées par mois sur la passe principale du barrage d'Arzal.

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 2020 aux structures en taille des années précédentes (Figures 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 et 40) on observe clairement la prédominance des anguilles de l'année en 2013 et 2014, et des 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 au-

Mois	n	moy	sd
01	745	134	37
02	585	131	33
03	518	128	36
04	689	156	37
05	896	144	50
06	563	169	57
07	555	171	61
08	1049	147	72
09	580	176	65
10	969	170	49
11	441	170	53
12	228	168	50
Tous	7818	154	55

TABLEAU 7 – Moyenne et écart types des tailles d'anguilles *au* par mois, et nombre d'échantillons collectés en CY.

rait libéré de la place en estuaire. En 2020 on trouve un mode correspondant aux civelles arrivées dans l'année (en marron migrations de janvier à juin) et celles arrivées l'année précédente (en bleu migrations de juillet à décembre) centré autour de 90 mm.

Structures en tailles mensuelles redressées 2020

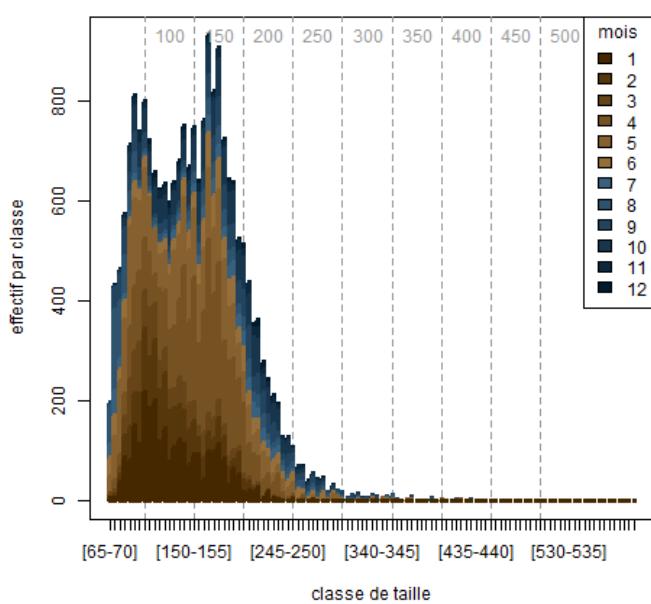


FIGURE 23 – Structure en taille des anguilles jaunes en 2020 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

La structure en taille de chaque mois est multipliée par une clé taille âge basée sur les mesures 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 à la question suivante : pour une cohorte, est-il possible de

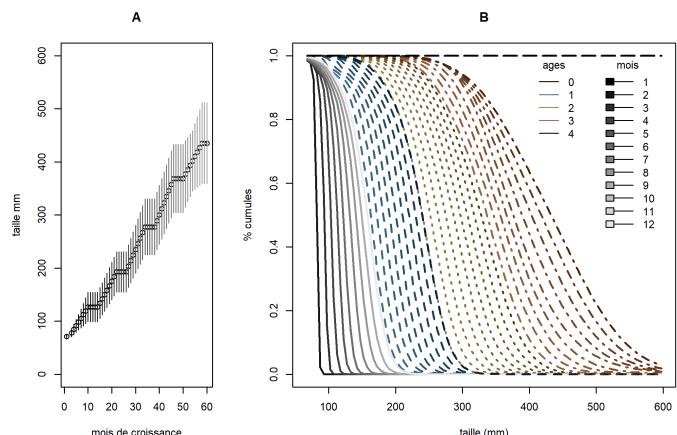


FIGURE 24 – A) Modélisation de la croissance des anguilles en milieu estuaire, taille des anguilles en fonction du nombre de mois de croissance. B) Clés taille/âge utilisées pour l'analyse, pourcentage cumulé de chacune des classes d'âge pour les différents mois de l'année, par exemple pour 400mm au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

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).

2.8. 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 être considérée comme des argentées (Figure 30). Il est impossible avec notre système de suivi vidéo de différencier de manière certaine les stades jaune et argenté, d'où un classement des individus dévalant s'appuyant sur l'expérience de l'opérateur. En 2020, 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).

2.9. Perspectives

Le package stacomiR fait l'objet d'une maintenance applicative : <https://forgemia.inra.fr/stacomi>. Il a été récemment mis à jour à la version 0.6.0.0 et une interface web shiny est en cours de développement.

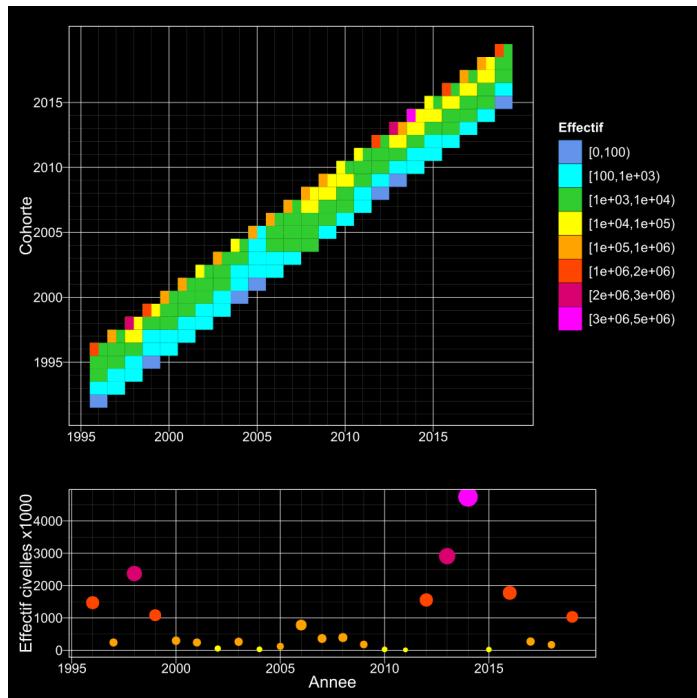


FIGURE 25 – Migration des anguilles jaunes et des civelles sur les passes du barrage d’Arzal entre 1996 et 2020. En haut, chaque tuile représente une année et une cohorte à l’exception de la cohorte d’âge zéro (en haut) qui est séparée en une tuile correspondant aux civelles (à gauche) et une tuile correspondant 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.

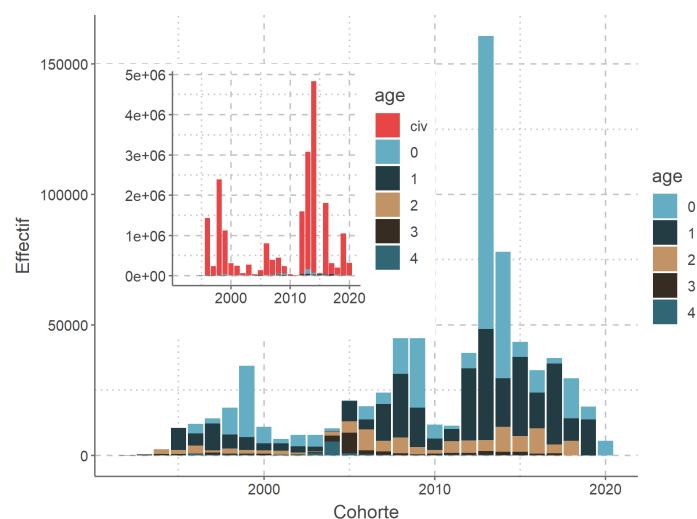


FIGURE 26 – Migration d’anguille par cohorte. Chaque année sur l’axe des x représente une cohorte. Les âges 0 et les civelles migrent dans l’année. Les âges 1 migrent après une année (un hiver de plus) en estuaire... En onglet, les civelles, en nombre sont portées sur le même graphique que le précédent.

	Passe 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
2010		6	6
2011		1	1
2012		2	2
2013		11	1
2015		3	3
2016		5	5
2017		4	4
2018		6	1
2019	-17	3	-14
2020	-6	11	5

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).

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

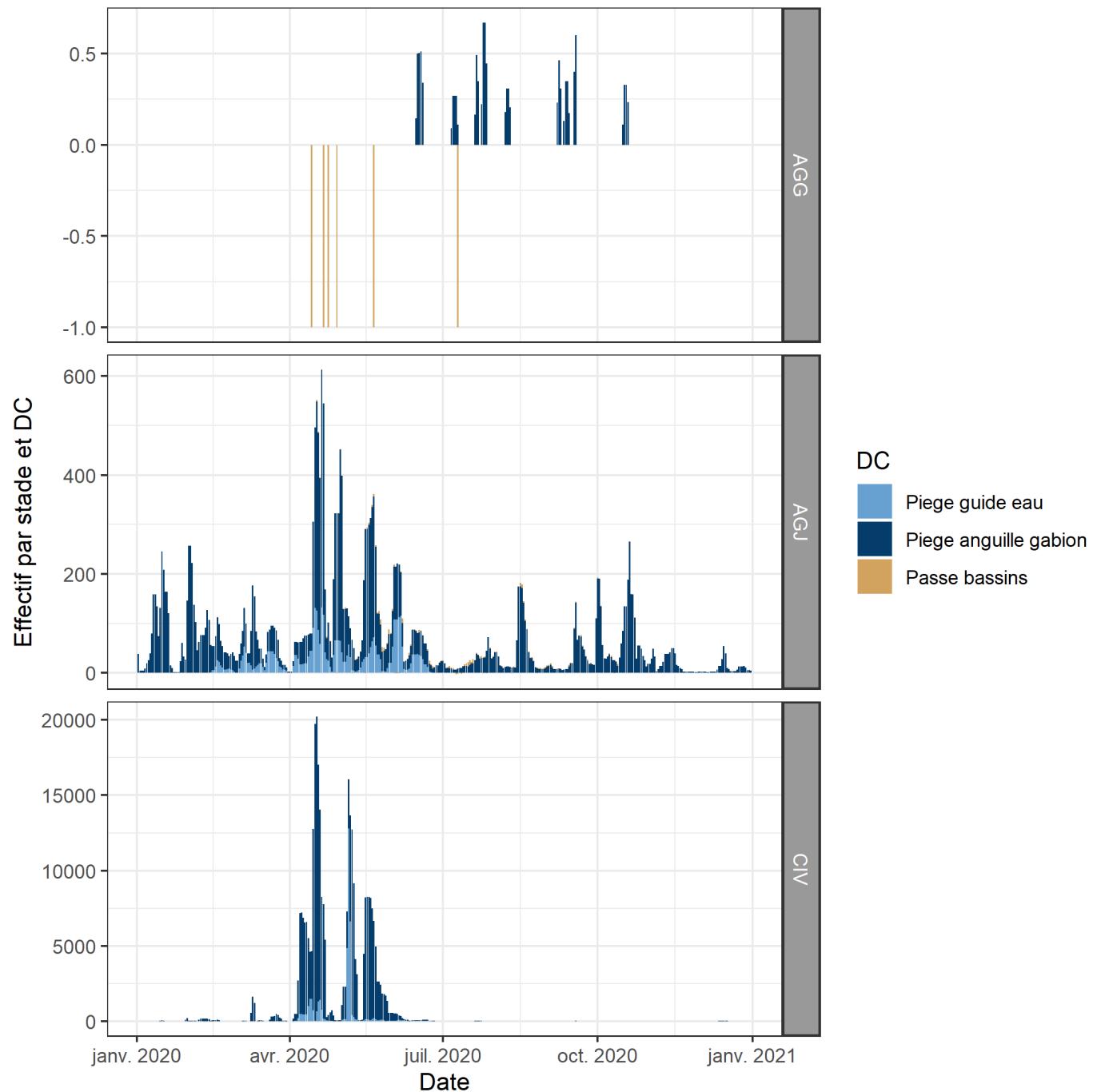


FIGURE 27 – Bilan migration multiple, combinant trois stades de développement et les trois dispositifs de comptage d’Arzal. Le Bilan montre qu’en effectif la migration est dominée par les civelles, et que cette année comme les autres années, la passe du gabion en rive gauche du barrage concentre la majeure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

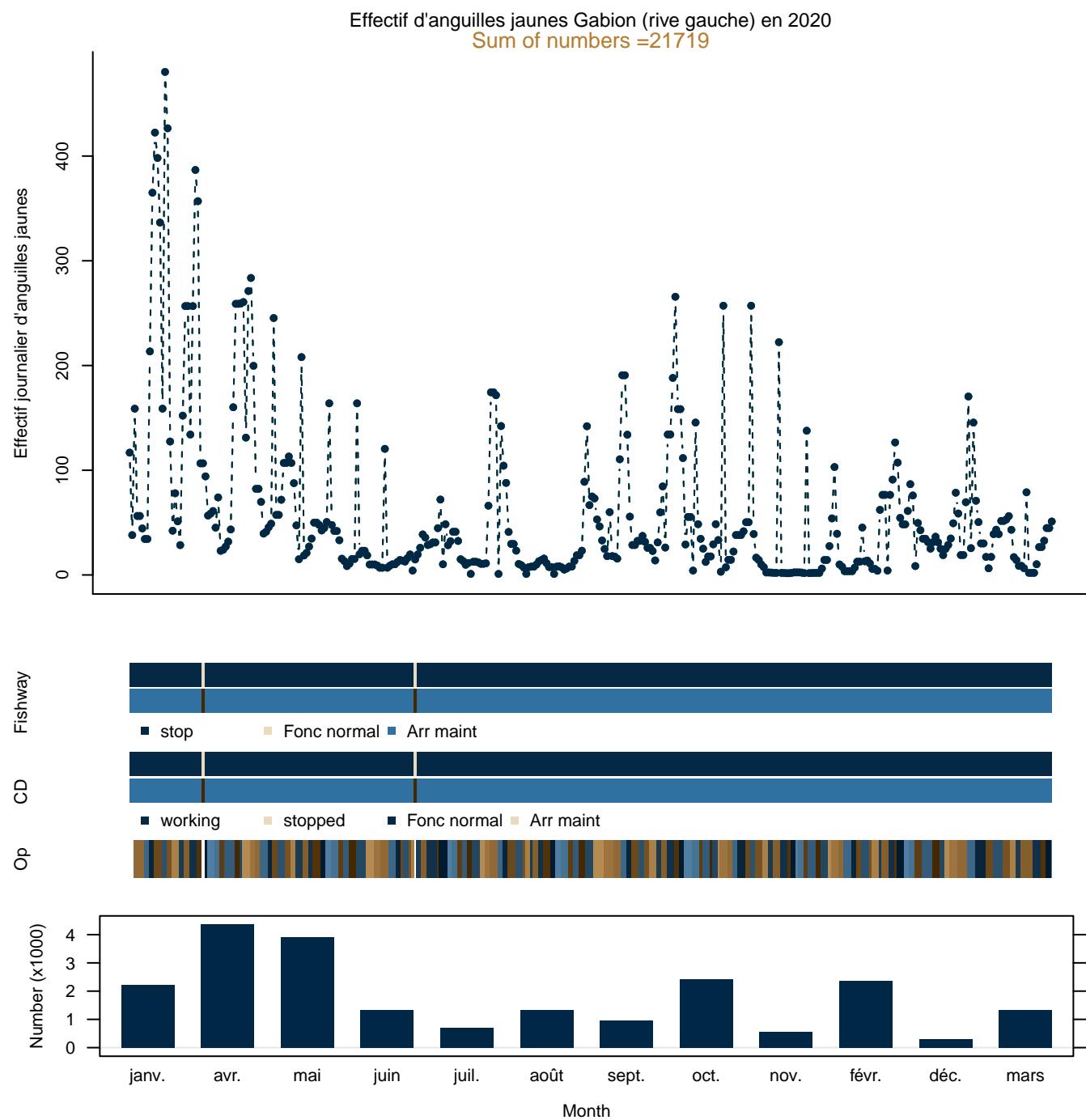


FIGURE 28 – Bilan migration pour les anguilles jaunes sur le piège principal en rive gauche, le bilan résume les fonctionnements du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

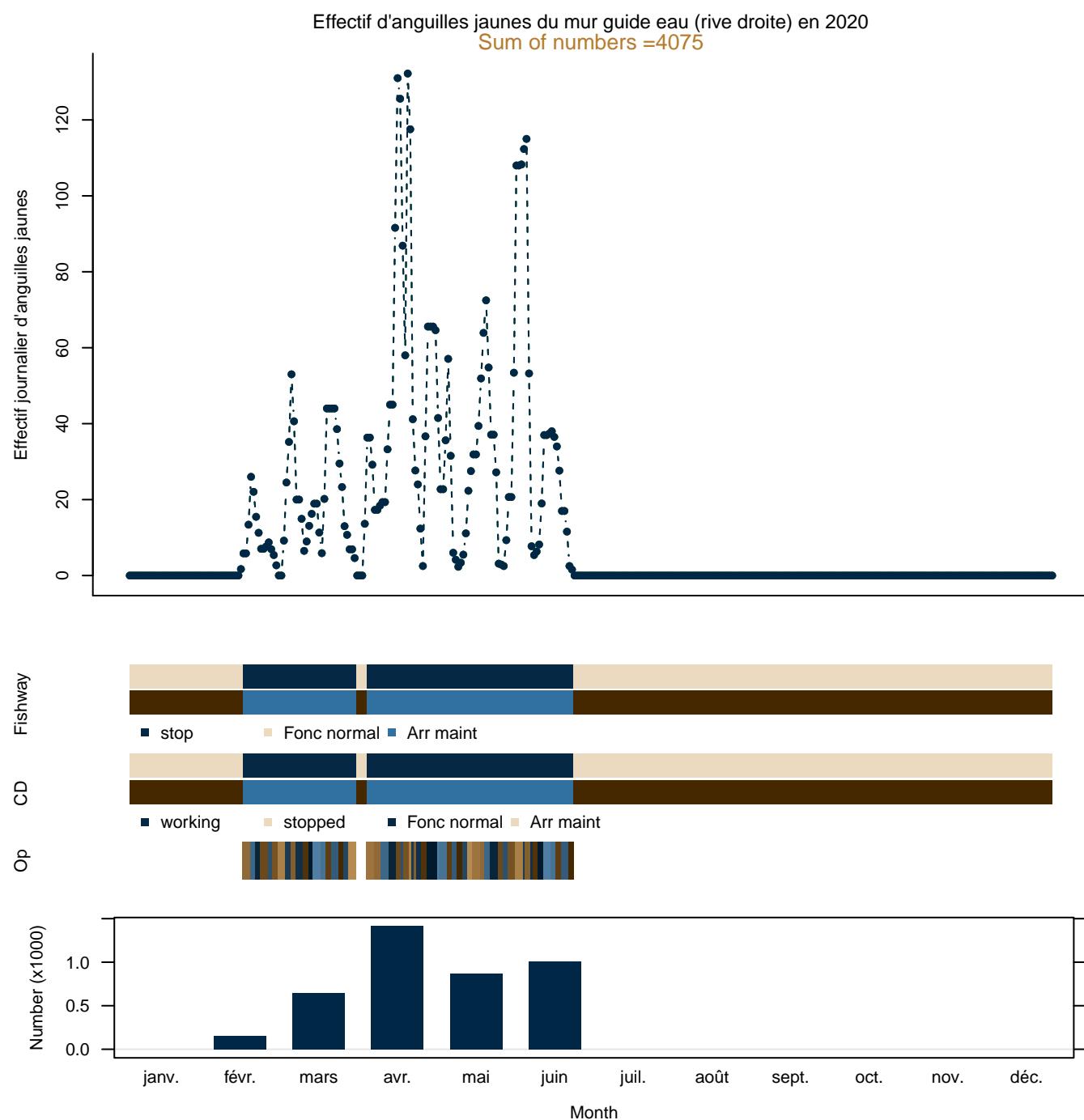


FIGURE 29 – Bilan migration des anguilles jaunes sur le piège en rive droite sur le mur guide eau, le bilan résume les fonctionnements du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

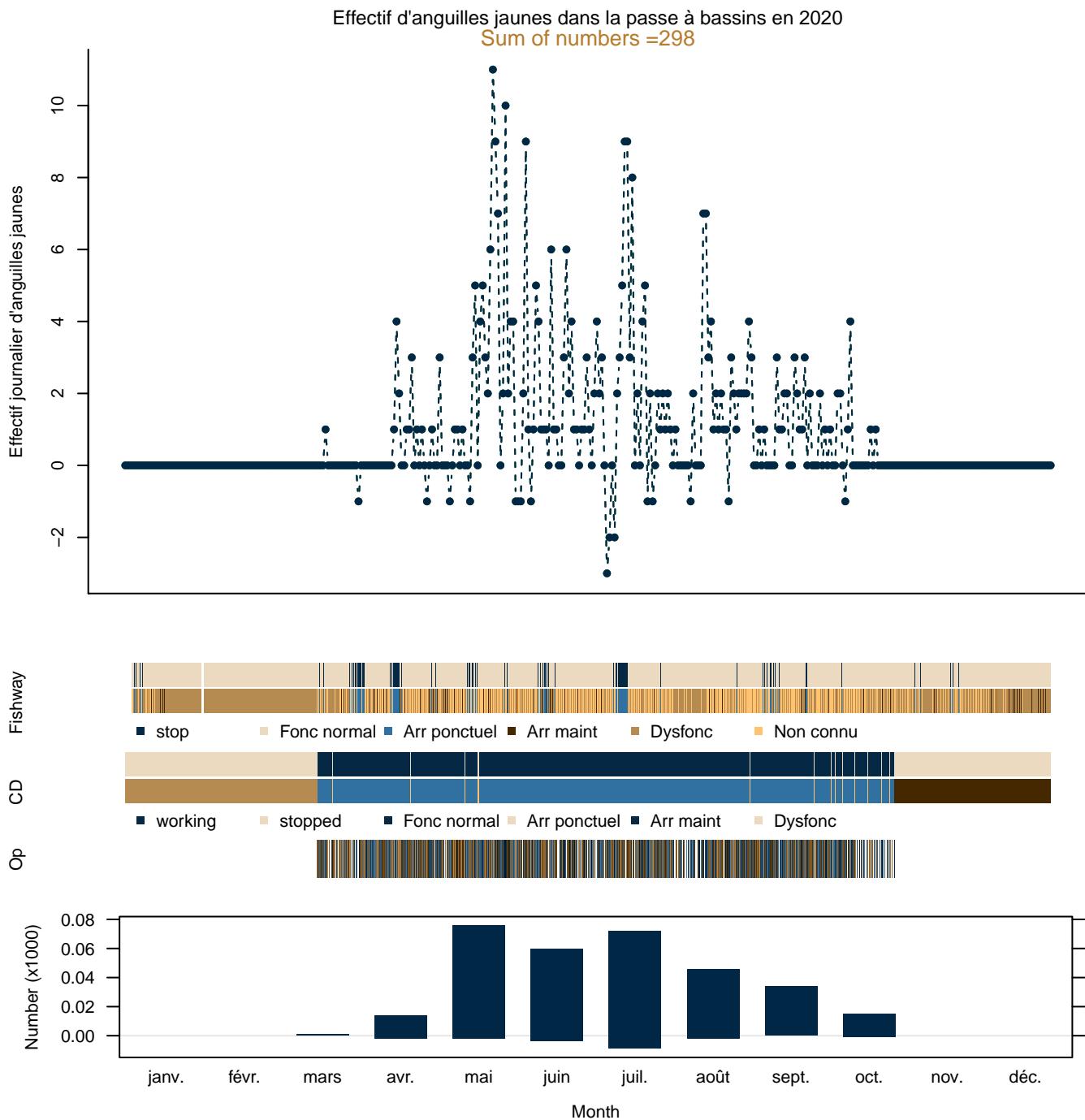


FIGURE 30 – Bilan migration des anguilles dans la passe à bassins du barrage d'Arzal. Les migrations vont dans les deux sens, avec des bilans journaliers négatifs ou positifs. Le fonctionnement du DF est difficile à rendre sur une échelle annuelle puisque la passe peut se fermer ou rentrer en dysfonctionnement 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 (2016)
janv.	0,00	34,95	347,27	0,47
févr.	0,00	52,41	435,50	1,65
mars	0,01	241,79	3 239,49	6,17
avr.	1,47	215,74	1 065,97	147,79
mai	0,69	183,63	1 274,01	117,86
juin	1,28	39,95	194,75	3,48
juil.	0,17	5,80	65,91	0,28

TABLEAU 9 – Montées de civelles (en milliers) dans la passe principale du barrage d'Arzal (Gabion en rive gauche), données par mois, N (2020) effectifs par mois pour 2020 , les trois statistiques * correspondent à la période 1996-2020. min* minimum mensuel, max* maximum mensuel, moyenne* moyenne des effectifs mensuels.

Mois	Min*	Moyenne*	Max*	N (2016)
févr.	0,00	28,21	145,59	0,02
mars	0,00	71,68	332,91	0,04
avr.	0,32	42,19	198,72	11,75
mai	0,00	14,62	76,66	27,18
juin	0,02	5,82	30,97	0,84

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 2008-2020. N (2020) effectif par mois pour 2020min* minimum mensuel, max* maximum mensuel, moyenne* moyenne des effectifs mensuels.

Année	N	P
1996	1 420 644	443,20
1997	219 825	70,00
1998	2 378 408	702,40
1999	1 089 676	301,00
2000	295 844	82,70
2001	240 654	61,00
2002	53 166	17,10
2003	263 084	83,40
2004	28 114	7,30
2005	120 647	29,40
2006	786 484	217,60
2007	349 786	97,80
2008	338 460	96,60
2009	147 178	35,90
2010	24 378	5,40
2011	10 403	2,40
2012	1 395 799	391,20
2013	2 491 588	749,60
2014	4 366 346	1 478,40
2015	17 632	5,30
2016	1 322 784	462,30
2017	233 621	64,80
2018	128 241	31,10
2019	653 803	181,80
2020	277 722	73,60

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

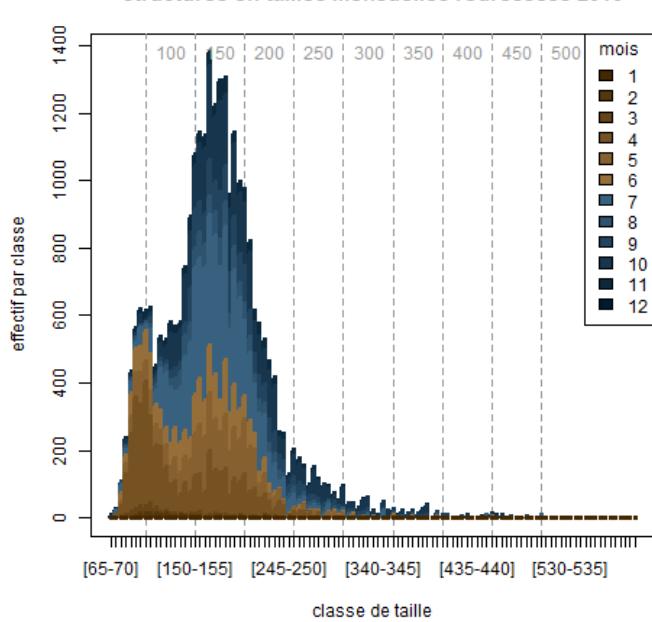


FIGURE 31 – Structure en taille des anguilles jaunes en 2010 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

Versions précédentes des rapports annuels (table 13).

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
2020	39 826	10,40

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).

TABLEAU 13 – Rapports précédents concernant le suivi de l'anguille au barrage d'Arzal.

Année	Rapport
2019	Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la Vilaine, 2019
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

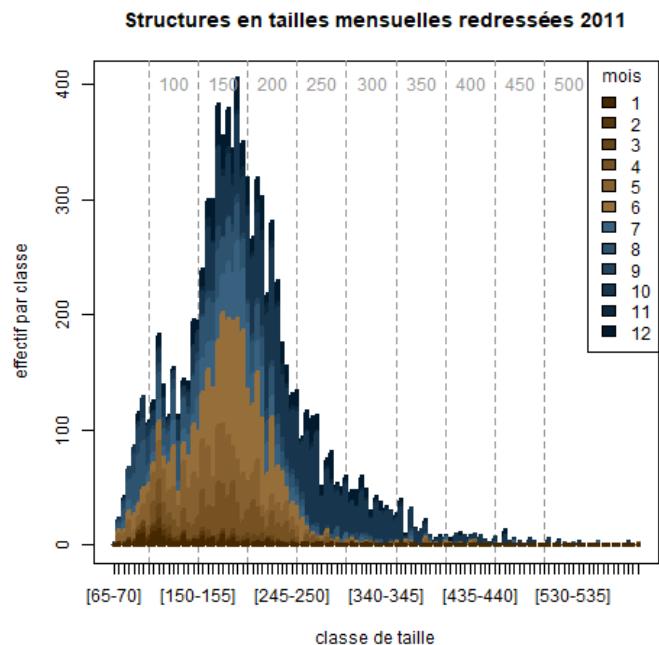


FIGURE 32 – Structure en taille des anguilles jaunes en 2011 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

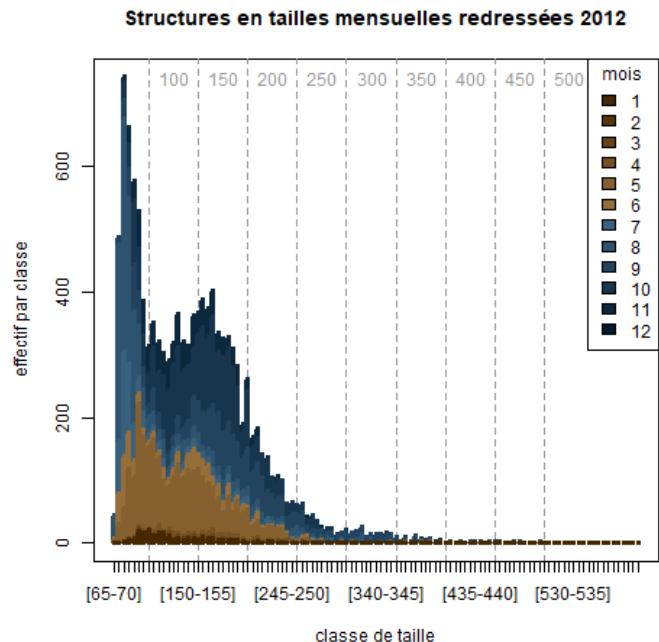


FIGURE 33 – Structure en taille des anguilles jaunes en 2012 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

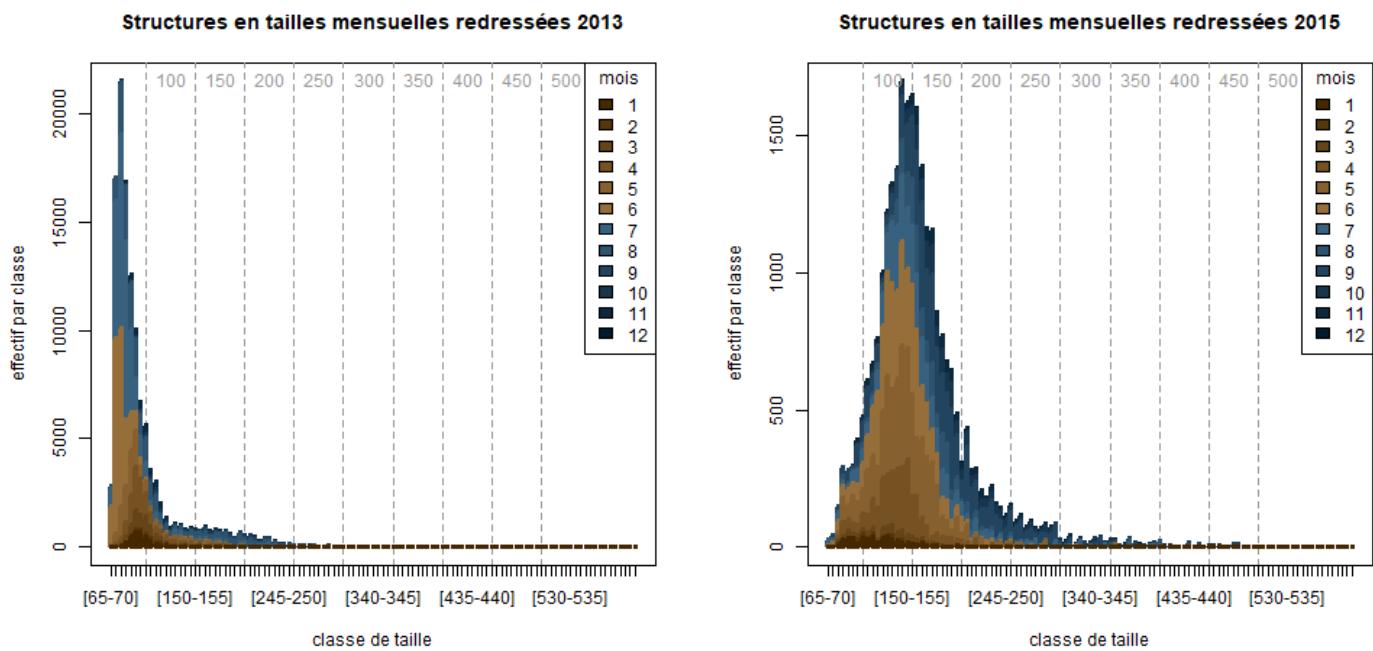


FIGURE 34 – Structure en taille des anguilles jaunes en 2013 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

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

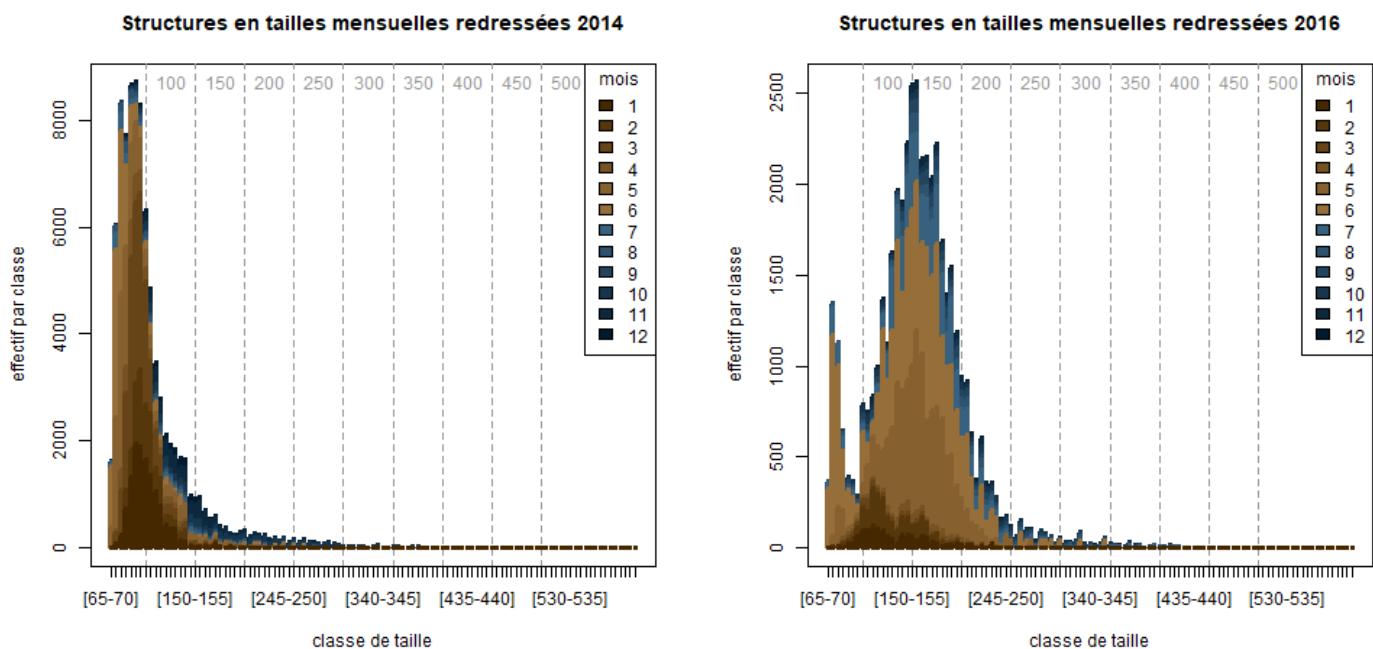


FIGURE 35 – Structure en taille des anguilles jaunes en 2014 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

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

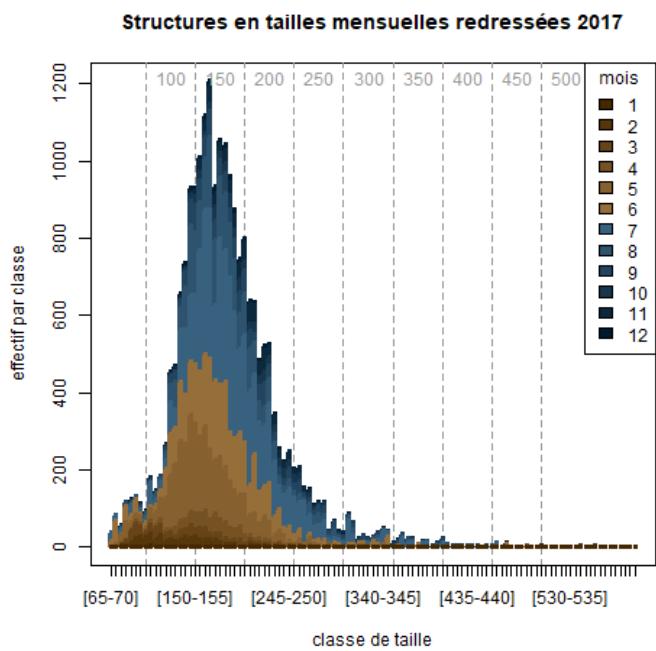


FIGURE 38 – Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

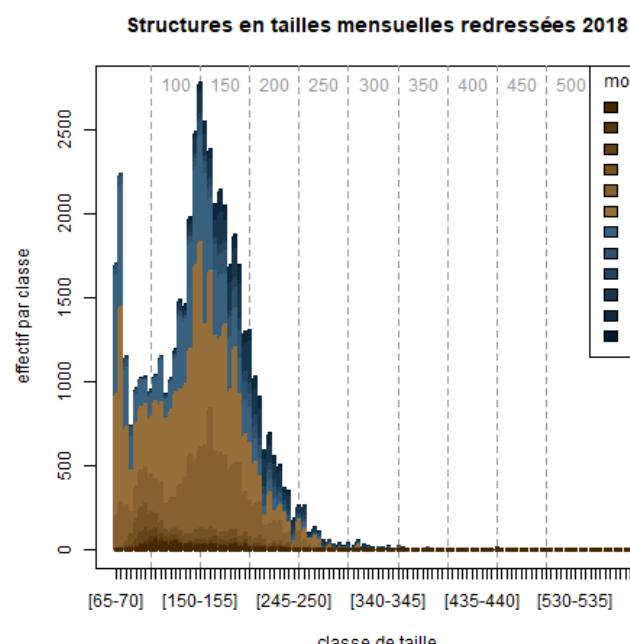
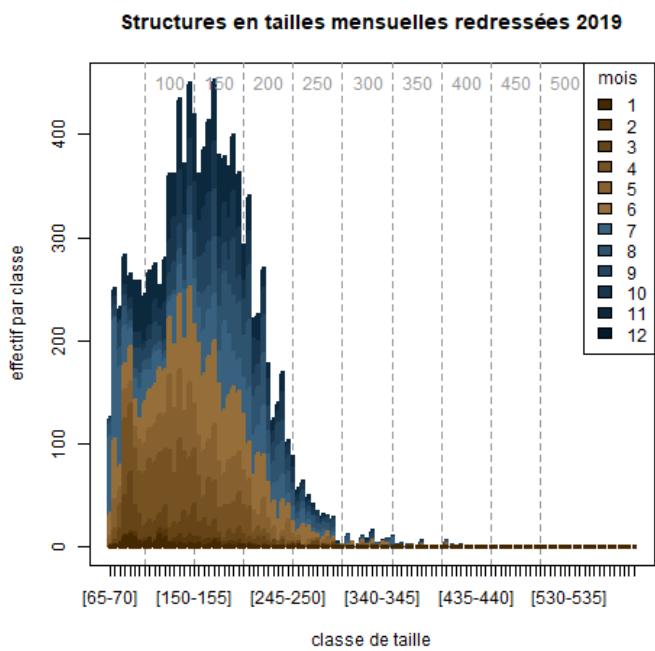


FIGURE 39 – Structure en taille des anguilles jaunes en 2018 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

FIGURE 40 – Structure en taille des anguilles jaunes en 2019 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

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 cœlles en estuaire de Vilaine. population dynamics and migration of glass eels in the Vilaine estuary.
- Briand, C., Sauvaget, B., et Eriaud, 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 L^AT_EX

packages R :

StacomiR ([Briand, 2017](#))
L^AT_EX : Hmisc, xtable, stargazer, tables
graphiques : stacomiR, ggplot2, lattice, ggthemr
traitements : stringr, lubridate, reshape2, dplyr
base : XLConnect, RPostgreSQL, sqldf

Dernière compilation : le 31 mars 2022

R version 4.1.2 (2021-11-01)

plateforme x86_64-w64-mingw32