



VOILET POISSONS MIGRATEURS 2015-2021

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

ET

PECHES ELECTRIQUES

2017



Anguille jaune
(© G. Germis, BGM)



Saumon mâle (© G. Germis, BGM)



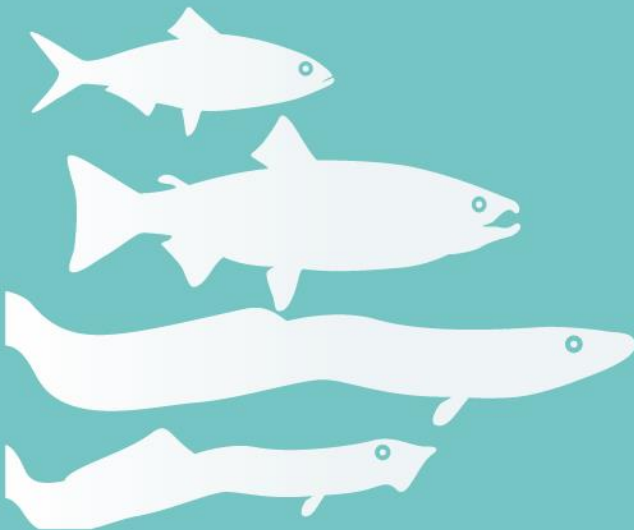
Grande alose (© FD56)



Lamproie marine
(© F. Guéineau, FD35)



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



Maître d'ouvrage :



**Cédric BRIAND
Brice SAUVAGET
Gérard ERIAU**

Edition :

Juin 2018

**Etude réalisée avec le
concours financier de :**

Soutiennent les actions du volet "poissons migrateurs" :



Établissement public du ministère
chargé du développement durable

Suivi des migrations d'anguilles (*Anguilla anguilla*, L.) au barrage d'Arzal, rapport 2017

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 270 380 civelles pour un poids de 75 kg en 2017 ce qui place cette année au 13^{ème} rang sur 23 années de suivi. La migration sur le gabion, passe principale au centre du barrage, est estimée à 232 824 civelles soit 65 kg. Sur le mur guide eau, passe secondaire, la migration est estimée à 37 556 civelles soit 10 kg.

22 964 anguilles jaunes ont migré sur les passes, ce qui classe cette année comme la 10^{ème} sur 23 années de suivi. Ce rapport détaille les conditions de recrutement, capture, migration ainsi que l'évolution des caractéristiques biologiques des civelles en 2016. Il constitue la première version d'une automatisation de l'édition du rapport de suivi à l'aide des commandes du logiciel stacomir <http://stacomir.r-forge.r-project.org/>.

Abstract

The migration on the two main eel fishways of the Arzal dam is estimated at 270 380 glass eel for a weight of 75 kg in 2017 which ranks this year as the 13rd on 23 years of monitoring. The migration on the "Gabion", the main fishway is estimated at 232 824 glass eel, which correspond to a weight of 65 kg. On the waterflow guide wall, (secondary trap) the migration is estimated as 37 556 glass eel or 10 kg.

22 964 yellow eel have migrated on the ladders, which classifies this year as the 10th on 23 years of monitoring. This report details the catch, migration, and evolution of biological characteristics of glass eel in 2016. It is the first version of an automated report using the stacomir 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	17
	2.8 Perspectives	18
	2.9 Graphiques de bilans journaliers des migrations (Anguilles jaunes)	19
1 Matériel et méthodes	3	3 Annexes
1.1 Site d'étude	3	
1.2 Captures de la pêche	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	
2 Résultats	6	Introduction
2.1 Captures de la pêche	6	Le stock d'anguilles a subi 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
2.2 Conversion poids - effectif	6	
2.3 Les migrations de civelles	10	
2.4 Graphiques la migration 2017 des civelles	12	
2.5 Les migrations d'anguilles jaunes	15	
2.6 Structure en taille des migration d'anguilles jaunes	16	

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 anguille 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 2017 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 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 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 anguille 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 le 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 anguille 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 prêt de l'entrée de la rampe aval de la passe à anguille 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 coté du pertuis de vannes, en 2007 (Figure 4 B). Cette rampe, au 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.

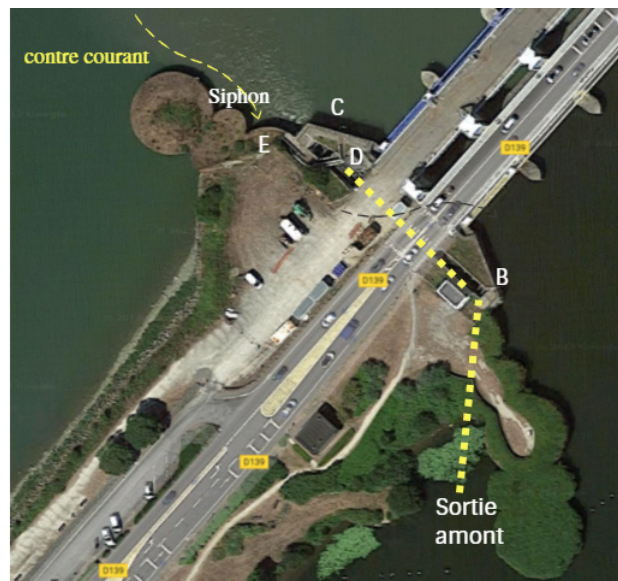


FIGURE 2: Implantation de la passe du gabion, B pompe, C rampe aérienne du bajoyer, D local de stockage, E rampe dans le gabion. L'évacuation des civelles se fait par une conduite vers l'amont du barrage.

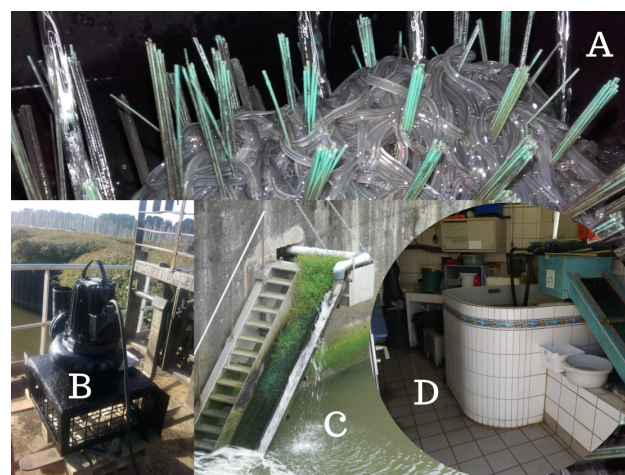


FIGURE 3: La passe à anguille du Gabion, passe principale 1996-2016.



FIGURE 4: La passe à anguille 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 posteriori 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 stacom 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

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

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 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 (avec en remarque les trois poids pesés).

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).

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

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, $\sin(\omega t) + \cos(\omega t)$, pour laquelle t 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 $w \cos(0.0172doy) + \sin(0.0172doy) + s(\text{time})$.

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 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 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

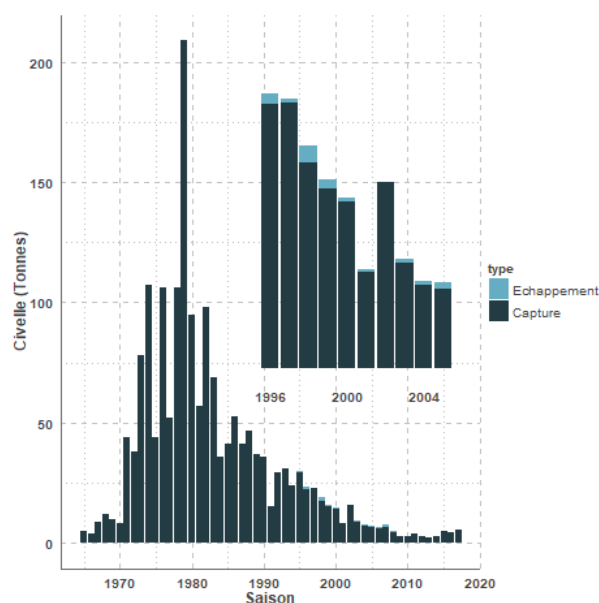


FIGURE 5: Tendances des captures de civelles en estuaire de Vilaine 2017. Les échappements estimés à l'aide du modèle GEMAC ou d'une hypothèse d'efficacité de la passe sont comparés aux captures en estuaire (données 1996-2005 (Briand, 2009)).

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).

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 2017, 24 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. Il traduit l'évolution positive du poids moyen des civelles depuis un minimum en 2009 jusqu'à un maximum en 2014 (Figure 8).

Tableau 1: Captures de la pêcherie de civelles d'Arzal de 1995 à 2017, sources : 1= Affaires Maritimes (données mareyeurs), 2= De Casamajor 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	30 avril
2015	4.86	4	30 avril
2016	4.62	4	30 avril
2017	5.87	4	30 avril

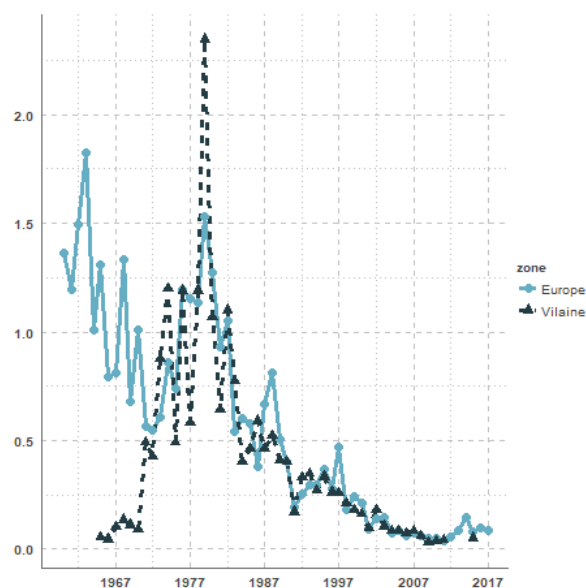


FIGURE 6: Indice de recrutement européen du WGEEL : moyenne géométrique des prédictions de recrutement (GLM) pour tous les sites en dehors de la mer du nord jusqu'à 2017. Le modèle GLM ($recruit \sim area : year + site$) est calé sur les séries de recrutement européenne comprenant soit des civelles soit 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.

annee	passee	estuaire *
1996	17	
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

Tableau 2: Nombre d'échantillons de poids moyen de civelles depuis 1995* Données collectées en pêches expérimentales et par pêche professionnelle

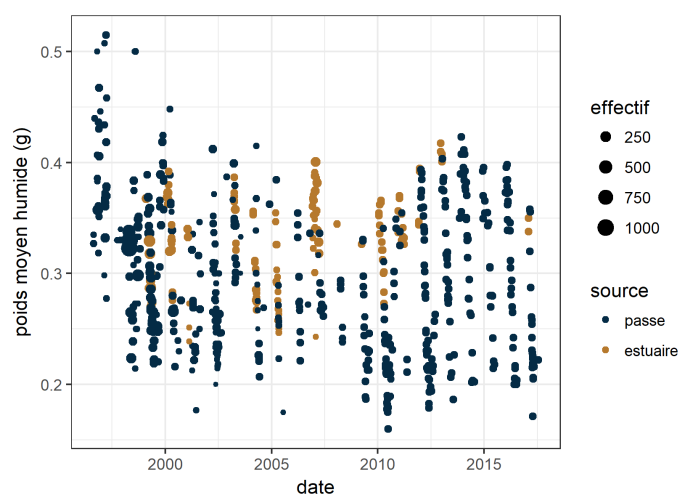


FIGURE 7: "Poids moyens "humides" collectés en estuaire de Vilaine sur des échantillons achetés aux pêcheurs de civelles (source pêche) et sur la passe en rive gauche du barrage d'Arzal (source passe). Les effectifs des échantillons sont indiqués par la taille du point.

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 année, mais pose deux autres problèmes. D'une part il in-

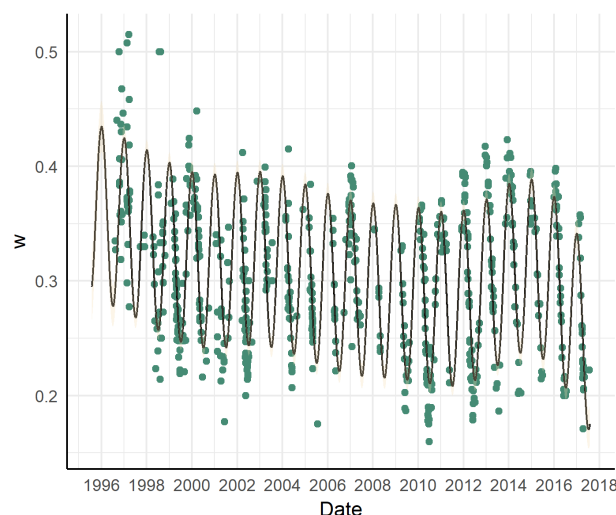


FIGURE 8: Tendance saisonnière des poids moyens de 2006 à 2017, calée avec une tendance de long terme et une tendance saisonnière sinusoidale (`model.type="seasonal2"` dans `stacomiR`). L'ajustement de long terme est correct mais les valeurs extrêmes sont mal ajustées.

troduit 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.

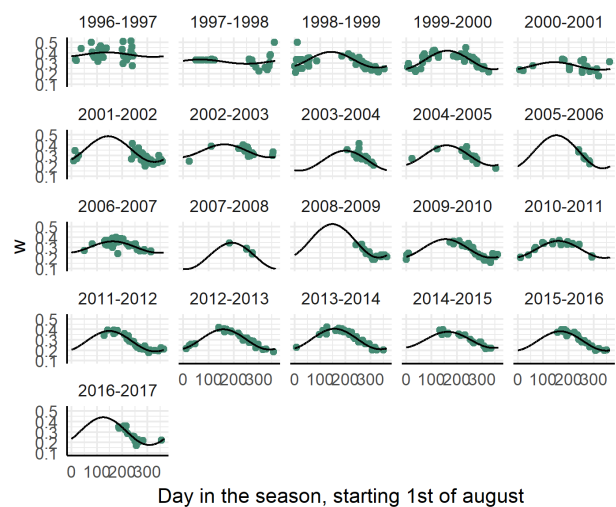


FIGURE 9: Tendance saisonnière des poids moyens de 2006 à 2017. Ajustement par le modèle de Désaunay et Guérault (1997). Les années avec des données manquantes sont moins bien ajustées.

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

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

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

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	181.40	0.0000e+00

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

	edf	Ref.df	F	p-value
s(yday)	7.07	10	87.96	1.318e-286
s(time)	14.13	15	11.42	1.062e-25
ti(yday,time)	63.97	198	1.70	2.896e-42

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

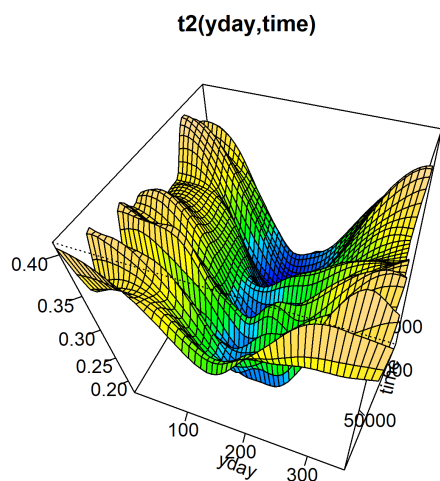


FIGURE 10: Réponses du modèle ajusté manuellement pour les années 2008 à 2017, réponse croisée suivant la durée (time) et le jour. La méthode utilise les produits tensoriels alternatifs (t2) du package mgcv. En résumé, la "vallée" représente l'évolution au cours du temps de la forme de la sinusoïde des 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 (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.

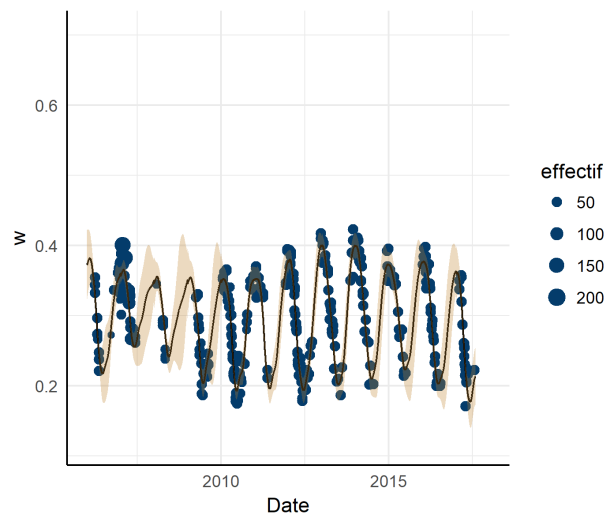
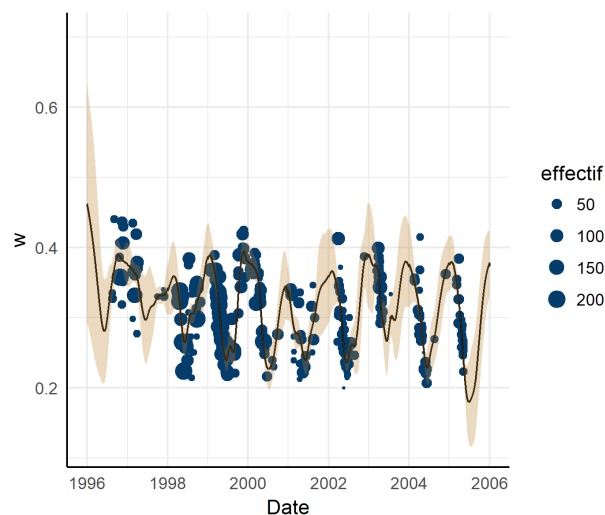


FIGURE 11: Prédictions du modèle ajusté manuellement pour les années 2008 à 2017, les points représentent les poids moyens mesurés (en fonction des effectifs), et les courbes les prédictions du modèle avec les intervalles de confiance à 95%.

2.3. Les migrations de civelles

La migration des civelles pour 2017 s'établit à 270 380 individus pour un poids de 75 kg ce qui place cette année au 13^{ème} rang sur 23 années de suivi. En effet, seules les années 1998 (702 kg de civelles) et 2014 (1.6 tonnes de civelles) ont eu des effectifs supérieurs (Figure 12, tableau 5).

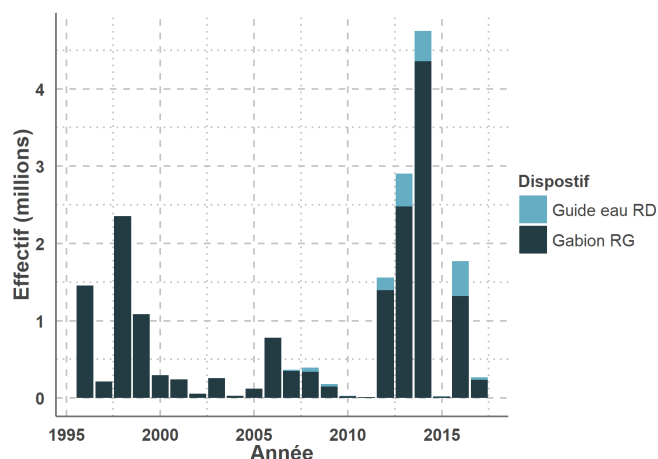


FIGURE 12: Effectif de civelles estimés sur les deux passes du barrage d'Arzal entre 1996 et 2017.

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).

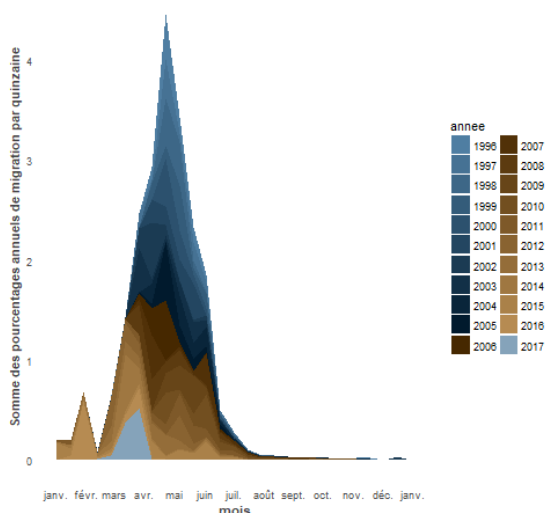


FIGURE 13: Saisonnalité des migrations de civelles, données combinées sur les deux dispositifs de franchissement du barrage.

Année	N	P
1996	1 455 067	443,20
1997	216 216	70,00
1998	2 350 683	702,40
1999	1 086 498	301,00
2000	294 183	82,70
2001	239 519	61,00
2002	53 025	17,10
2003	259 601	83,40
2004	27 964	7,30
2005	119 745	29,40
2006	777 205	217,60
2007	363 418	101,70
2008	391 900	112,70
2009	178 678	43,40
2010	26 058	5,90
2011	11 163	2,70
2012	1 560 727	434,00
2013	2 905 568	877,40
2014	4 747 903	1 607,30
2015	21 813	6,50
2016	1 772 679	629,40
2017	270 380	74,80

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

Pour interpréter les effectifs en migration sur les passes, il faut comprendre que ceux-ci sont dépendants de la pêche. 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 pêche, 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 historiques fortes de migration, 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 est bouleversée. Les températures parfois clémentes, autorisent 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).

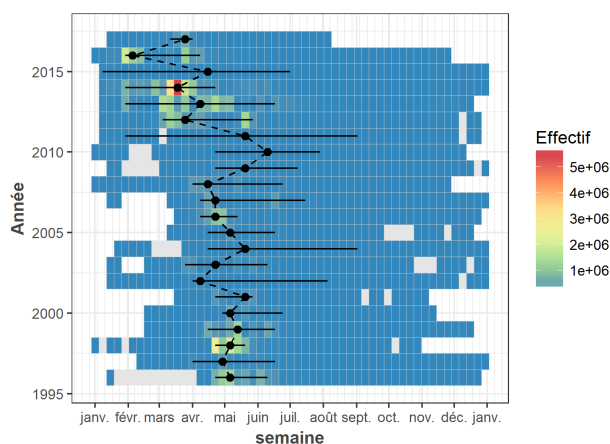


FIGURE 14: Migrations de civelles sur les deux dispositifs du barrage d'Arzal, chaque cluster indique l'effectif ayant migré cette semaine, la barre horizontale indique les quantiles 5% et 95% de la migration. En couleur période entre la première arrivée de civelles et la dernière, avec une couleur relative 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, de nouveau, pas d'arrêts de la pêcherie pendant la saison. La pêche s'étend de nouveau 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 (Figure 15). Avec la reprise de la pêche ensuite jusqu'à fin

avril, la migration est anecdotique.

Le détail mensuel de la migration de 2017 (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.

2.4. Graphiques la migration 2017 des civelles

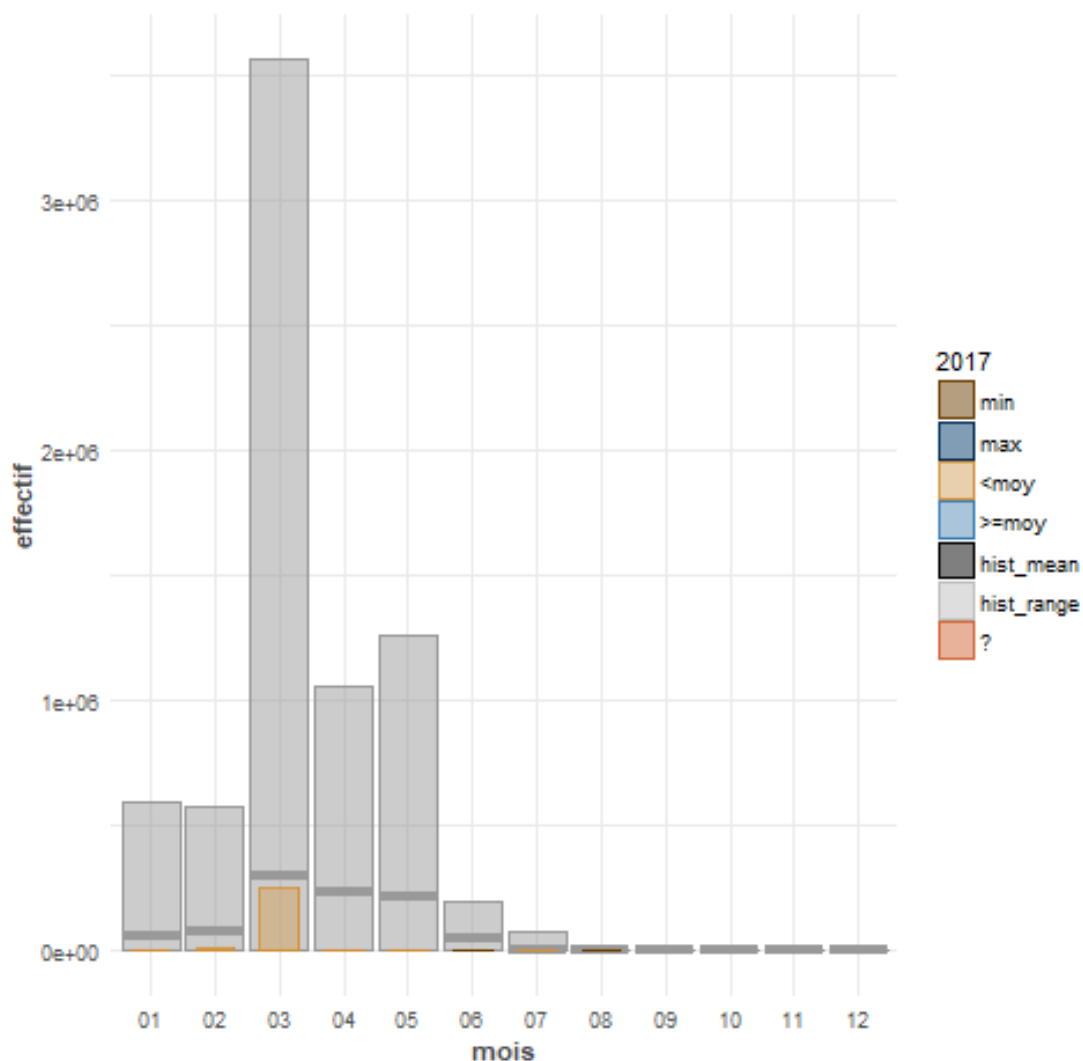


FIGURE 15: Comparaison des migrations de civelles de l'année 2017 à la tendance historique (en gris, valeurs min et max et moyenne (hist_mean), en bleu valeurs maximales, en bleu clair valeurs supérieures à la moyenne, en marron valeurs inférieures à la moyenne.

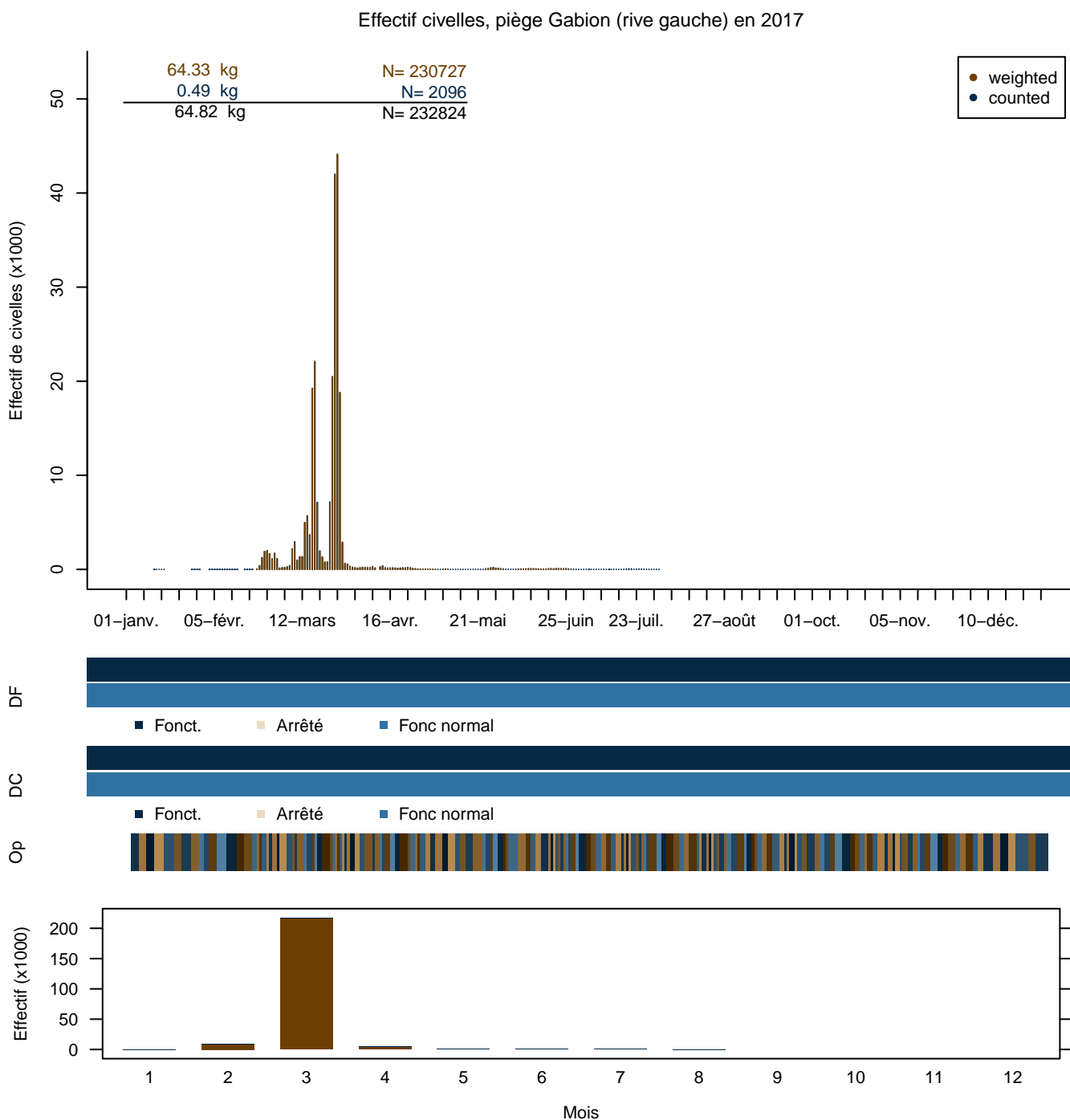


FIGURE 16: Bilan migration du piège principal en rive gauche, le bilan montre aussi la conversion entre les poids et les effectifs, les fonctionnements du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

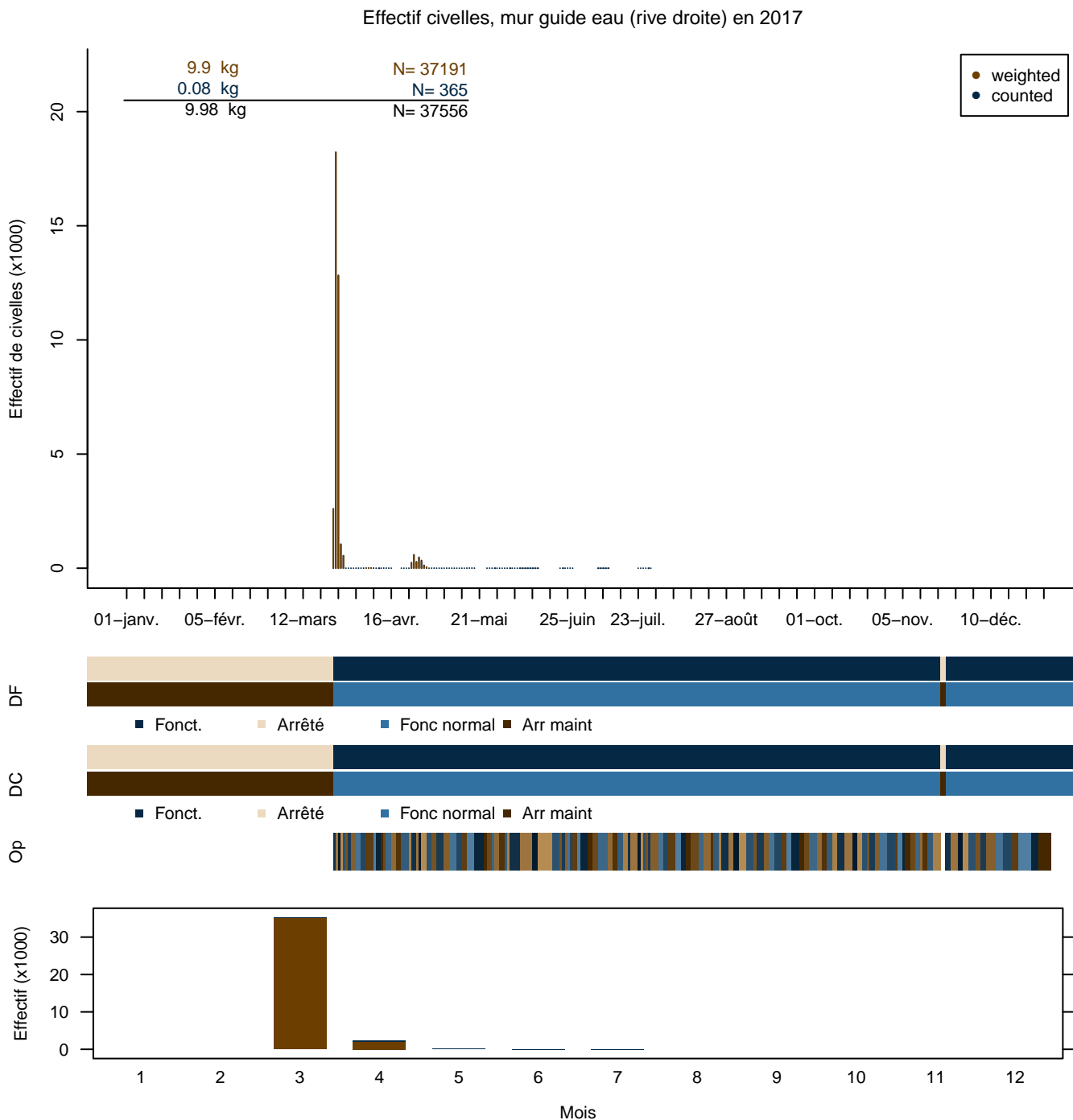


FIGURE 17: Bilan migration du piège secondaire, en rive droite, le bilan montre aussi la conversion entre les poids et les effectifs, les fonctionnements du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

2.5. Les migrations d'anguilles jaunes

22 964 anguilles jaunes ont migré sur la passe, ce qui classe cette année comme la 10^{ème} sur 23 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

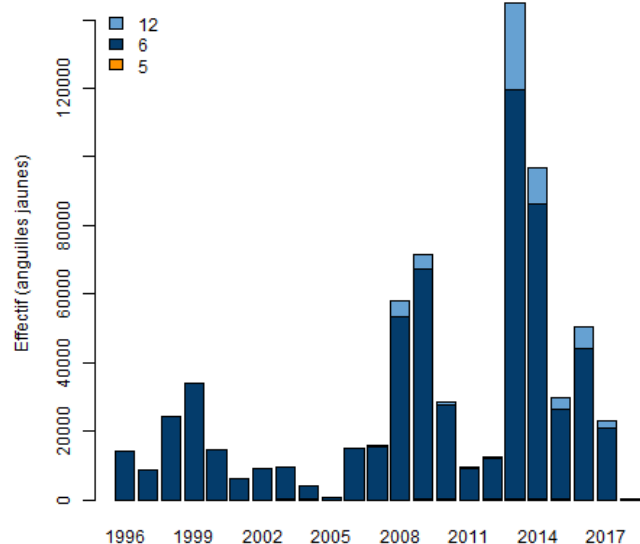


FIGURE 18: Tendence de migration des anguilles jaunes sur les trois dispositifs du barrage, les anguilles migrant par la passe à bassins, peu nombreuses ne sont pas attribuées à un stade particulier.

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 2017 modale centrée sur le mois de juillet, qui est le seul avec un effectif supérieur à la moyenne historique. *boxplot_aillage.j.png*

	P. bassins	Piège RG		Piège RD	
		Jaune	Total	Jaune	Total
1996		14 171	14 171		14 171
1997		8 614	8 614		8 614
1998		24 437	24 437		24 437
1999	2	33 935	33 937		33 937
2000		14 608	14 608		14 608
2001		6 336	6 336		6 336
2002	39	9 186	9 225		9 225
2003	121	9 323	9 444		9 444
2004	211	3 910	4 121		4 121
2005		878	878		878
2006		15 011	15 011		15 011
2007		15 255	15 669	414	15 669
2008	37	53 508	57 931	4 386	57 931
2009	60	67 109	71 656	4 486	71 656
2010	105	27 430	28 457	923	28 457
2011	31	9 127	9 346	188	9 346
2012	191	11 959	12 645	495	12 645
2013	111	119 391	145 103	25 601	145 103
2014	62	86 203	96 745	10 480	96 745
2015	129	26 454	29 636	3 053	29 636
2016	-20	44 011	50 312	6 321	50 312
2017	-118	21 181	22 964	1 901	22 964
2018		64	69	5	69

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

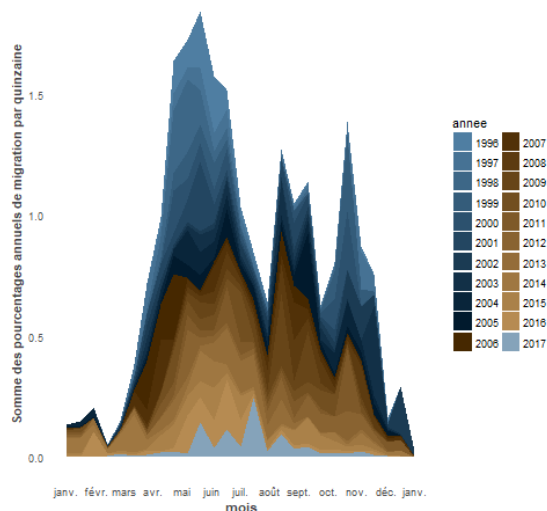


FIGURE 19: Saisonnalité des migrations d'anguilles jaunes, données combinées sur les deux dispositifs de franchissement du barrage d'Arzal.

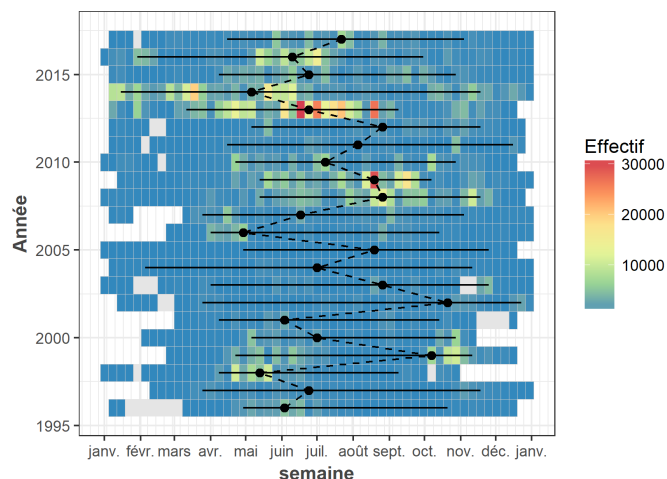


FIGURE 20: Migrations d'anguilles jaunes sur les deux dispositifs du barrage d'Arzal, chaque cluster indique l'effectif ayant migré cette semaine, la barre horizontale indique les quantiles 5% et 95% de la migration. En couleur période entre la première arrivée d'anguilles jaunes et la dernière, avec 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.

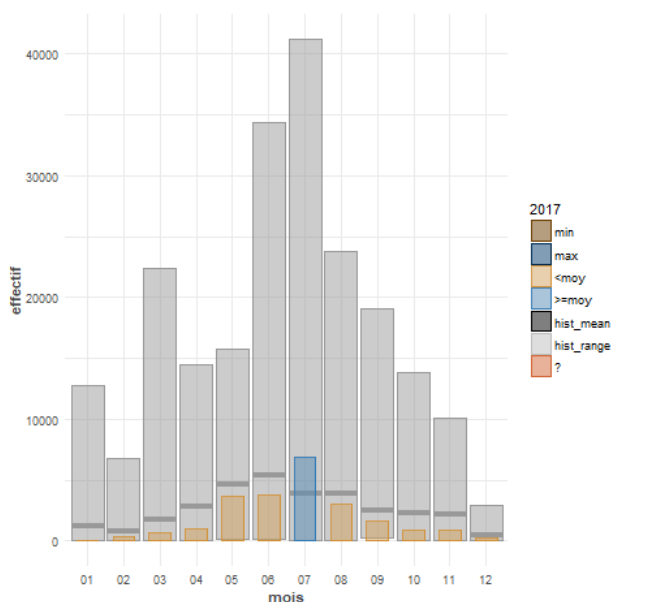


FIGURE 21: Comparaison des migrations d'anguilles jaunes de l'année 2017 à la tendance historique (en gris, valeurs min et max et moyenne (hist_mean), en bleu valeurs maximales, en bleu clair valeurs supérieures à la moyenne, en marron valeurs inférieures à la moyenne).

2.6. Structure en taille des migration d'anguilles jaunes

La taille de 5 901 anguilles jaunes a été mesurée en 2017 (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. 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 difficile de savoir si il s'agit de civelles amenées en amont par la conduite d'évacuation ou rentrées au droit de fuites à l'aval, les deux étant connues pour intervenir. 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. Les effectifs très faibles des anguilles comptées dans la passe à bassins attestent d'eux même de l'efficacité relative des passes (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 d'Arzal (Figure 23). La taille médiane des anguilles jaunes varie entre 124 et 180 mm. Lorsqu'on compare la structure en taille de 2017 aux structures en taille des années précédentes (Figures 31, 32, 33, 34, 35, 36 et 37) on observe clairement la prédominance des anguilles de l'année en 2013 et 2014, et des arrivées plus diffuses en 2010, 2011, 2012 et 2016. En 2017, le mode correspondant aux civelles de petite taille est absent.

La structure en taille de chaque mois est multipliée par une

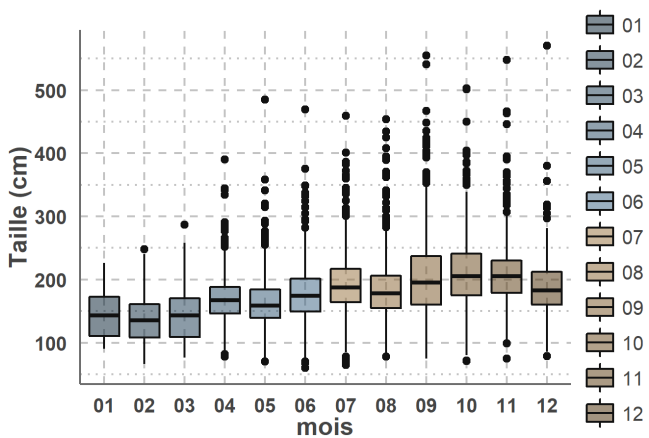


FIGURE 22: Box plot des tailles d'anguilles jaunes (en mm) en 2017 mesurées par mois sur la passe principale du barrage d'Arzal.

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 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).

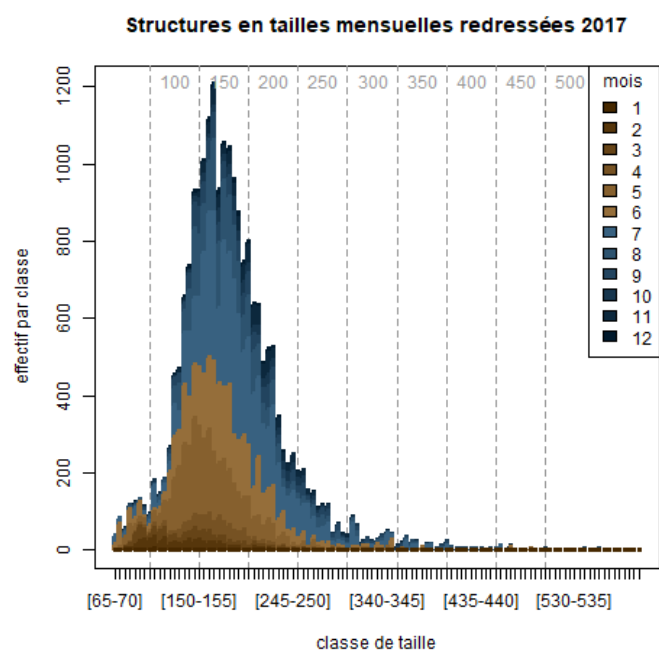


FIGURE 23: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

Mois	n	τ	
		moy	sd
01	22	146	39
02	453	137	36
03	324	143	42
04	675	168	38
05	743	164	40
06	554	178	48
07	524	195	50
08	752	187	49
09	506	208	68
10	433	213	60
11	636	209	49
12	279	188	51
Tous	5901	182	54

Tableau 7: Moyenne et écart types des tailles d'anguilles τ par mois, et nombre d'échantillons collectés en 2017.

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 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 2017, la migration d'argentées par la basse à bassins est quasi nulle. Globalement, les

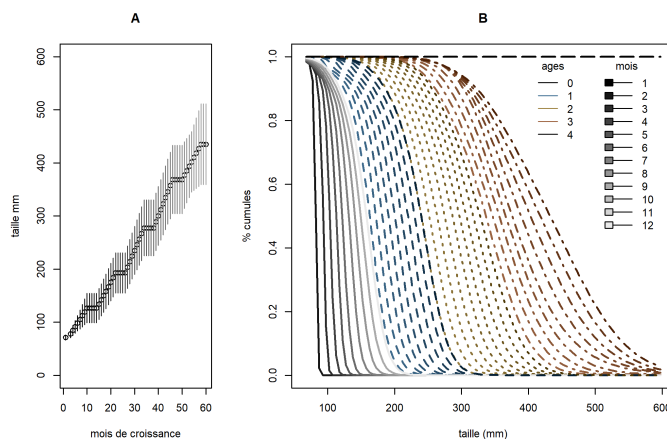


FIGURE 24: - A) Modélisation de la croissance des anguilles en milieu estuarien, taille des anguilles en fonction du nombre de mois de croissance. B) Clés taille/âge utilisées pour l'analyse, pourcentage cumulé de chacune des classes d'âge pour les différents mois de l'année, par exemple pour 400mm au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

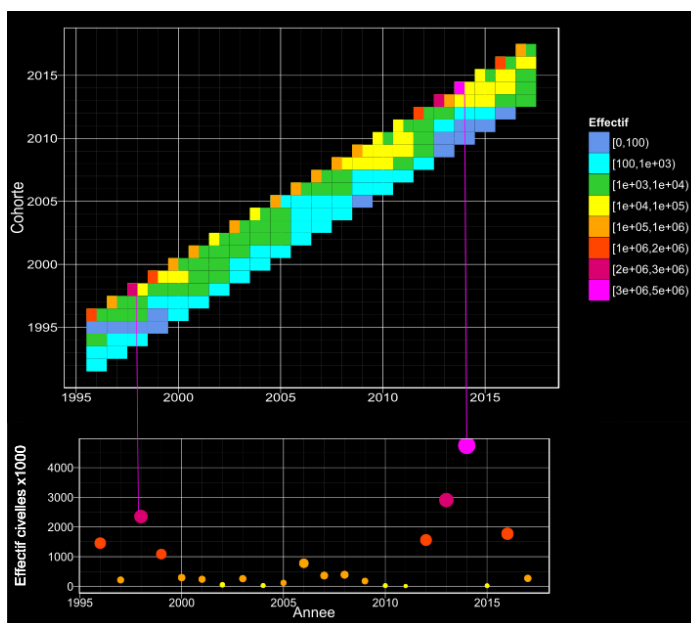


FIGURE 25: Migration des anguilles jaunes et des civelles sur les passes du barrage d'Arzal entre 1996 et 2017. En haut, chaque tuile représente une année et une cohorte à l'exception de la cohorte d'âge zéro (en haut) qui est séparée en une tuile correspondant aux civelles (à gauche) et une tuile correspondant 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.

migrations d'argentées sont très minoritaires lorsqu'on les compare aux autres stades de développement (Figure 27).

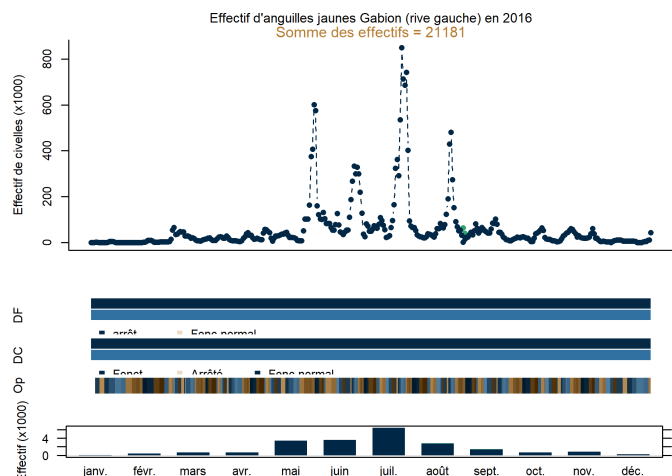


FIGURE 26: Migration d’anguille par cohorte. Chaque année sur l’axe des x représente une cohorte. Les âge 0 et les civelles migrent dans l’année. Les âge 1 migrent après une année (un hiver de plus) en estuaire... En onglet, les civelles, en nombre sont portées sur le même graphique que le précédent.

2.8. Perspectives

Le travail à réaliser pour améliorer ce rapport est le suivant :

- 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.
- Traitement des données morphologiques individuelles des civelles. La rédaction d’une publication en partenariat avec des espagnols et des irlandais est en cours.

	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

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)

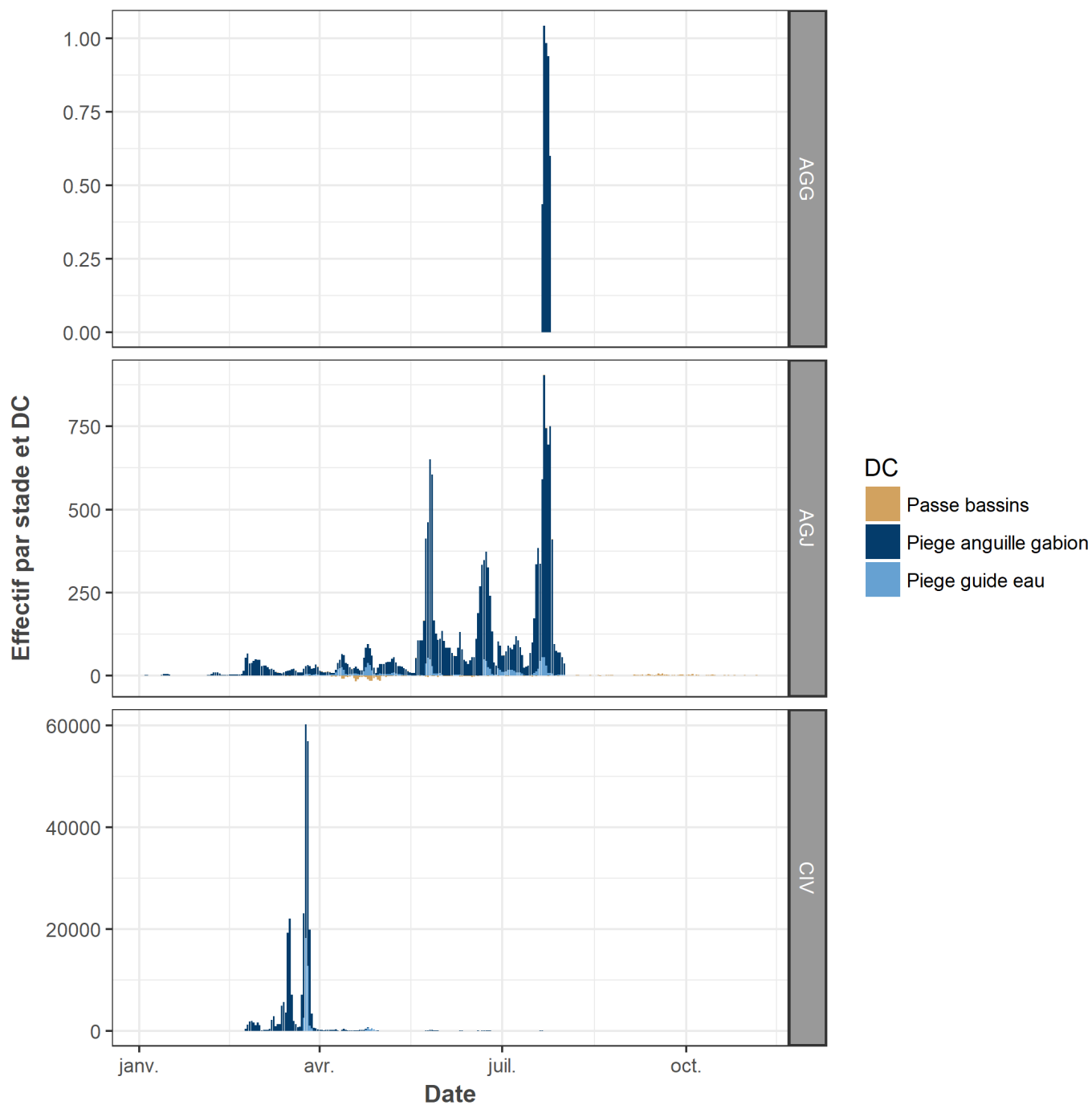


FIGURE 27: Bilan migration multiple, combinant trois stades de développement et les trois dispositifs de comptage d'Arzal. Le Bilan montre qu'en effectif la migration est dominée par les civelles, et que cette année comme les autres années, la passe du gabion en rive gauche du barrage concentre la majeure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

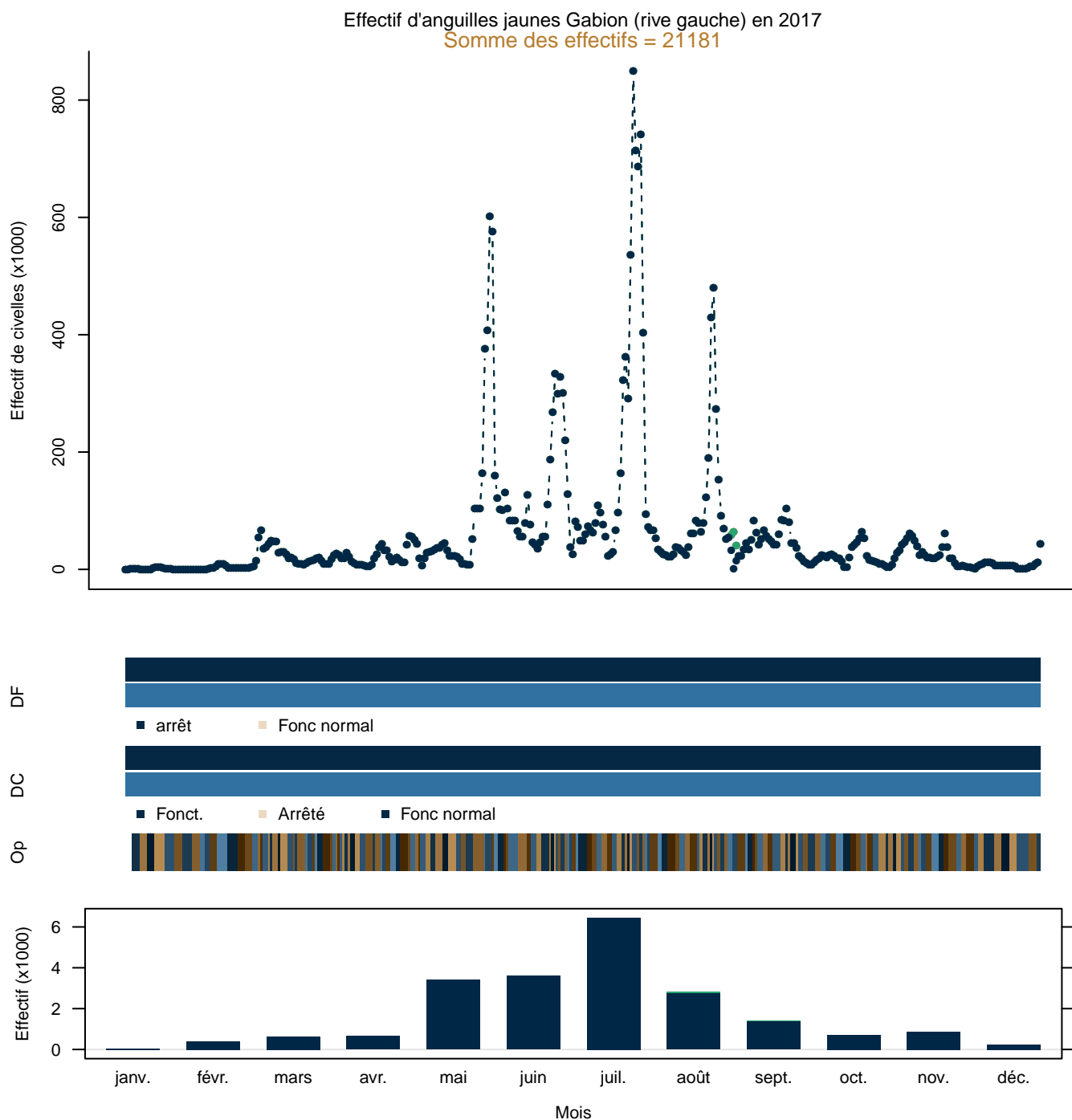


FIGURE 28: Bilan migration pour les Anguilles jaunes sur le piège principal en rive gauche, le bilan résume les fonctionnement du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

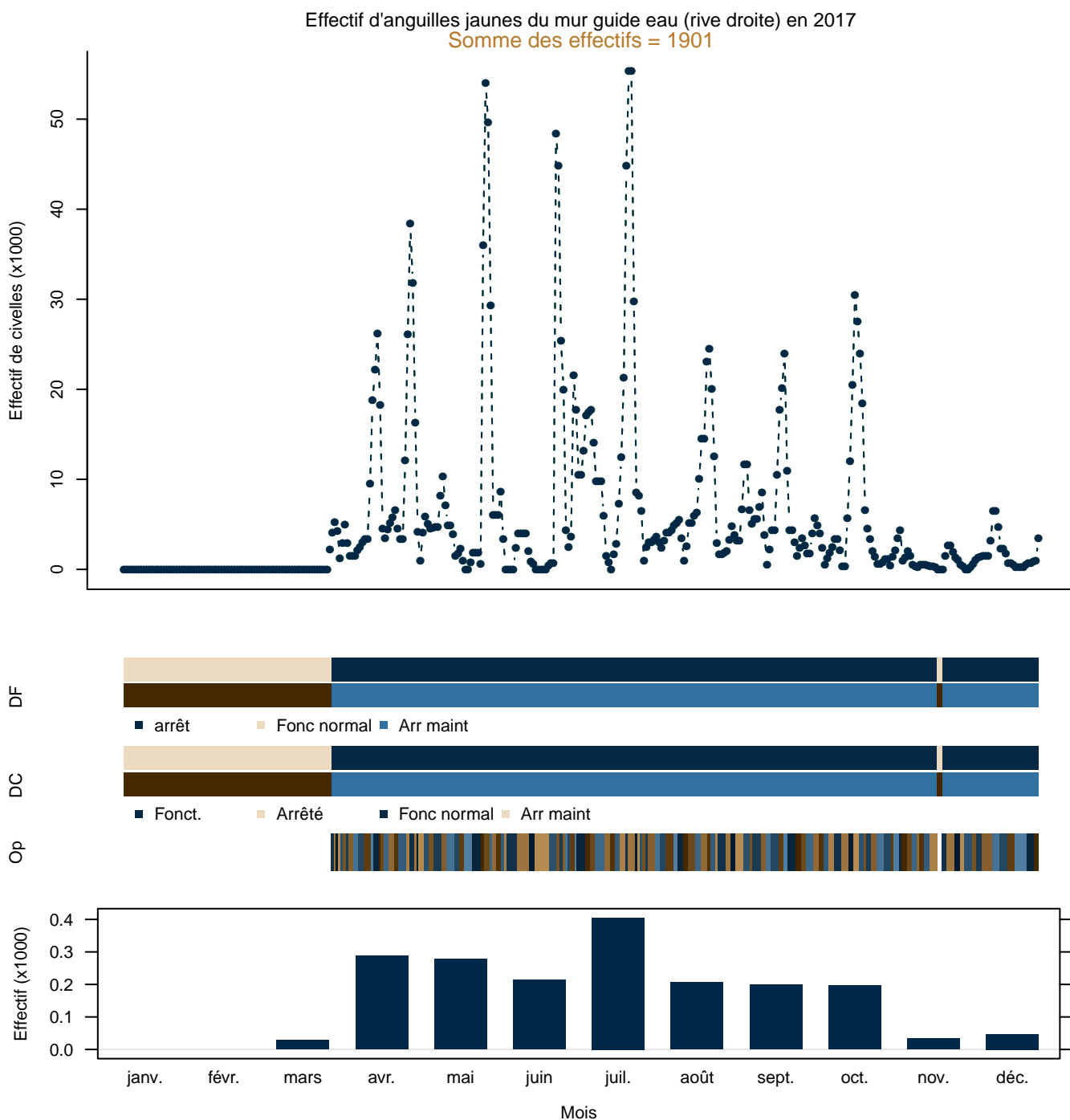


FIGURE 29: Bilan migration des anguilles sur le piège en rive droite sur le mur guide eau, le bilan résume les fonctionnement du dispositif de franchissement (DF), du piège (DC), et les opérations de contrôle (Op).

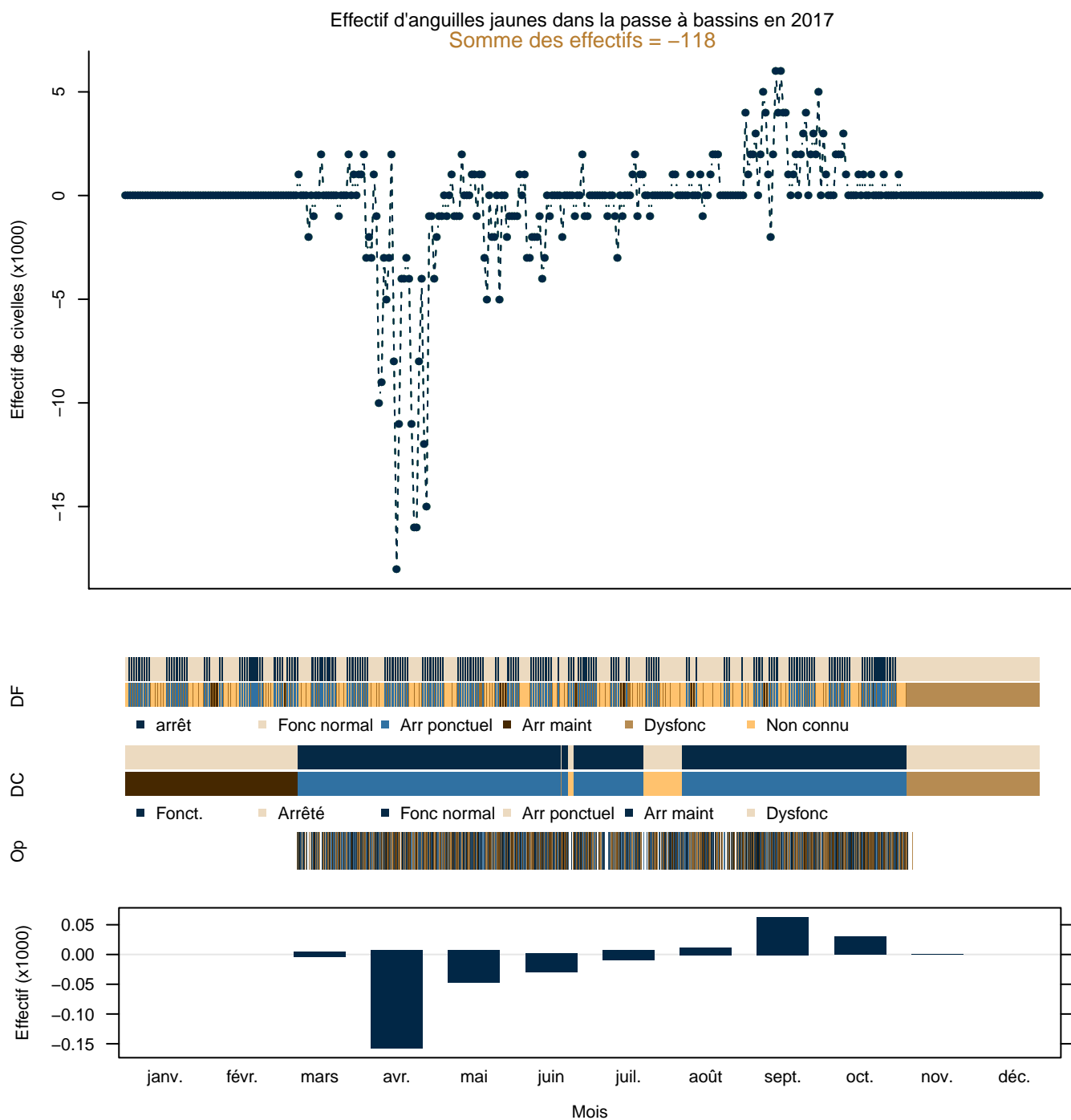


FIGURE 30: Bilan migration des anguilles dans la passe à bassins du barrage d'Arzal. Les migrations vont dans les deux sens, avec des bilans journaliers négatifs ou positifs. Le fonctionnement du DF est difficile à rendre sur une échelle annuelle puisque la passe peut se fermer ou rentrer en dysfonctionnement 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 (2016)
janv.	0,00	40,73	345,92	0,01
févr.	0,00	61,52	432,42	8,35
mars	0,01	271,06	3 236,76	217,20
avr.	1,46	211,90	1 054,83	4,46
mai	0,71	198,31	1 257,87	1,09
juin	1,30	44,78	197,44	1,30
juil.	0,18	6,44	66,37	0,40
août	0,00	1,00	5,78	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 2016, les trois statistiques * correspondent à la période 1996-2015. min* minimum mensuel, max* maximum mensuel, moyenne* moyenne des effectifs mensuels.

Mois	Min*	Moyenne*	Max*	N (2016)
mars	0,00	77,32	332,91	35,26
avr.	0,32	31,14	184,83	2,20
mai	0,00	14,30	76,66	0,07
juin	0,02	7,73	30,97	0,02
juil.	0,01	1,96	11,62	0,01

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 2008-2015. N (2016) effectif par mois pour 2016, min* minimum mensuel, max* maximum mensuel, moyenne* moyenne des effectifs mensuels.

Année	N	P
1996	1 455 067	443,20
1997	216 216	70,00
1998	2 350 683	702,40
1999	1 086 498	301,00
2000	294 183	82,70
2001	239 519	61,00
2002	53 025	17,10
2003	259 601	83,40
2004	27 964	7,30
2005	119 745	29,40
2006	777 205	217,60
2007	348 363	97,80
2008	336 562	96,60
2009	146 793	35,90
2010	24 129	5,40
2011	10 342	2,50
2012	1 394 137	391,20
2013	2 476 324	749,60
2014	4 356 747	1 478,40
2015	17 529	5,30
2016	1 317 805	462,30
2017	232 824	64,80

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

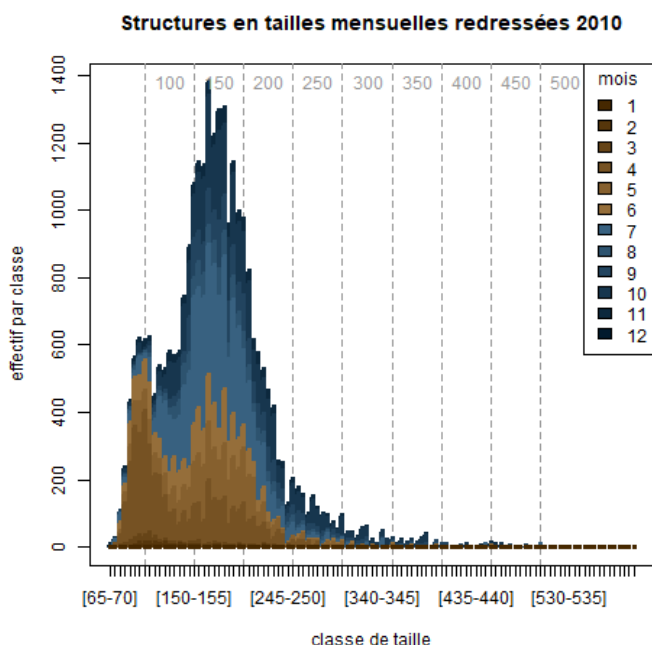


FIGURE 31: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

Année	N	P
2007	15 055	3,90
2008	55 338	16,10
2009	31 885	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

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).

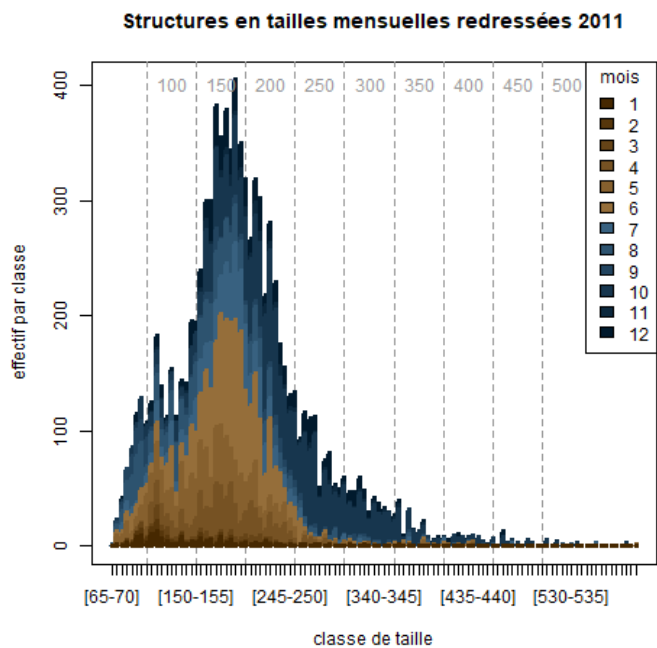


FIGURE 32: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

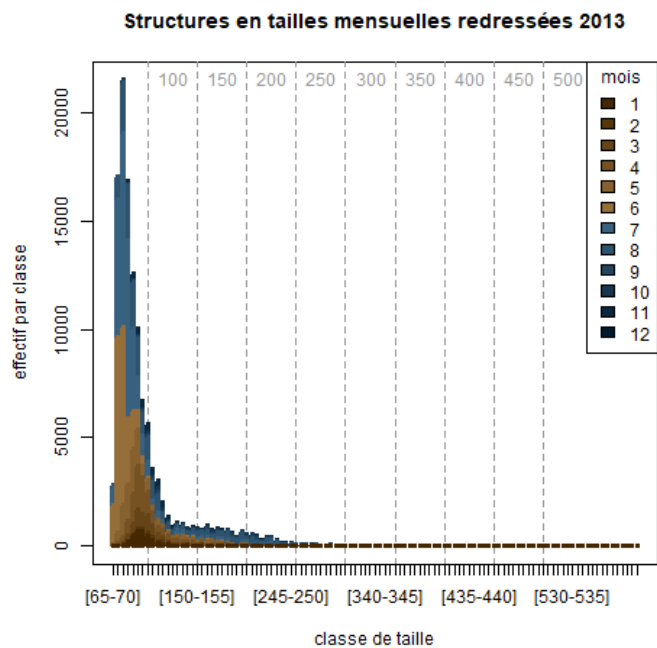


FIGURE 34: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

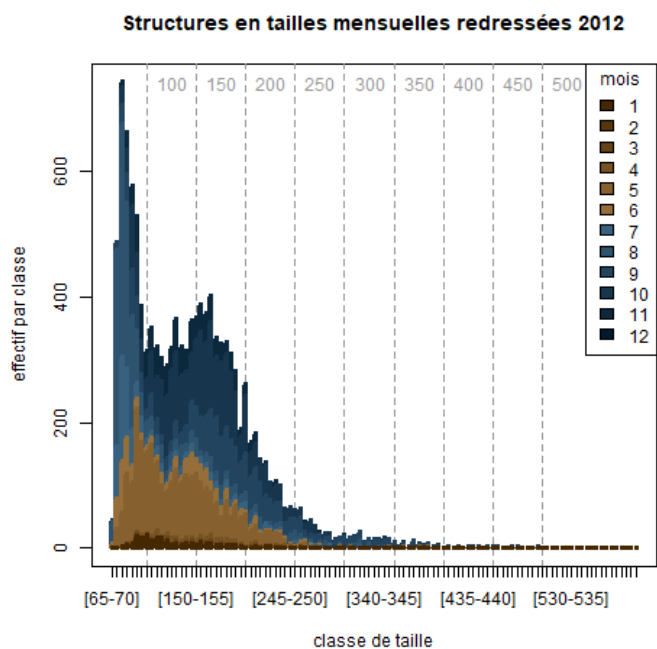


FIGURE 33: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

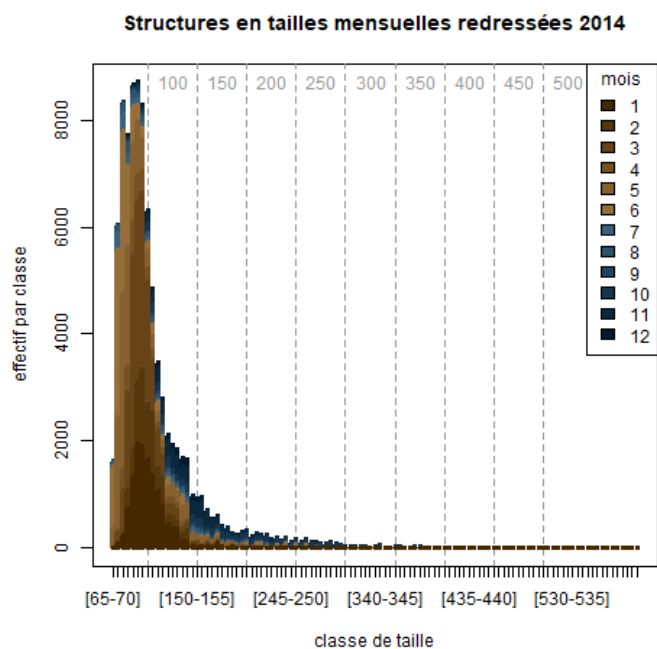


FIGURE 35: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

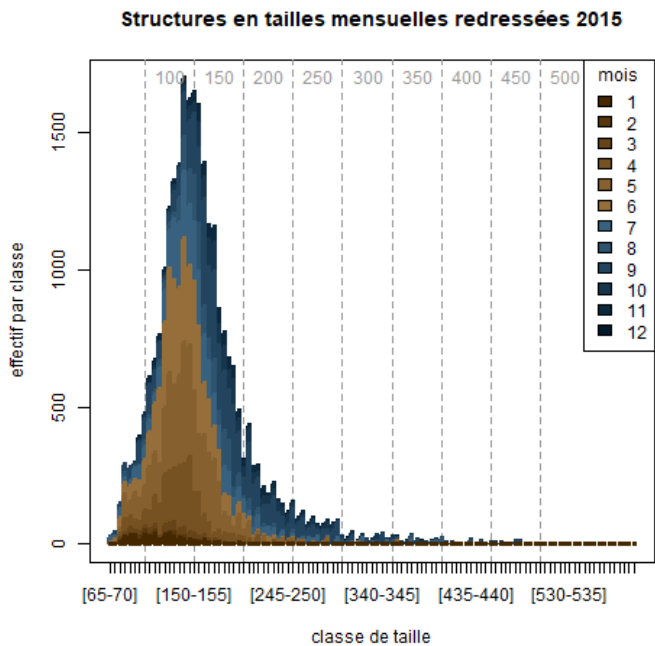


FIGURE 36: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

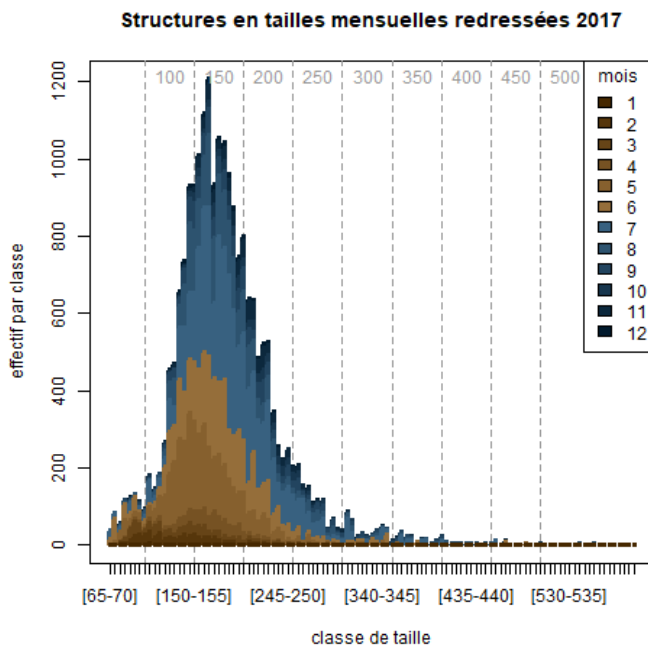


FIGURE 38: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

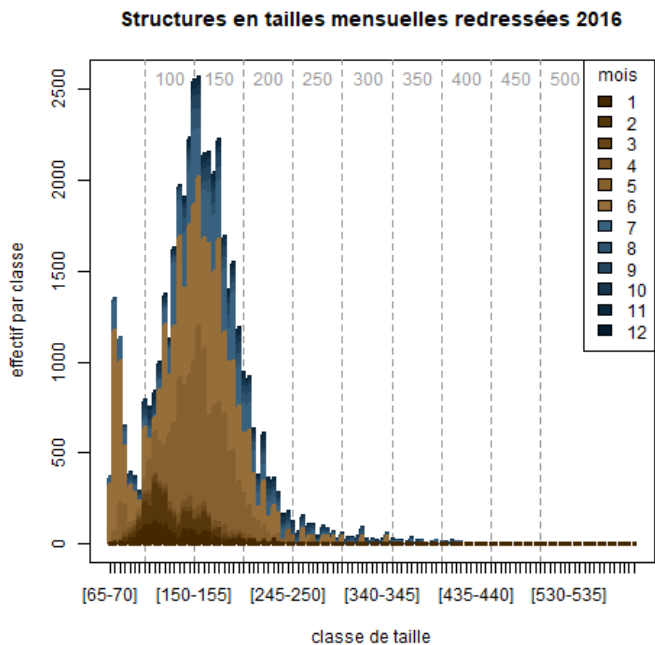


FIGURE 37: Structure en taille des anguilles jaunes en 2017 (redressée par les effectifs mensuels en migration).

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 ci-velles en estuaire de vilaine. population dynamics and migration of glass eels in the vilaine estuary.
- 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 18 juin 2018

R version 3.4.3 (2017-11-30)

plateforme x86_64-w64-mingw32

Suivi de l'anguille jaune (*Anguilla anguilla*, L.) en pêche électrique sur le bassin de la Vilaine de 1998 à 2017.

Monitoring of yellow eel (*Anguilla anguilla*, L.) by electrofishing in the Vilaine watershed from 1998 to 2017.

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

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

Résumé

Les densités ont été évaluées par pêche électrique sur des affluents de petite taille à des distances croissantes de l'estuaire. Elles ont d'abord augmenté de 1998 à 2001 avec la réouverture du bassin versant de la Vilaine à l'anguille. Elles ont ensuite diminué significativement à partir de 2003, jusqu'à un niveau minimum en 2011. Cette tendance a traduit la dégradation des recrutements fluviaux de civelles. A cette période, les opérations de transport de civelles n'ont pas compensé cette baisse.

A partir de la mise en place du plan de gestion anguille, le recrutement fluvial de civelles sur le bassin versant a été très fortement augmenté. On observe bien en réponse une augmentation des abondances de jeunes classes d'âge sur l'aval du bassin (zone < 50 Km), à partir de 2013. Plus tard, on observe une augmentation des âges un et deux sur la partie intermédiaire du bassin à partir de 2015-2016. Toutefois, l'augmentation globale du recrutement fluvial ne se traduit pas par une augmentation des densités sur les affluents considérés. Les densités diminuent de nouveau en 2017, et globalement les niveaux de densité atteints restent bien en deçà des niveaux observés sur la période 1998-2002. Le biomasses sont en déclin continu quels que soient les secteurs.

Enfin, les pêches électriques sont aussi l'occasion d'une opération de marquage-recapture qui permet d'obtenir de précieuses informations sur la croissance des anguilles jaunes dans les cours d'eaux. Ces informations sont synthétisées et analysées.

L'ensemble des résultats est discuté, au regard des objectifs du plan régional de gestion des poissons migrateurs et de la compréhension de la dynamique du stock d'anguille à l'échelle du bassin de la Vilaine.

Abstract

Densities are collected on small tributaries located at increasing distance from the estuary. They have first increased from 1998 to 2001 with the re-opening of a migratory pathway for eel in the Vilaine watershed. They have then diminished rapidly from 2003 until a low level in 2011, and this trend is a consequence of the degradation of glass eel fluvial recruitment. At this time, tentative transport operations have not buffered the decline.

From the start of implementation of the eel management plan, glass eel fluvial recruitment on the Vilaine basin has been largely increased. We do observe an increase in young age classes in the downstream part of the basin (area <50 rkm) from 2013. Later, in 2015-2016 we observe an increase of age one and two in the medium part of the basin (50-100 rkm). Densities are decreasing again in 2017 in all parts of the basin, and as a whole, the density levels remain well beyond those observed in 1998-2002. Biomass show a continuous decline in all sectors.

Finally, electrofishing operations are also offering the means for a marking-recapture operation which allows to gather valuable information on eel growth in the Vilaine tributaries. This information is analysed and synthesized.

The whole result are discussed, in the perspective of the regional plan of management of migratory species and to understand the eel stock dynamics at the scale of the vilaine watershed.

Mots clés: anguille, pêche électrique, marquage, pit-tag Yellow eel, electrofishing, marking recapture, pit tag

Sommaire :

1 Matériel et méthodes	2
1.1 Méthode de pêche	2
1.2 Traitement des données	3
1.3 Analyses statistiques	3
1.4 Marquage recapture des anguilles	3
2 Résultats	3
2.1 Recrutement estuarien	3
2.2 Recrutement fluvial	3
2.3 Tendances de la population d'anguille	4
2.4 Marquages recaptures	7
3 Discussion	9
4 Conclusion	10
5 Annexes	12

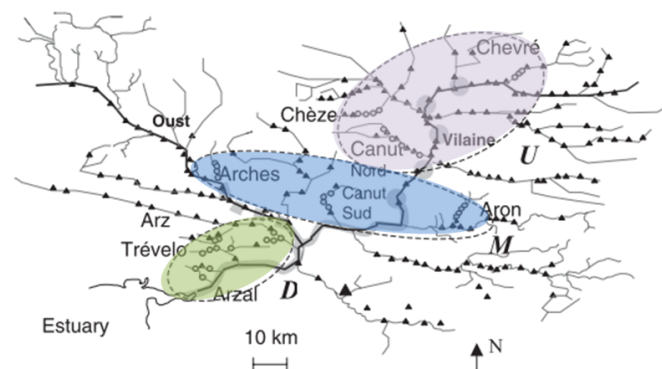


FIGURE 1: Vue schématique du bassin de la Vilaine, les trois zones colorées correspondent aux trois classes de distance de l'estuaire.

1.1. Méthode de pêche

Introduction

1. Matériel et méthodes

Pour cette étude, le bassin versant a été séparé en trois classes de distance (rkm = kilomètres de rivière) :

la zone aval située à moins de 50 kilomètres de rivière du barrage d'Arzal (50 rkm) est formée principalement par des affluents connectés au bief aval de la Vilaine sous influence directe du barrage d'Arzal. Le cours principal de la Vilaine forme un bief de 30-150 m de large, en connexion avec les marais de Redon.

la zone intermédiaire est composée de secteurs situés entre 50 et 100 kilomètres de rivière du barrage d'Arzal (50-100 rkm). Les affluents échantillonnés comportent le Canut Sud, séparé de la Vilaine aval par un barrage, et le ruisseau de l'Aron accessible après deux barrages. Le troisième, le ruisseau des Arches, est plus difficile d'accès pour les anguilles. Il est localisé sur l'Oust et est séparé par 6 barrages de navigation de la Vilaine aval. Cet axe a été entièrement équipé de passes à anguilles en 2003.

la zone amont (100 rkm) comprend des affluents connectés à l'axe de la Vilaine. Les points d'échantillonnage sont localisés entre 110 et 165 kilomètres du barrage d'Arzal. En 1999 et 2000, 13 passes à anguilles ont été construites sur les barrages de navigation de la Vilaine, facilitant l'accès aux affluents du Canut Nord et de la Chèze. Elles ont aussi facilité l'accès au Chevré situé en amont de Rennes, bien que trois barrages soient restés non équipés pour l'accès à cette rivière. Une passe à anguilles située sur le troisième barrage de la Vilaine (la Molière) a été arrachée durant la crue de l'hiver 2000 et reconstruite en 2006.

Sur 46 stations de pêche électrique prospectées sur le bassin versant de la Vilaine chaque année entre fin août et novembre de 1998 à 2005 (BRIAND *et al.*, 2006), une sélection de 19 stations situées sur 10 affluents a été conservée à partir de 2007 (Figure 1). La méthode de pêche est standardisée. Les pêches électriques sont effectuées à l'aide d'un matériel de type Héron. Le courant utilisé est continu. Les secteurs de pêche couvrent approximativement une surface de pêche de 100 m². Ils sont délimités et marqués de manière à prospecter le même secteur d'une campagne de pêche sur l'autre. Une attention particulière a été portée à la continuité des équipes de pêche depuis le début des opérations et que le protocole de pêche soit équivalent d'une année sur l'autre. L'anode est placée à intervalles réguliers de manière à prospecter l'ensemble de la surface du secteur de pêche. Une fois le courant appliqué, l'électrode est maintenue en place pendant au minimum 30 secondes, plus si une anguille détectée n'est pas encore capturée. La capture des anguilles est effectuée par deux pêcheurs, équipés d'une épuisette large à cadre métallique avec le bord inférieur droit de 60 cm de large avec des mailles de 2 mm ; et d'une petite épuisette à main ronde ou carrée avec des mailles de 2 mm. Cet équipement peut varier en fonction des circonstances. Les grandes épuisettes sont surtout efficaces dans les secteurs où le débit est important et la visibilité réduite. Lorsque le débit est faible ou nul, les grandes épuisettes ne sont pas utilisées. Les épuisettes secondaires peuvent être remplacées par des petites épuisettes rectangulaires utilisées dans la biométrie lorsque le cours d'eau pêché est en étiage sévère, et qu'il est nécessaire de « chasser » les anguillettes dans les interstices des pierres sur les radiers. Les stations pêchées font l'objet d'un inventaire complet de la faune piscicole présente. Le nombre d'anguilles collectées par point est noté par un opérateur en rive, qui est également chargé de contrôler le temps de pêche.

1.2. Traitement des données

Les migrations vers le fleuve sont analysées en faisant la somme :

- des montées de civelles aux passes,
- des migrations d’anguilles jaunes,
- des opérations de transport qu’elles soient effectuées par l’IAV ou par le CRPMEM. Dans tous les cas, les mortalités lors des transports ne sont pas incluses,
- des migrations dans l’écluse.

Les densités sont évaluées comme suit :

$$D = \frac{N_{CS}}{\text{surface}}$$

où N_{CS} correspond aux nombres évalués par la méthode des enlèvements successifs de Carle&Strubb (Ogle, 2013; Carle et Strub, 1978) à partir des effectifs pêchés sur chaque station N et la surface correspond à la surface mouillée de la station de pêche. L’efficacité de pêche Φ est calculée à partir de l’effectif Carle&Strubb N_{CS} et de l’effectif au premier passage N_{p1} :

$$\Phi = \frac{N_{p1}}{N_{CS}}$$

Les biomasses d’anguilles estimées B_e par station sont calculées à partir des biomasses

$$B_e = B \times \frac{D}{N}$$

Les densités de chaque classe de taille τ sont calculées comme suit :

$$D_\tau = N_\tau \times \frac{N_{CS}}{N \times \text{surface}} = N_\tau \times \frac{D}{N}$$

Les densités par classe d’âge sont calculées grâce à la clé taille-âge élaborée par Mounaix (Mounaix, 1992) complétée par des anguilles prélevées en 1998 et 1999 dans les cours d’eaux (Briand et al., 2006).

1.3. Analyses statistiques

Les densités d’anguilles sont log transformées pour normaliser la distribution (Shapiro-Wilks $p > 0.1$). Une analyse de variance simple est appliquée en utilisant la formule :

$$\log(D) \approx a + s + m + \epsilon_s$$

pour laquelle la station s correspond à la station de pêche, le mois m correspond au mois divisé en deux catégories avant septembre et après octobre, et l’année a correspond à l’année de pêche. Les données sont analysées par un modèle linéaire mixte (Pinheiro et al., 2013) avec un lien identité et une distribution normale, pour lequel une variation de la variance en fonction de la station est appliquée

$\epsilon_s = N(0, \sigma_s^2)$ $s = 1, \dots, 19$ (Zuur et al., 2009). La significativité des différentes variables -classe de distance à la mer, affluent, station ou mois- est évaluée à l’aide du critère d’Akaike (AIC) ou du ratio des log-vraisemblance lorsque les modèles sont structurellement emboîtés. Un test post hoc de Tukey est appliqué aux densités pour grouper les années semblables. L’évolution de la densité en anguilles et des biomasses est analysée par zone (classe de distance du barrage) et par âge. Les tendances de densité sont analysées ainsi que la moyenne par secteur de distance. Cette moyenne est comparée à la valeur de référence de 0.3 anguille.m⁻² fixée par le PLAGEPOMI pour les parties aval des cours d’eaux.

1.4. Marquage recapture des anguilles

Le marquage des anguilles a été effectué par pit tag à l’aide d’un injecteur manuel sur toutes les anguilles de plus 30 cm capturées sur les stations. Les pits tags ont été placés dans la cavité abdominale. Ils sont passés dans l’alcool avant d’être implantés. Les anguilles de taille susceptible d’être recapturées après avoir été marquées > 30 cm ont été testées pour le marquage. Sur certaines stations, une prospection est effectuée en dehors de la station pour rechercher les anguilles de plus de 30 cm, les tester pour un marquage éventuel, et les marquer. Ces anguilles sont alors traitées à part dans les données de pêche mais sont intégrées aux stations de pêche.

2. Résultats

2.1. Recrutement estuarien

Les captures totales de la pêcherie sont passées de 57 tonnes en 1981 à 2.6 tonnes en 2009 (Tableau 1). Avant l’adoption du plan de gestion, les captures étaient essentiellement contraintes par la durée de la saison de pêche (Briand, 2009). Après cette date, elles sont plus le reflet des contraintes du quota et du marché pour la civelle, avec la fermeture à l’export pour la CITES à partir de 2010.

2.2. Recrutement fluvial

Le recrutement fluvial vers le bassin versant est composé majoritairement du stade civelle, variant annuellement de 0.026 en 2010 à 7.049 millions de civelle par an en 2013. Le nombre d’anguilles jaunes comptées sur les passes a varié de 878 à 144 992 entre la plus mauvaise année 2005 et la meilleure 2013. Les données reportées pour le recrutement d’anguille jaune sur le bassin sont présentées différemment avec un calcul par cohorte, qui prend en compte l’âge des anguilles lors de leur passage. Les effectifs d’anguilles jaunes varient alors entre 6 350 et 160 399 (Figure 2) (Briand et al., 2017). Entre 2000 et 2005, les captures lors des pêches expérimentales ont lissé la chute du recrutement fluvial sans la compenser pleinement (Figure

Tableau 1: Captures de la pêcherie de civelles d'Arzal de 1995 à 2016, sources : 1= Affaires Maritimes (données mareyeurs), 2= De Casamajor 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	30 avril
2015	4.86	4	30 avril
2016	4.62	4	30 avril

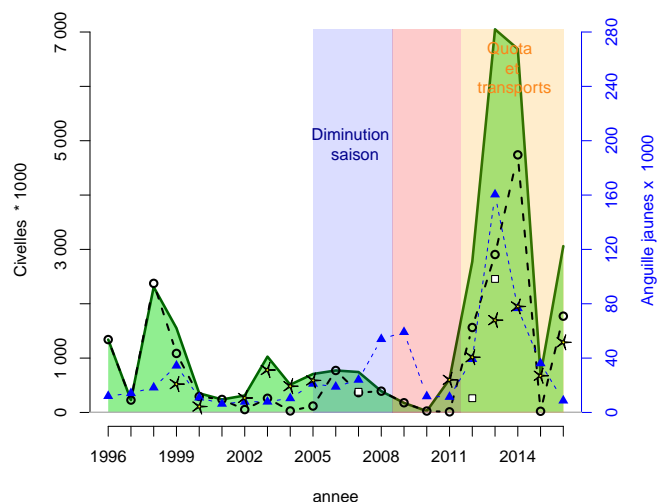


FIGURE 2: Migrations d'anguilles jaunes (--Δ--) et de civelles (-o-) en effectif sur la passe au barrage d'Arzal, civelles pêchées et transportées (★) et estimation de la migration de civelles lors des manœuvres d'écluse entre 1996 et 2011 (□). En vert, somme du recrutement fluvial de civelles.

2). L'augmentation de la migration des anguilles jaunes après 2005 est concomitante avec l'arrêt des pêches scientifiques de civelles après la saison de pêche professionnelle (en bleu sur la Figure 2). Les faibles migrations de civelles de 2009, 2011 et 2015 sont la conséquence de la fermeture tardive de la saison de pêche professionnelle (figure 2). Entre 2012 et 2016 l'augmentation du recrutement fluvial reflète à la fois l'augmentation du recrutement global (Figure 17), les transports, la diminution forte de la pêche, et les manœuvres d'écluse au barrage d'Arzal. La même figure est reportée en kg pour les civelles (figure 3)

2.3. Tendances de la population d'anguille

Pour l'analyse des résultats obtenus par pêche électrique depuis 1998, seules les stations prospectées à chaque campagne ont été conservées, soit 19 au total (9 pour le Morbihan et 10 pour l'Ille-et-Vilaine). L'efficacité de pêche varie entre 0.51 et 0.75 (Tableau 2).

La densité moyenne par station est passée de 0.75 (+0.38) anguille.m⁻² en 1998 à 0.88 (+0.42) anguille.m⁻² en 2000 avant de chuter rapidement à 0.34 (+0.1) anguille.m⁻² en 2003. Après un minimum de 0.17 (+0.07) anguille.m⁻² en 2011, elle augmente jusqu'en 2014 à 0.46 (+0.29) anguille.m⁻² (Tableau 2 et Figure 4) et elle reste approximativement à cette valeur jusqu'en 2016, avant de chuter

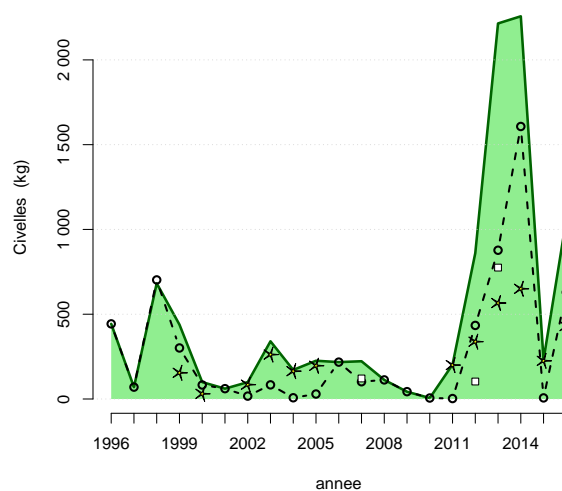


FIGURE 3: Migrations de civelles (en kg) (-o-) sur la passe au barrage d'Arzal, civelles pêchées et transportées (★) et estimation de la migration de civelles lors des manœuvres d'écluse entre 1996 et 2011 (□). En vert, somme du recrutement fluvial (anguilles jaunes non comprises).

Tableau 2: Densités (D) et biomasses moyennes B_e en anguilles (méthode Carle et Strub) et efficacités de pêche Φ calculées pour les 19 stations prospectées entre 1998 et 2017. Les intervalles de confiance (IC) sont à 0.05.

Nb	annee	D	IC D	Φ	IC Φ	B_e	IC B_e
18	1998	0.75	0.38	0.51	0.07	17.04	4.46
19	1999	0.73	0.35	0.54	0.09	19.11	6.37
19	2000	0.88	0.42	0.59	0.11	19.10	5.86
19	2001	0.78	0.28	0.60	0.09	18.97	6.64
19	2002	0.58	0.29	0.56	0.12	13.21	4.65
19	2003	0.34	0.10	0.69	0.09	8.92	3.07
19	2005	0.23	0.09	0.75	0.11	8.31	4.03
19	2007	0.22	0.10	0.73	0.09	11.57	8.61
19	2009	0.22	0.08	0.66	0.12	8.90	3.43
19	2011	0.17	0.07	0.62	0.10	6.08	2.56
19	2013	0.28	0.11	0.57	0.10	8.90	4.36
19	2014	0.46	0.29	0.57	0.10	9.51	4.85
19	2015	0.31	0.13	0.60	0.11	5.23	2.29
19	2016	0.44	0.24	0.62	0.14	5.16	2.89
19	2017	0.21	0.11	0.56	0.10	4.83	2.50

de nouveau en 2017 à 0.21 (+0.11) anguille.m⁻².

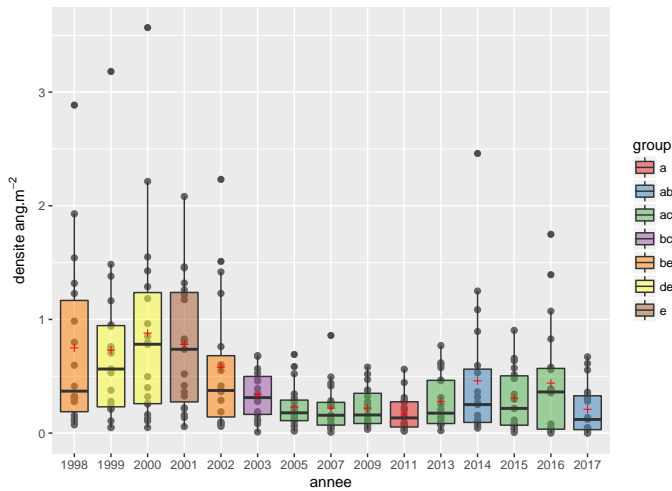


FIGURE 4: Classement des densités en fonction des années, test Post hoc de Tukey sur le modèle $\log(dens) \sim a + s + \epsilon(ss)$, avec $\epsilon(s) \sim N(0, \sigma_s^2)$ a=année, s=stations, groupes classés au seuil de 0.05. Les moyennes du tableau 2 sont représentées par des croix rouges.¹

L'examen des résidus du modèle glm (1) $\log(D) \approx a + s + m + \epsilon_s$ (modélisation des densités en fonction du mois, de l'année et du site) montre qu'il existe une variabilité résiduelle différente en fonction des sites (Figure 15 en annexe). Un modèle mixte (2) incluant une variation de la dispersion des résidus en fonction des sites $\epsilon_s = N(0, \sigma_s^2)$ $s = 1, \dots, 19$ (Zuur et al., 2009) est construit pour tenter d'homogénéiser les résidus. Le test du rapport de vraisemblance entre les modèles mixte et le glm est hautement significatif. Ceci indique que le modèle avec une variance différente entre sites est meilleur et nous conduit à rejeter l'hypothèse

que les variances sont toutes égales. La comparaison des différents modèles mixtes ((2) (3) et (4), Tableau 7) montre que le modèle incluant un effet site, un effet année et un effet mois est le meilleur modèle car l'AIC est le plus faible (Tableau 7 en annexe, modèle). Un modèle regroupant uniquement les données par classes de distance² est moins performant qu'un modèle incluant un effet station.

Les densités ont diminué de manière significative entre 2000 et 2003, et les années 2007 à 2013 sont significativement plus faibles que les densités de 1998 à 2003 (Tukey Post hoc test, groupes séparés au seuil de 0.05) (Figures 4 et 13, Tableau 2). En 2013, la densité moyenne de l'ensemble des stations est repassée au dessus de la cible de gestion pour la zone à moins de 50 km de l'estuaire avec 0.33(0.27) anguille.m⁻². La densité s'approche également du seuil pour la zone intermédiaire (50-100 rkm 0.27(0.24) anguille.m⁻²) (Tableau 3).

L'évolution de la biomasse moyenne montre une diminution moins marquée que celle des densités avec des valeurs assez stables entre 1998 et 2001 avec 17.04 (+4.46) et 18.97 (+6.64) g.m⁻² puis en chute marquée de 2005 jusqu'en 2017 à 4.83 (+2.5) g.m⁻² (Tableau 2 et Figure 5).

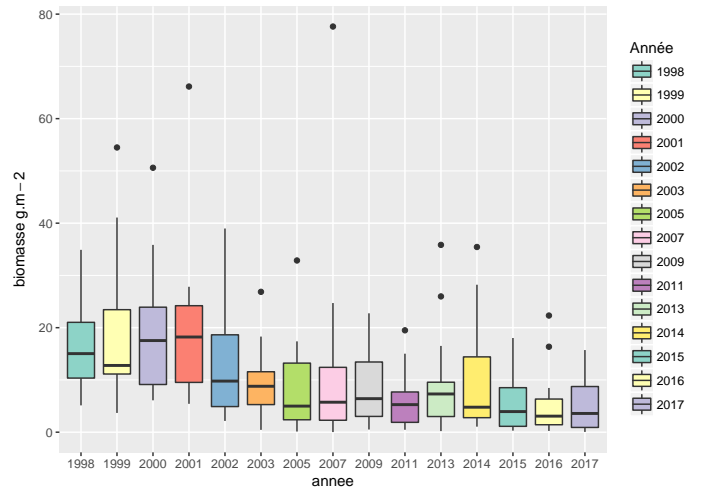


FIGURE 5: Evolution des biomasses d'anguilles en fonction de l'année.

Le déclin en densité intervient pour toutes les catégories de distance à la mer mais semble intervenir plus précocement lorsqu'on se rapproche de l'estuaire (Figure 6, Tableau 3). Comme pour les densités, la chute des biomasses est d'autant moins marquée que l'on s'éloigne du barrage d'Arzal (Figure 7, Tableau 4). Les anguilles d'âge 0 ont diminué fortement après 2003, après une période où les effectifs sont très faibles avec au plus 0.01(0.02) anguille.m⁻² en

2. Ce modèle n'est pas présenté ici

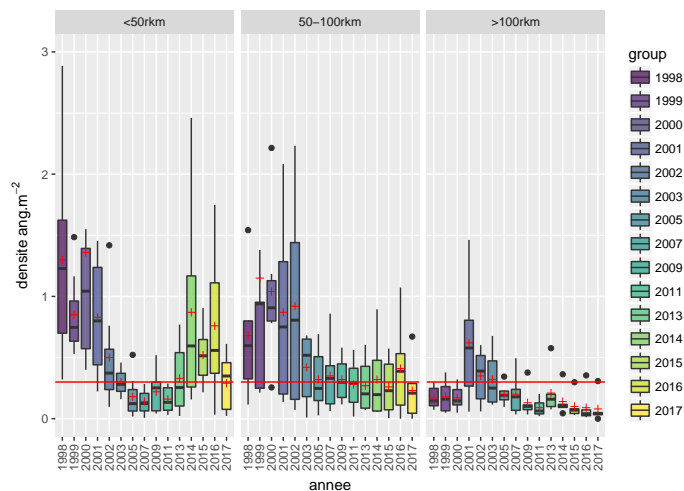


FIGURE 6: Distribution des densités d'anguilles par classe de distance pour les pêches électriques de 1998 à 2017. Les box plot représentent le premier et le troisième quartile, et l'axe central la médiane des densités d'anguilles obtenues pour les pêches de chaque année. Les barres d'erreur correspondent aux données comprises dans 1.5 fois l'écart interquartile. Les points au-delà représentent des "outliers" et sont représentés individuellement. L'axe rouge représente le seuil fixé actuellement dans le plan de gestion (0.3 anguille.m⁻²). Les croix rouges correspondent aux densités moyennes. Attention les pêches électriques ont eu lieu tous les ans de 1998 à 2003, tous les 2 ans de 2003 à 2013 avant de reprendre à une fréquence annuelle.

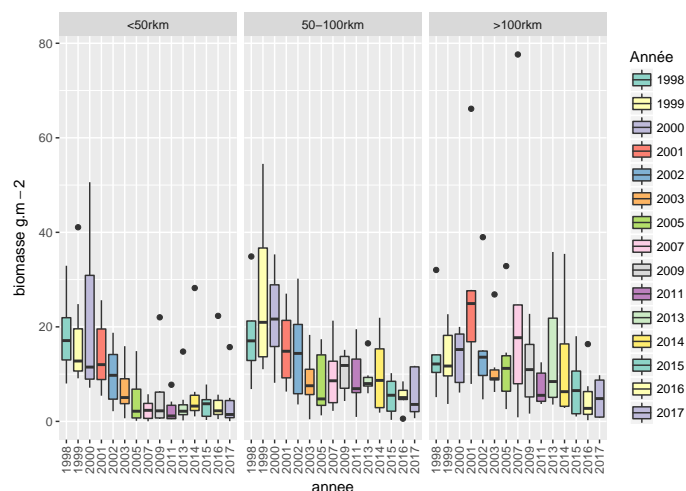


FIGURE 7: Biomasses moyennes d'anguilles par classe de distance pour les pêches électriques de 1998 à 2017. Les barres d'erreur correspondent aux données comprises dans 1.5 fois l'écart interquartile. Attention les pêches électriques ont eu lieu tous les ans de 1998 à 2003, tous les 2 ans de 2003 à 2013 avant de reprendre à une fréquence annuelle.

Tableau 3: Densités moyennes en anguilles (en anguille.m⁻²) en fonction de la distance + - intervalles de confiance à 0.05.

annee	<50rkm	50-100rkm	>100rkm
1998	1.3(0.82)	0.68(0.68)	0.17(0.1)
1999	0.85(0.32)	1.15(1.15)	0.18(0.14)
2000	1.36(0.99)	1.04(0.68)	0.17(0.11)
2001	0.83(0.45)	0.87(0.83)	0.62(0.53)
2002	0.5(0.42)	0.92(0.92)	0.35(0.24)
2003	0.3(0.1)	0.42(0.31)	0.32(0.24)
2005	0.18(0.16)	0.32(0.28)	0.2(0.09)
2007	0.14(0.1)	0.35(0.31)	0.2(0.18)
2009	0.22(0.16)	0.32(0.19)	0.13(0.13)
2011	0.16(0.1)	0.28(0.22)	0.09(0.07)
2013	0.33(0.27)	0.27(0.24)	0.21(0.2)
2014	0.87(0.76)	0.32(0.36)	0.14(0.12)
2015	0.52(0.23)	0.26(0.25)	0.1(0.11)
2016	0.76(0.57)	0.41(0.42)	0.09(0.14)
2017	0.29(0.22)	0.23(0.26)	0.08(0.12)

Tableau 4: Biomasses moyennes en anguilles (en g.m⁻²) en fonction de la distance + - intervalles de confiance à 0.05.

annee	<50rkm	50-100rkm	>100rkm
1998	18.27(7.79)	18.58(13.11)	14.32(9.73)
1999	17.64(10.72)	26.77(18.24)	13.18(7.45)
2000	21.27(15.55)	22(10.69)	13.66(6.43)
2001	14.27(6.92)	15.65(8.65)	27.77(21.29)
2002	9.77(6.17)	14.69(11.03)	15.76(12.62)
2003	6.74(5.01)	8.51(6.4)	11.89(7.89)
2005	4.61(5.37)	8.05(7.52)	12.91(11.27)
2007	2.43(2.1)	9.54(7.57)	24.26(29.2)
2009	5.52(7.12)	10.48(4.75)	11.27(8.46)
2011	2.48(2.5)	9.23(7.11)	7.13(4.13)
2013	3.85(4.62)	9.25(3.95)	14.42(13.98)
2014	6.88(8.85)	9.94(8.67)	12.13(13.6)
2015	3.31(2.49)	5.35(4.24)	7.35(7.1)
2016	5.27(7.13)	5.06(3.63)	5.11(6.34)
2017	3.95(5.09)	5.92(6.62)	4.99(5.27)

2009 (Figure 8). Les âges 1 sont stables depuis 2005 avec 0.05(0.03) anguille.m⁻² mais avec des densités très faibles par rapport à la période 1998-2001 (0.31 anguille.m⁻² en moyenne). Pour les âges 2 à 4+, il y a une baisse progressive des densités à partir de 2003. En 2011, les densités par classe d'âge hors âge 0 sont très homogènes avec 0.04(0.02) à 0.05(0.03) anguille.m⁻² (Tableau 8, Figure 14 en annexe). L'année 2013 conserve des densités du même ordre pour les âges 3 et 4+ 0.05(0.02), mais les densités augmentent pour les âges 0 0.02(0.02), 1 0.09(0.06) et 2 0.06(0.03). La

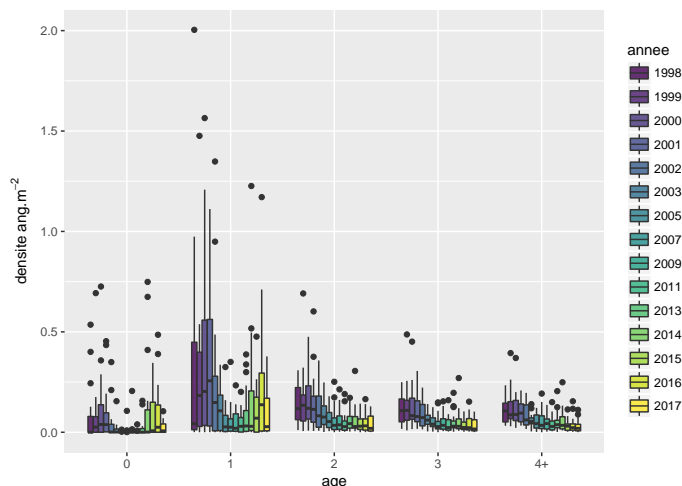


FIGURE 8: Tendence des densités en fonction de l'âge des anguilles (reconstituée à l'aide d'une clé taille âge) pour les pêches électriques de 1998 à 2017 Attention les pêches électriques ont eu lieu tous les ans de 1998 à 2003, tous les 2 ans de 2003 à 2013 avant de reprendre à une fréquence annuelle.

clé taille-âge utilisée doit être considérée avec précaution car il n'y a pas eu de vérification des données de croissance.

2.4. Marquages recaptures

Les recaptures et marquages effectués de 2009 à 2013 sont indiqués au Tableau 5. Les croissances des anguilles mar-

Tableau 5: marquage et recaptures

	lecture	pose
2009	13	86
2011	20	64
2013	21	69
2014	24	73
2015	22	39
2016	10	44
2017	9	37

quées sont assez faibles avec en moyenne 19.0 mm par an. Certaines anguilles n'ont pas grandi du tout alors que d'autres ont gagné 60 mm (Figures 9 et 10). En excluant les anguilles ayant perdu du poids entre deux opérations de marquage (11 anguilles sur 87), les croissances s'établissent à 21.6 mm.

Le taux de recapture des anguilles est de 28 %.

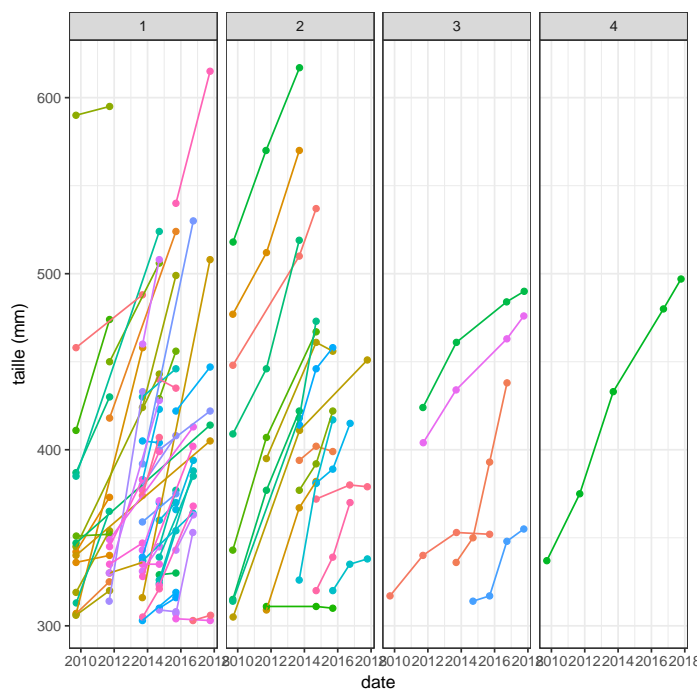


FIGURE 9: Evolution de la taille des anguilles marquées, en fonction du nombre de recaptures.

Il est possible qu'un effet "marquage" apparaisse chez certaines anguilles avec des croissances plus faibles pour certains individus lors des deux premières années (Figure 11)

La croissance est très variable mais il est difficile de trouver un facteur expliquant clairement la variation observée. Il y a un effet station significatif avec des croissances plus fortes pour certaines stations (Figure 12), mais la distance n'est pas significative quand on la teste seule. Par contre, ni le délai en années après le marquage, ni la taille de départ au marquage, ni la zone (en grande classe de distance) ne sont significatives dans l'analyse de variance du modèle (Tableau 6).

	LR Chisq	Df	Pr(>Chisq)
station	58.67	14	0.0000
taille0	0.04	1	0.8362
annees	0.01	1	0.9031

Tableau 6: Test statistique (Anova) des variables du modèle croissance annuelle ~ station + taille0 + annees, ou annees représente le nombre d'années entre le marquage et la recapture, station la station de pêche, et taille0 la taille des anguilles au moment du marquage

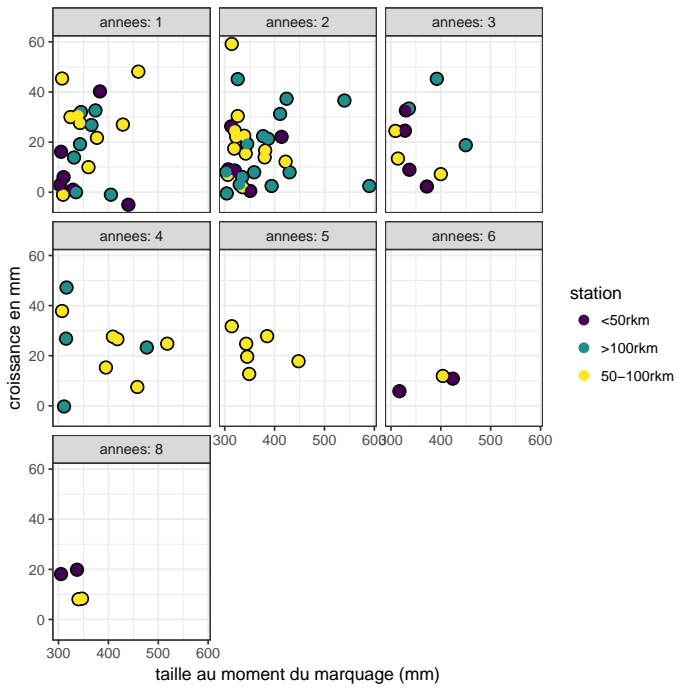


FIGURE 10: Croissance annuelle des anguilles marquées en fonction du nombre d'année en le marquage et la recapture.

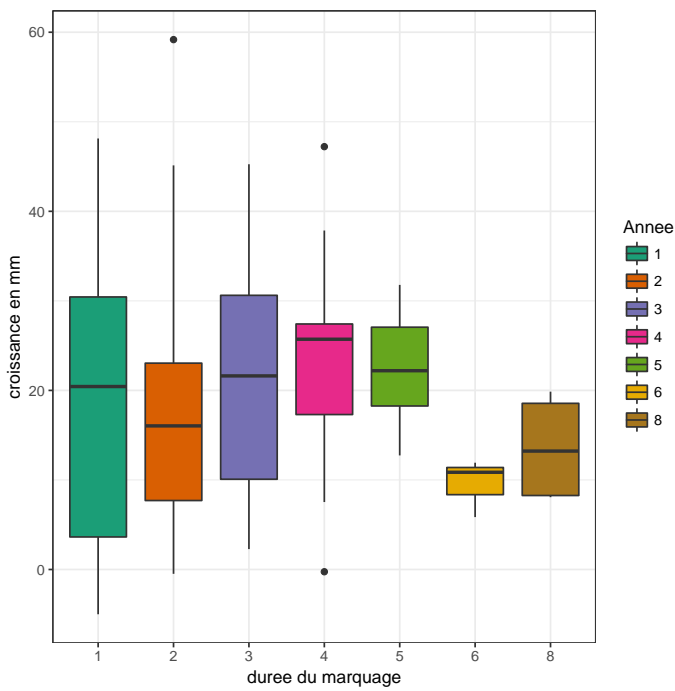


FIGURE 11: Croissance annuelle des anguilles marquées en fonction de la durée du marquage.

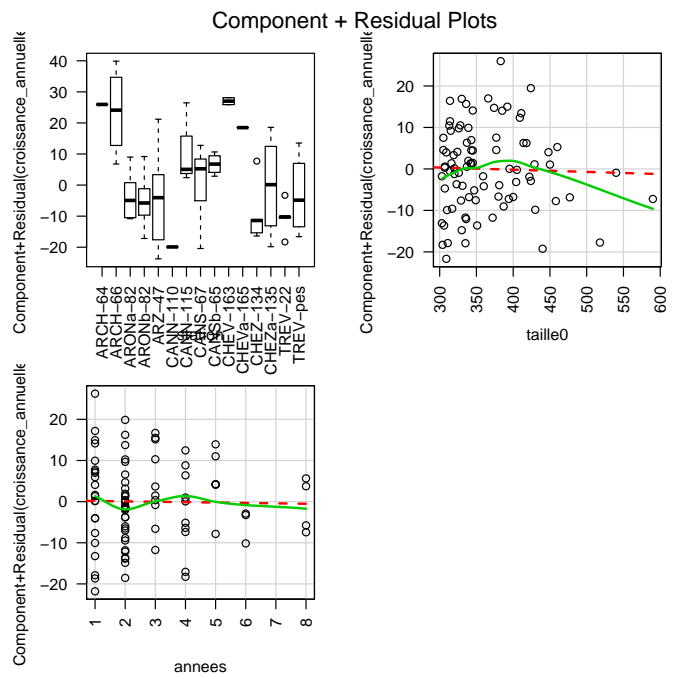


FIGURE 12: Graphique de composant et résidus (CR plot) du modèle glm croissance année + station + taille0, où annees représente le nombre d'années entre le marquage et la recapture, taille0 la taille au moment du marquage, et station la station de pêche. Ce graphique indique quelle est la moyenne des tendances (ligne verte) et l'effet ajusté (ligne rouge). Il permet de détecter des effets non linéaires (ici il n'y en a pas, l'écart de la ligne verte sur les plus grandes durées entre le marquage et la recapture (effet année) traduit surtout le manque de points). Il montre aussi les résidus par station de pêche, on constate que le modèle cale des moyennes différentes entre stations, mais aussi que la variabilité des croissance est différente entre les stations.

3. Discussion

Les densités moyennes, qui étaient passées, depuis 2005, en dessous de la cible de $0.3 \text{ anguille.m}^{-2}$ affichée dans le plan de gestion, sont remontées au dessus de cette cible à partir de 2015 puis ont chuté de nouveau en 2017 (Figure 4, Tableau 2).

Les biomasses d'anguilles sont par contre en chute continue sur les secteurs intermédiaires et amont, et en aval elles n'augmentent que faiblement et sont loin des valeurs observées entre 1998 et 2002 (Figures 5 et 7).

Les densités de 2017 sont en rupture marquées par rapport à celles de 2016 ce qui laisse suspecter un effet de l'étiage sévère sur certaines stations aval, où les recaptures ont été très faibles (ruisseau de la Bouloterie, Canut Nord et Arzal, ruisseau des Arches proches de la rupture d'écoulement).

Si on écarte cette année sur laquelle on peut douter en l'absence de série continue, l'examen des densités 2011-2016 sur la partie aval et intermédiaire restent de toutes façons bien en deçà des valeurs de 1998 à 2012 alors que les recrutements fluviaux de civelles ont été plus importants. L'analyse de la fréquence en âge des captures montre bien qu'il y a eu des vagues de migration de jeunes anguilles, mais cette augmentation ponctuelle ne se retrouve que très peu par la suite dans les densités d'anguilles d'âge 2 et 3 (Figure 8).

Il est difficile d'expliquer les résultats obtenus. L'hypothèse selon laquelle il puisse y avoir un effet plus faible de la gestion par des effets densités dépendants est contredite par l'examen des biomasses d'anguilles des stations qui sont bien plus faibles qu'en 1998-2002, ainsi que par les densités d'anguilles d'âge 2, 3 et 4 qui sont inférieures à celles de la période 1998-2000 et ce quels que soient les secteurs.

Une explication possible des mauvais résultats observés peut être donnée par la mauvaise survie de certains lots de civelles transportées, par exemple pour la cohorte de 2011 (Mazel et al., 2011). L'absence d'effet détectable des opérations de transport sur les densités observées en pêche électriques avaient déjà été analysée et discutée dans Briand et Sauvaget (2011). Il faut également constater que la gestion par quota a produit 3 années sur 7 entre 2009 et 2016 un recrutement fluvial négligeable au niveau des passes d'Arzal. L'absence de recrues pour ces années n'est probablement pas compensée par les montées importantes des autres années. Il est possible que de grosses vagues de migration de civelles subissent une mortalité plus importante que des passages continus. Il est possible également que les anguilles transportées ne se dirigent pas vers les affluents.

Dans les faits, le transport de civelles à proximité d'affluents se traduit dans certains cas par des augmentations

ponctuelles des densités, dans d'autres cas ils ne sont pas détectables, et dans tous les cas ces augmentations ne compensent pas la baisse historique enregistrée sur les abondances d'anguilles jaunes.

- Vilaine aval 2011, 2012, 2013 \iff Augmentation ponctuelle de Trévelo, Arzal et Marzan - bien en deçà des valeurs des années 1990.
- Oust et Aff 2014 \iff Arz (augmentation 2014) et Arches (pas d'effet)
- Vilaine entre Guipry et Molière 2015 \iff Canut Nord, Arches (pas d'effet).
- Vilaine entre Bourg des Comptes et Champcours 2016 \iff Canut Nord (pas d'effet).
- Vilaine confluence Oust à Malon 2017 \iff Canut Sud (pas d'effet - problème migratoire?) et Aron (augmentation en 2016...).

Il reste évidemment possible que des effets locaux jouent sur les densités d'anguilles des rivières échantillonnées, et que l'absence d'augmentation de densité soit par exemple due à des accessibilités migratoires diminuées, mais les éléments à notre disposition indiquent plutôt une transparence migratoire accrue à l'échelle des bassins, et les différentes rivières de l'aval du bassin semblent donner un signal globalement cohérent.

La croissance mesurée par pit tag est faible, de l'ordre de 20 mm par an. Comme elle est dérivée de données de marquages pit tag, elle ne concerne que des anguilles de taille supérieure à 30 cm. La durée entre le marquage et la recapture n'explique pas la variation de croissance annuelle (Figure 12). La taille au moment du marquage n'explique pas non plus la croissance. Il est difficile d'analyser les croissances des grandes anguilles car seules trois anguilles marquées de plus de 500 mm ont été recapturées.

Il est possible que les anguilles à croissance plus rapide soient déjà parties du bassin. Les croissances moyennes calculées pour les femelles à partir du modèle de Daverat et al. (2011) sont de 75, 60 et 38 mm par an pour les âges 5, 10 et 20³. Ces valeurs indiquent des croissances beaucoup plus fortes que celles trouvées sur les stations de la Vilaine. Cependant, les croissances annuelles calculées par le modèle de Von Bertalanffy sur la Chèze en 1990 (Mounaix, 1992) sont seulement de 5-10 mm par an pour les anguilles de plus de 5 an. De même, les résultats obtenus sur le Seucate (petit affluent sur le bassin de la Dordogne) montrent que les croissances passent de 50 mm par an en milieu fluvial large à 20 mm par an sur les affluents (Daverat, com. pers.).

Il existe un effet station très net dans les croissances avec des croissances fortes observées sur le ruisseau des Arches, le Canut Nord et le Chevré, c'est à dire les secteurs les plus amont où les densités sont les plus faibles. Pour autant, la prise en compte de la distance à la mer dans le modèle n'est pas significative, car la tendance ne suit pas strictement

3. coefficients du modèle, TempSUP13=79,Ratiodistsea<-0.75

une augmentation linéaire des croissances en fonction de la distance.

Dans tous les cas, on trouve à la fois des anguilles à croissance faible et des anguilles à croissance rapide sur les mêmes stations. Pour une anguille, une croissance négative de 5 mm a été calculée, cette anguille a également perdu beaucoup de poids. Une autre anguille a perdu 5 mm en un an après grandi les trois années précédentes.

En utilisant les données de croissance des affluents, l'âge des anguilles est probablement de l'ordre de 20 ans, alors qu'il ne serait que de 12 ans sur les zones fluviales larges où la croissance est forte (de l'ordre de 50 mm par an).

Le MNHN a analysé les otolithes de 50 anguilles argentées capturées à Brain sur Vilaine en janvier 2016, et donne des âges compris entre 6 et 23.5 années avec une moyenne de 12 ans⁴. Les croissances mesurées varient entre 30 et 84 mm par an, soit une croissance beaucoup plus forte que celle mesurée dans les affluents en marquage recapture. Dans le lot d'anguilles capturées, la majorité présente des âges de 7 à 15 ans plus conforme avec la croissance de 50 mm par an décrite par Daverat.

Le fort pourcentage de recapture (28 %) est à noter. Il indique que les anguilles de plus de 30 cm sont globalement sédentaires.

4. Conclusion

Les secteurs prospectés en pêche électrique, en général plutôt des petites rivières de faible profondeur sont caractérisés par des anguilles dont la croissance est faible, particulièrement sur l'aval du bassin, alors que l'examen des anguilles capturées sur les parties aval et profonds du bassin versant montre des anguilles de croissance plus importante, probablement ayant des traits de vie différents. Sur ces affluents, les biomasses d'anguille sont en chute continue depuis 1998 et les transports de civelles et les augmentations massives de recrutement sur les passes certaines années ne parviennent pas à enrayer cette baisse ni à ramener de manière durable les densités aux niveaux observés entre 1998 et 2002. Il est à noter que globalement, les densités sont cohérentes dans leur tendance d'une année sur l'autre et qu'en conséquence les tendances obtenues sont assez crédibles, elles sont par ailleurs généralement reflétées d'un affluent à l'autre. Il est possible que les dynamiques de croissance, colonisation et mortalité d'un bassin saturé et de la situation "vide" d'avant l'installation des passes engendrent des dynamiques de populations différentes, mais

les biomasses, et les densités beaucoup plus faibles d'anguilles de grande taille sur nos stations met en doute cette hypothèse. Compte tenu des tendances observées, il est peu probable que la gestion actuelle de l'anguille sur la Vilaine conduise à des augmentations notables des productions d'anguilles argentées dans les années à venir. Cette constatation devrait nous conduire à chercher à analyser plus en détail les causes de l'absence d'effet du recrutement fluvial, à la fois sur les passes d'Arzal et dans les opérations de transport, et peut être au-delà dans les conditions d'accueil du bassin. Parmi les pistes d'exploration possible, les conditions de survie des vagues de civelles sont peut être bien différentes entre des recrues d'avril et celles montant de janvier à mars.

Remerciements

Les pêches électriques ont été effectuées par les services départementaux 35 et 56 de l'AFB, nous les remercions pour leur accueil et la qualité technique de leur travail. Nous remercions également les différents participants qui nous ont aidé à effectuer les pêches.

4. Attention, ces résultats doivent être revus à la baisse avec la réinterprétation des stries contenues dans une bande sombre au centre de l'otolithe de certaines anguilles, mais les changements resteront marginaux.

Références

- 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. thèse de doctorat (Ph.D.), Agrocampus Ouest.
- Briand, C. 2013. stacomirtools : stacomir ODBC connection class. R package version 0.3.
- Briand, C., Fatin, D., Fontenelle, G., et Feunteun, E. 2006. Effect of re-opening of a migratory axis for eel at a watershed scale (vilaine river, southern brittany). Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture **378** : 67 :86.
- Briand, C. et Sauvaget, B. 2011. Analyse des tendances de stock d'anguilles jaunes du bassin versant de la vilaine par pêches électriques. Rapport technique, Institution d'Aménagement de la Vilaine, La Roche Bernard.
- Briand, C., Sauvaget, B., et Eriau, G. 2017. Gestion de l'anguille sur le bassin versant de la vilaine en 2016. Rapport technique, EPTB Vilaine.
- Carle, F. et Strub, M. 1978. A new method for estimating population size from removal data. Biometrics **34** : 621–630.
- Dahl, D. 2013. xtable : Export tables to LaTeX or HTML. R package version 1.7-1.
- Daverat, F., Beaulaton, L., Poole, R., Lambert, P., Wickström, H., Andersson, J., Aprahamian, M., Hizem, B., Elie, P., Yalçin-Özdilek, S. et al. 2011. One century of eel growth : changes and implications. Ecology of Freshwater Fish .
- Fox, J. et Weisberg, S. 2011. An R Companion to Applied Regression. Sage, second edition.
- Hlavac, M. 2013. stargazer : LaTeX code and ASCII text for well-formatted regression and summary statistics tables. Harvard University, Cambridge, USA. R package version 4.5.3.
- Mazel, V., Charrier, F., Troger, F., Kneabel, B., Caraguel, J., et Legault, A. 2011. Opération d'alevinage d'un lot de civelle sur les marais de vilaine (déversement mars 2011). Rapport technique.
- Mounaix, B. 1992. Intercalibration et validation des méthodes d'estimation de l'âge de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.). Application au bassin versant de la Vilaine, Bretagne. Thèse ingénieur, Ecole nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- Ogle, D. 2013. FSA : Fisheries Stock Analysis. R package version 0.4.1.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., et R Core Team 2013. nlme : Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-109.
- Zuur, A., I., N., W., A., S., et G., S. 2009. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology With R. Springer.

5. Annexes

Tableau 7: Résultats de la régression, comparaison des modèles, (1) modèle linéaire $\log(D) \approx a + s + m + \epsilon$ avec $\epsilon_s = N(0, \sigma^2)$, (2) meilleur modèle (mixte) $\log(D) \approx a + s + m + \epsilon_s$ avec $\epsilon_s = N(0, \sigma_s^2)$ $s = 1, \dots, 19$, (3) $\log(D) \approx s + m + \epsilon_s$, (4) $\log(D) \approx a + s + \epsilon_s$

	<i>Dependent variable :</i>			
	log(densCS)			
	(1)	(2)	(3)	(4)
stationARCH-66	0.171 (0.290)	0.169 (0.337)	0.151 (0.426)	0.179 (0.338)
stationARONa-82	1.571*** (0.291)	1.587*** (0.301)	1.679*** (0.405)	1.794*** (0.319)
stationARONb-82	1.959*** (0.296)	1.975*** (0.260)	2.002*** (0.351)	2.189*** (0.273)
stationARZ-44	1.754*** (0.285)	1.749*** (0.384)	1.717*** (0.480)	1.763*** (0.385)
stationARZ-47	2.317*** (0.285)	2.312*** (0.292)	2.280*** (0.369)	2.327*** (0.300)
stationARZA-4	2.220*** (0.285)	2.211*** (0.272)	2.156*** (0.385)	2.186*** (0.270)
stationCANN-110	0.452 (0.291)	0.472 (0.338)	0.551 (0.412)	0.680* (0.357)
stationCANN-115	0.514* (0.291)	0.534* (0.314)	0.613 (0.423)	0.742** (0.335)
stationCANS-67	1.745*** (0.291)	1.765*** (0.278)	1.843*** (0.321)	1.972*** (0.271)
stationCANSb-65	2.310*** (0.291)	2.330*** (0.260)	2.409*** (0.362)	2.537*** (0.258)
stationCHEV-163	0.229 (0.287)	0.239 (0.288)	0.273 (0.363)	0.369 (0.327)
stationCHEVa-165	0.103 (0.287)	0.113 (0.286)	0.147 (0.348)	0.243 (0.311)
stationCHEZ-134	0.011 (0.294)	0.032 (0.305)	0.127 (0.363)	0.197 (0.303)
stationCHEZa-135	1.568*** (0.289)	1.583*** (0.271)	1.639*** (0.331)	1.752*** (0.282)
stationMARZ-13	0.586** (0.285)	0.586** (0.271)	0.576 (0.383)	0.639** (0.283)
stationTREV-22	1.664*** (0.285)	1.659*** (0.307)	1.627*** (0.415)	1.673*** (0.308)
stationTREV-bou	0.744*** (0.285)	0.744* (0.400)	0.734 (0.491)	0.797* (0.408)
stationTREV-pes	1.715*** (0.285)	1.710*** (0.272)	1.678*** (0.358)	1.725*** (0.288)
annee1999	0.196 (0.258)	0.299 (0.216)		0.142 (0.210)
annee2000	0.146 (0.253)	0.194 (0.217)		0.213 (0.214)
annee2001	0.377 (0.258)	0.367* (0.214)		0.115 (0.210)
annee2002	-0.056 (0.258)	0.019 (0.214)		-0.233 (0.210)
annee2003	-0.389 (0.258)	-0.388* (0.214)		-0.639*** (0.210)
annee2005	-0.836*** (0.258)	-0.813*** (0.214)		-1.140*** (0.210)
annee2007	-1.294*** (0.254)	-0.998*** (0.212)		-0.974*** (0.210)
annee2009	-1.143*** (0.254)	-0.972*** (0.212)		-0.973*** (0.210)
annee2011	-1.499*** (0.254)	-1.304*** (0.212)		-1.242*** (0.210)
annee2013	-1.001*** (0.254)	-0.888*** (0.212)		-0.867*** (0.210)
annee2014	-0.750*** (0.254)	-0.698*** (0.212)		-0.610*** (0.210)
annee2015	-1.090*** (0.254)	-0.935*** (0.212)		-0.898*** (0.210)
annee2016	-1.028*** (0.257)	-0.858*** (0.213)		-0.783*** (0.211)
annee2017	-0.891*** (0.295)	-0.766*** (0.250)		-1.420*** (0.214)
mois2oct_nov	-0.653*** (0.165)	-0.579** (0.145)	-0.246** (0.123)	
Constant	-1.824*** (0.274)	-1.950*** (0.276)	-2.567*** (0.309)	-2.091*** (0.280)
Observations	281	281	281	281
Log Likelihood	-331.126	-309.525	-355.384	-314.049
Akaike Inf. Crit.	732.252	725.049	788.768	732.099
Bayesian Inf. Crit.	855.081	911.047	927.784	914.797

Note :

*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

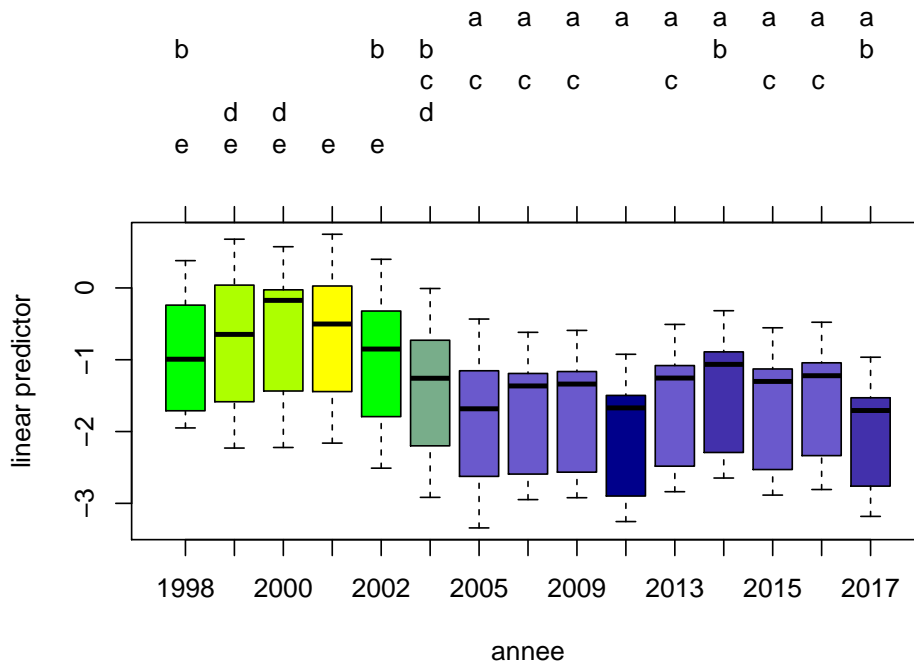


FIGURE 13: Classement des densités en fonction des années, test Post hoc de Tukey sur le modèle $\log(dens) \sim a + s + \epsilon(ss)$, avec $\epsilon(s) \sim N(0, \sigma_s^2)$ a=année, s=stations, groupes classés au seuil de 0.05, données log transformées.

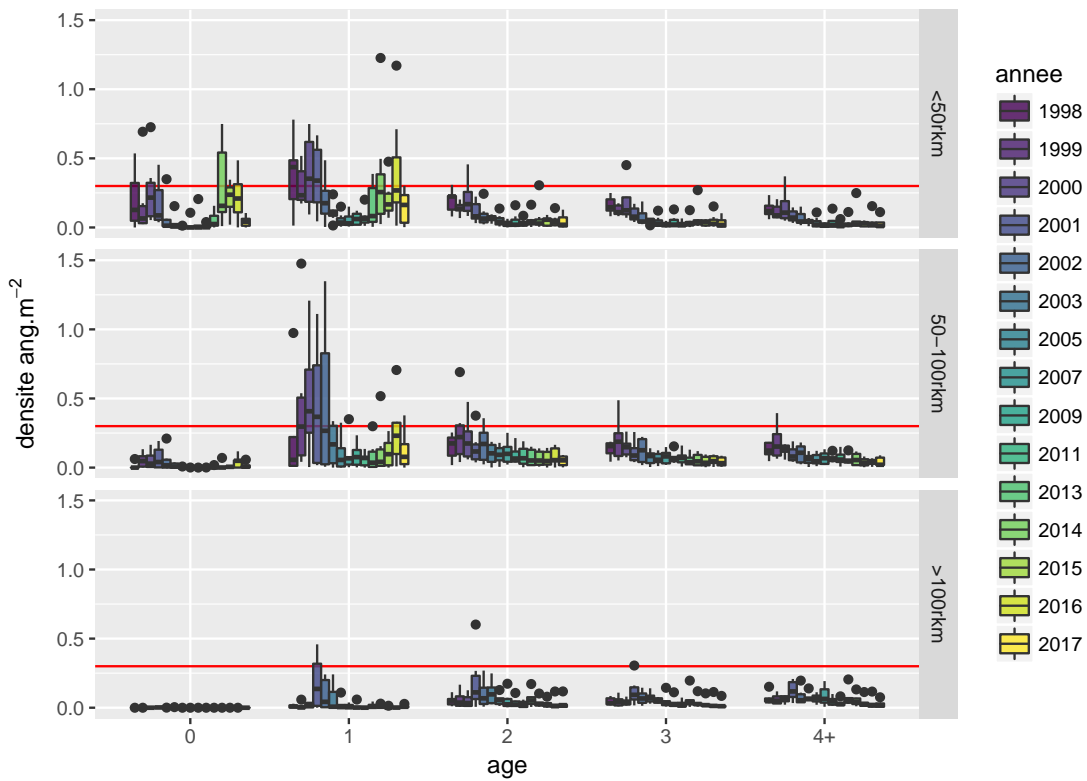


FIGURE 14: Tendence des densités en fonction de l'âge des anguilles (reconstituée à l'aide d'une clé taille âge) et la distance à la mer pour les pêches électriques de 1998 à 2013. La courbe en rouge indique le seuil du plan de gestion

Tableau 8: Densité moyennes en anguilles (en anguille.m⁻²) en fonction de la distance à la mer et de l'âge + - intervalles de confiance à 0.05.

annee	0	1	2	3	4+
1998	0.08(0.08)	0.31(0.26)	0.13(0.05)	0.11(0.04)	0.11(0.03)
1999	0.08(0.08)	0.26(0.17)	0.15(0.07)	0.13(0.05)	0.12(0.04)
2000	0.11(0.09)	0.37(0.22)	0.16(0.07)	0.13(0.05)	0.12(0.04)
2001	0.09(0.07)	0.33(0.16)	0.15(0.07)	0.11(0.04)	0.1(0.03)
2002	0.04(0.04)	0.25(0.17)	0.12(0.05)	0.09(0.03)	0.08(0.03)
2003	0.02(0.02)	0.12(0.05)	0.09(0.03)	0.06(0.02)	0.06(0.02)
2005	0(0)	0.06(0.04)	0.07(0.03)	0.05(0.02)	0.05(0.02)
2007	0.01(0.01)	0.05(0.04)	0.06(0.03)	0.05(0.02)	0.05(0.03)
2009	0.01(0.02)	0.05(0.03)	0.06(0.03)	0.05(0.02)	0.05(0.02)
2011	0(0)	0.05(0.03)	0.05(0.02)	0.04(0.02)	0.04(0.02)
2013	0.02(0.02)	0.09(0.06)	0.06(0.03)	0.05(0.02)	0.05(0.02)
2014	0.12(0.11)	0.17(0.15)	0.06(0.03)	0.05(0.03)	0.06(0.03)
2015	0.08(0.06)	0.11(0.06)	0.05(0.02)	0.04(0.02)	0.03(0.01)
2016	0.1(0.07)	0.23(0.16)	0.05(0.03)	0.04(0.02)	0.04(0.02)
2017	0.02(0.02)	0.1(0.06)	0.04(0.02)	0.03(0.02)	0.03(0.02)

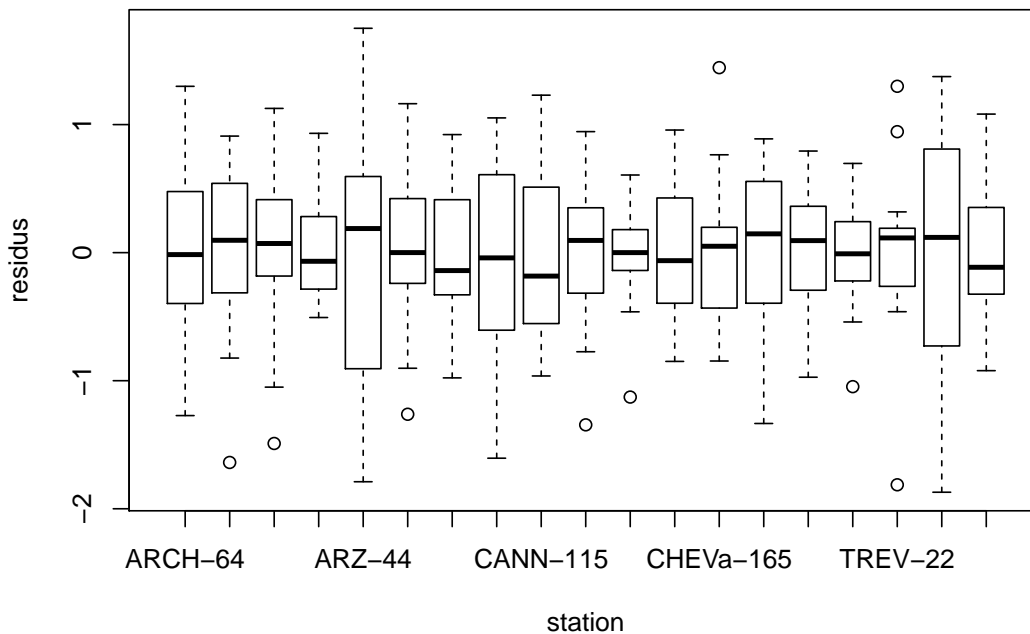


FIGURE 15: Résidus du modèle $\log(dens) \sim a + s + m\epsilon$, avec $\epsilon(s) \sim N(0, \sigma^2)$ a=année, s=stations, m = mois. Le graphique montre l'hétéroscasticité (variances différentes) des résidus en fonction des stations.

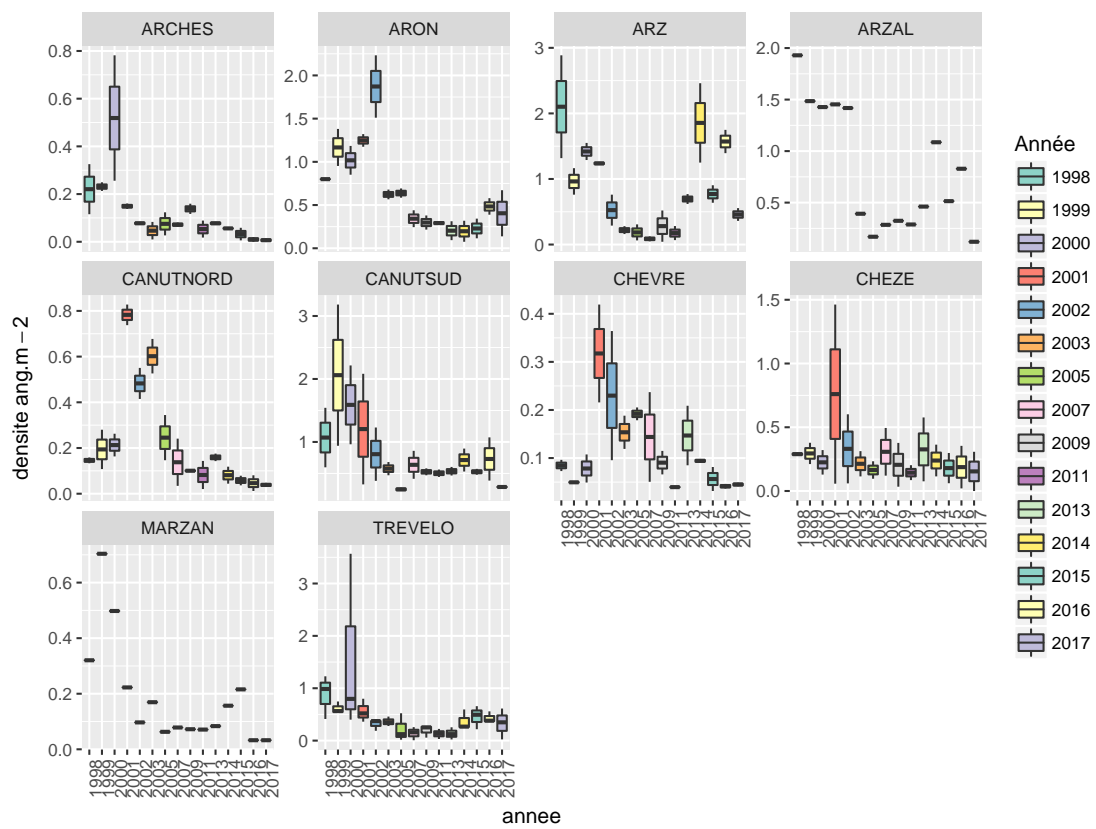


FIGURE 16: Tendence des densités sur les différentes rivières du bassin versant de la Vilaine.

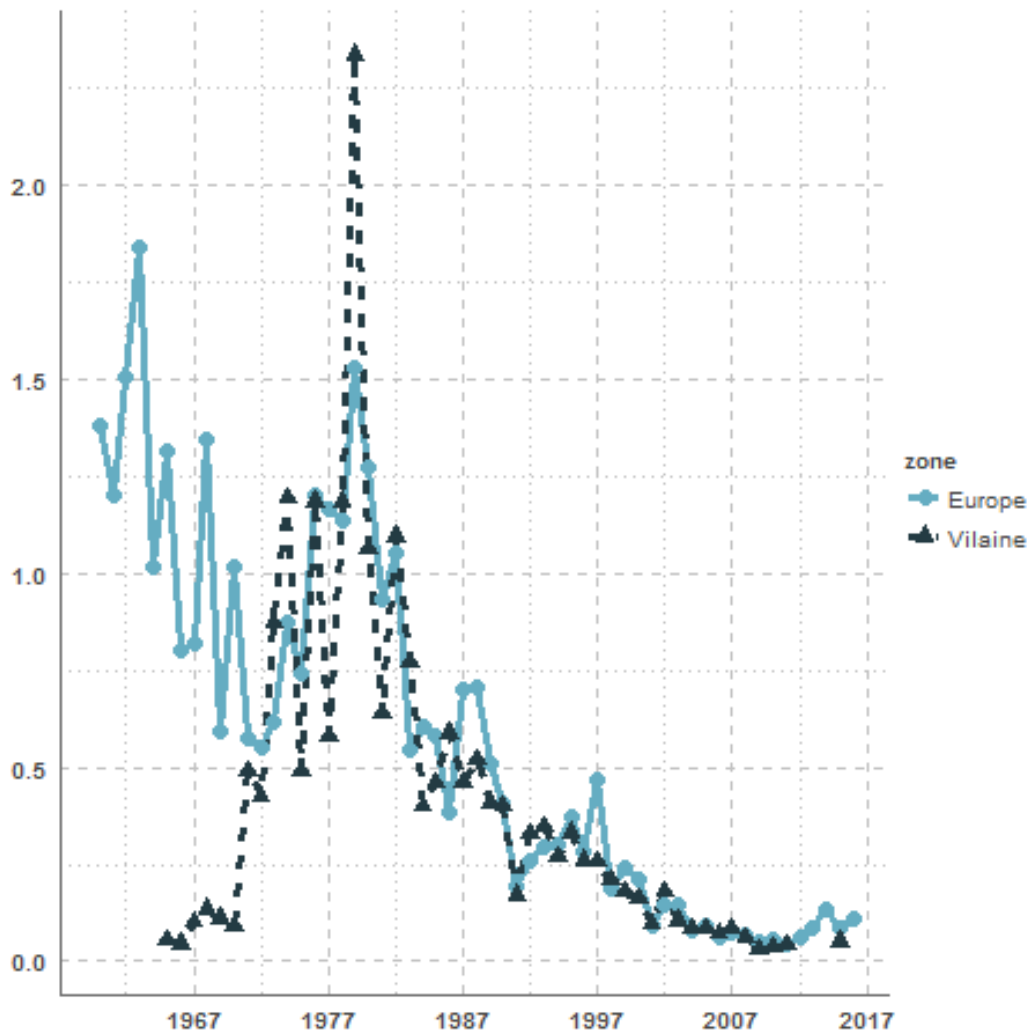


FIGURE 17: Indice de recrutement européen du WGEEL : moyenne géométrique des prédictions de recrutement (GLM) pour tous les sites en dehors de la mer du nord jusqu'à 2017. Le modèle GLM ($recruit \sim area : year + site$) est calé sur les séries de recrutement européenne comprenant soit des civelles 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.