

Suivi de l'anguille jaune (*Anguilla anguilla*, L.) en pêche électrique sur le bassin de la Vilaine de 1998 à 2015 : un effet à court terme des mesures de l'augmentation des civelles sur l'aval du bassin ?

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

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

Résumé

Les abondances d'anguilles (*Anguilla anguilla*) ont été suivies sur le bassin versant de la Vilaine par pêche électriques. Les stations de pêche localisées sur des affluents de petite taille à des distances croissantes de l'estuaire, ont été suivies annuellement de 1998 à 2003, puis tous les deux ans jusqu'en 2013. Les densités d'anguilles ont diminué significativement à partir de 2003 jusqu'à un niveau minimum en 2011. Elles augmentent légèrement en 2013, notamment pour les âges 0 à 2. Cette légèrement augmentation montre que l'effet de l'augmentation du recrutement fluvial et des transports de civelles à partir de 2011 n'est pas encore perceptible sur les affluents à l'aval de la Vilaine.

Abstract

The abundance of eels (*Anguilla anguilla*) has been monitored in the Vilaine watershed with electrofishing. The electrofishing stations, located in small tributaries of the Vilaine at increasing distances from the estuary, have been monitored annually from 1998 to 2003 and then every two years till 2013. Eel densities have decreased significantly from 2003 to a minimum level in 2011. They have increased slightly in 2013, especially for age 0 to 2. This slight increase shows that the increase in fluvial recruitment and glass eel transport operations, initiated in 2011, have not yet had a perceptible effect on the tributary downstream in the Vilaine watershed.

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

Sommaire :

1 Matériel et méthodes	1
1.1 Méthode de pêche	1
1.2 Traitement des données	2
1.3 Analyses statistiques	2
1.4 Marquage recapture des anguilles	2
2 Résultats	3
2.1 Recrutement estuarien	3
2.2 Recrutement fluvial	3
2.3 Tendances de la population d'anguille	3
2.4 Marquages recaptures	5
3 Discussion	6
4 Annexes	9

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.

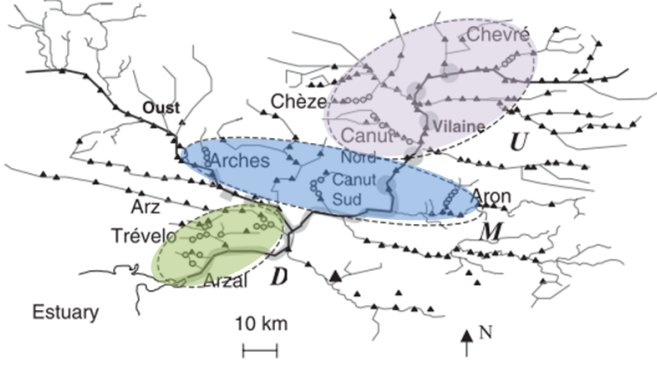


FIGURE 1: Vue schématique du bassin de la Vilaine, les trois zones colorées correspondent aux trois classes de distance de l'estuaire.

1.1. Méthode de pêche

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 et est depuis prospectée tous les 2 ans (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 au fait que ce soient les mêmes équipes qui pêchent 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 60cm 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 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 and 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 signification 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. 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 ont été testées pour le marquage.

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. 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 a partir de 2010.

Tableau 1: Série de captures de la pêcherie professionnelle en Vilaine. A partir de 2010, l'introduction des quotas a modifié la série de données.

Annee	Capt (t)	Annee	Capt (t)	Annee	Capt (t)
1981	57.0	2003	8.9	2009	2.6
1998	17.5	2004	7.0	2010	3
1999	15.3	2005	6.8	2011	3.9
2000	14.2	2006	6.1	2012	2.99
2001	8.2	2007	6.9	2013	2.1
2002	15.8	2008	4.2		

2.2. Recrutement fluvial

Le recrutement fluvial vers le bassin versant est composé majoritairement du stade civelle, variant annuellement de 0.054 en 2010 à 7.547 millions de civelle par an en 2013. Le nombre d'anguilles jaunes comptées sur les passes a varié de 851 à 144 992 entre la plus mauvaise année 2005 et la meilleure 2013 (Figure 2). Entre 2000 et 2005, les captures lors des pêches expérimentales ont lissé la chute du recrutement fluvial sans la compenser pleinement (Figure 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). La baisse de la migration de civelles entre 2009 et 2011 est la conséquence de la fermeture tardive de la saison de pêche professionnelle et de l'augmentation ponctuelle des taux d'exploitation (en rouge sur la figure 2). Enfin, à partir de 2012, l'augmentation du recrutement fluvial est la conséquence de l'augmentation du recrutement global (Figure 15), des transports, de la diminution forte de la pêche, et des manoeuvres d'écluse au barrage d'Arzal.

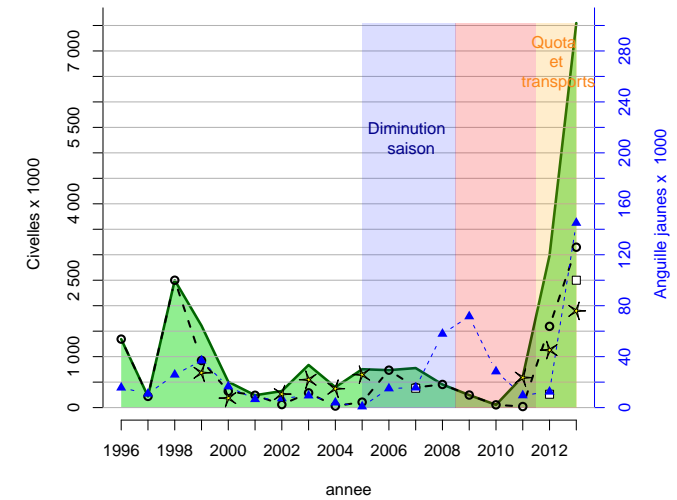


FIGURE 2: Migrations d'anguilles jaunes (--Δ--) et de civelles (-o-) sur la passe au barrage d'Arzal, civelles pêchées et transportées (★) et estimation de la migration de civelles lors des manoeuvres d'écluse entre 1996 et 2011 (□). En vert, somme du recrutement fluvial.

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 0.72 (+0.37) anguille.m⁻² en 1998 à 0.73 (+0.35) 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 légèrement à 0.28 (+0.11) anguille.m⁻² en 2013 (Tableau 2 et Figure 3). ¹. L'examen des résidus du modèle glm (1)

1. Attention dans la lecture du graphique, les pêches électriques ont eu lieu tous les ans de 1998 à 2003, puis tous les 2 ans ensuite. L'axe des abscisses des figures ne tient pas compte de ce changement d'échelle.

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 2015. Les intervalles de confiance (IC) sont à 0.05.

Nb	annee	D	IC D	Φ	IC Φ	B_e	IC B_e
19	1998	0.72	0.37	0.51	0.07	16.50	4.35
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	0.21	0.08	0.72	0.10	11.37	8.62
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

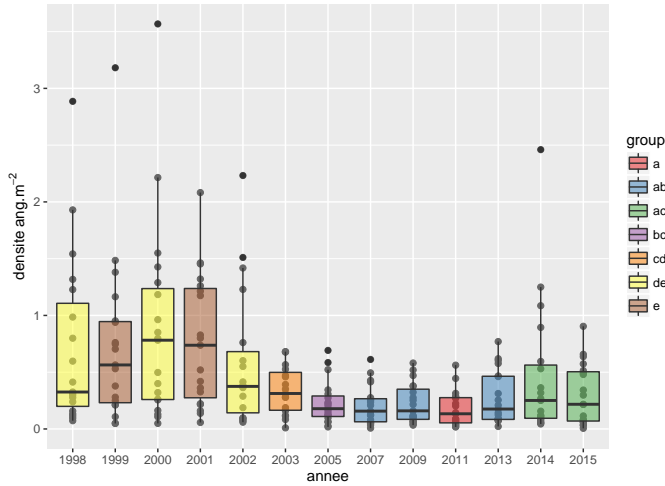


FIGURE 3: Classement des densités en fonction des années, test Post hoc de Tukey sur le modèle $\log(dens) \sim a + s + \epsilon(ss)$, avec $\epsilon(s) \sim N(0, \sigma_s^2)$ a=année, s=stations, groupes classés au seuil de 0.05, données log transformées.

$\log(D) \approx a + s + m + \epsilon_s$ (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 13 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 6) 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 6 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 3 et 11 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).

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 16.5 (+4.35) et 18.97 (+6.64) g.m⁻² puis en chute marquée de 2005 jusqu'en 2011 à 6.08 (+2.56) g.m⁻² et une légère augmentation en 2013 8.9 (+4.36) g.m⁻² (Tableau 2 et Figure 4). Le

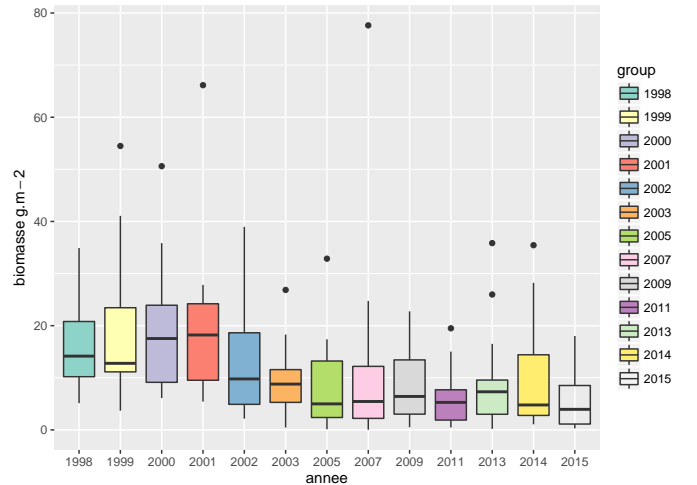


FIGURE 4: Evolution des biomasses d'anguilles en fonction de l'année.

déclin en densité intervient pour toutes les catégories de

2. Ce modèle n'est pas présenté ici

distance à la mer mais semble intervenir plus précocément lorsqu'on se rapproche de l'estuaire (Figure 5, Tableau 3).

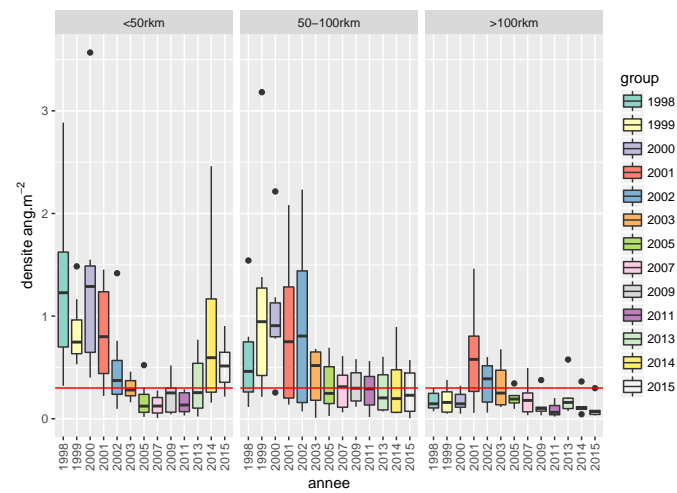


FIGURE 5: Densités moyennes d’anguilles par classe de distance pour les pêches électriques de 1998 à 2013. L’axe rouge représente le seuil fixé actuellement dans le plan de gestion (0.3 anguille.m⁻²). Les barres d’erreur correspondent aux données comprises dans 1.5 fois l’écart interquartile. Attention les pêches électriques ont eu lieu tous les ans de 1998 à 2003, puis tous les 2 ans ensuite.

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)	0.6(0.55)	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	0.13(0.1)	0.3(0.23)	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)

Comme pour les densités, la chute des biomasses est d’autant moins marquée que l’on s’éloigne du barrage d’Arzal (Figure 6, 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 2009 (Figure 7). 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 7 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

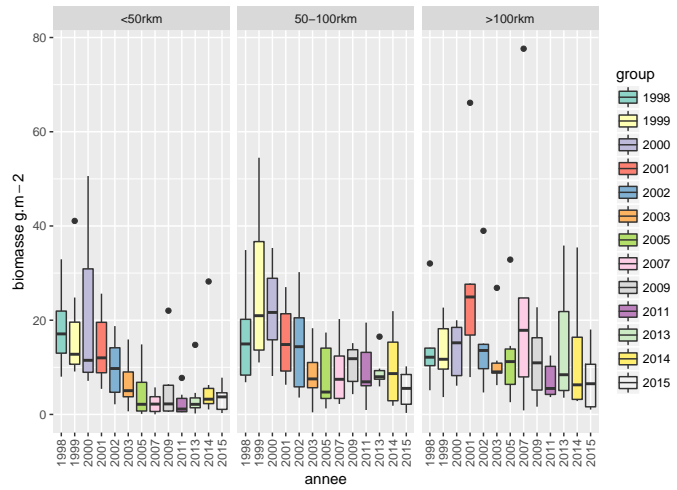


FIGURE 6: Biomasses moyennes d’anguilles par classe de distance pour les pêches électriques de 1998 à 2011. Les barres d’erreur correspondent aux données comprises dans 1.5 fois l’écart interquartile. Attention les pêches électriques ont eu lieu tous les ans de 1998 à 2003, puis tous les 2 ans ensuite.

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)	16.62(11.12)	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	2.39(2.1)	8.91(7.33)	24.32(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)

âges 0 0.02(0.02), 1 0.09(0.06) et 2 0.06(0.03). La clé taille-

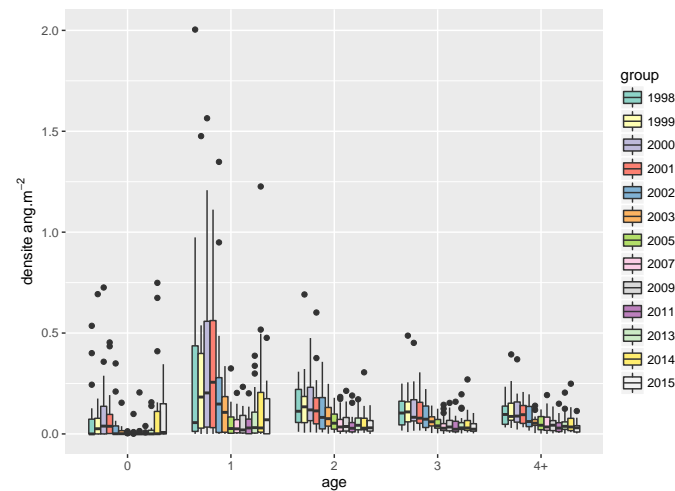


FIGURE 7: Tendence des densités en fonction de l'âge des anguilles (reconstituée à l'aide d'une clé taille âge) pour les pêches électriques de 1998 à 2013 Attention les pêches électriques ont eu lieu tous les ans de 1998 à 2003, puis tous les 2 ans ensuite..

âge utilisée doit être considérée avec précaution car il n'y a pas eu de vérification des données de croissance. Les anguillettes en migration ayant une taille significativement plus faible que les autres (Imbert, 2008), il est possible que les individus classés dans les moins de deux ans aient en fait un âge plus important (3 ou 4 ans).

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	0	99
2011	17	67
2013	18	72
2014	24	73
2015	25	37

quées sont assez faibles avec en moyenne 18.9 mm par an. Certaines anguilles n'ont pas grandi du tout en deux ans alors que d'autres ont gagné 60 mm (Figures 8 et 10). Le taux de recapture des anguilles est de 27 %.

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 9)

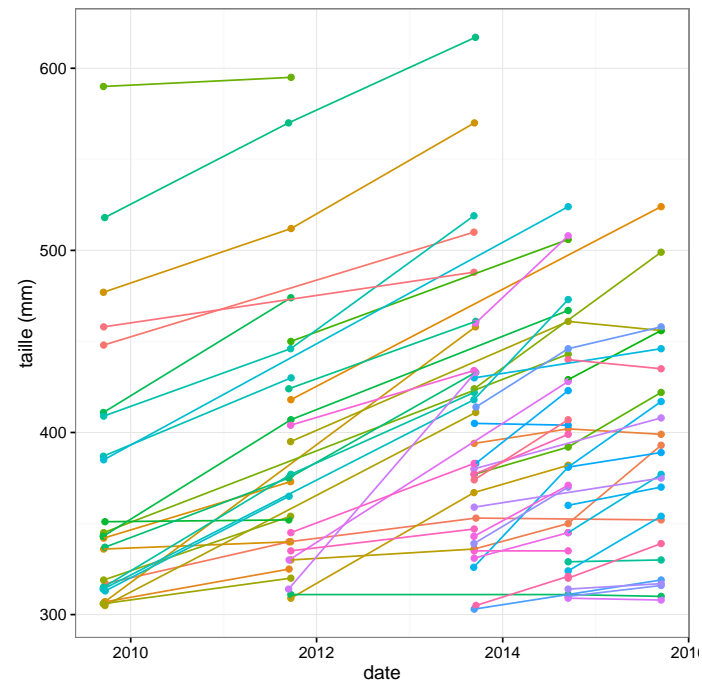


FIGURE 8: Evolution de la taille des anguilles marquées en fonction de leur taille, et des dates de marquage et recapture.

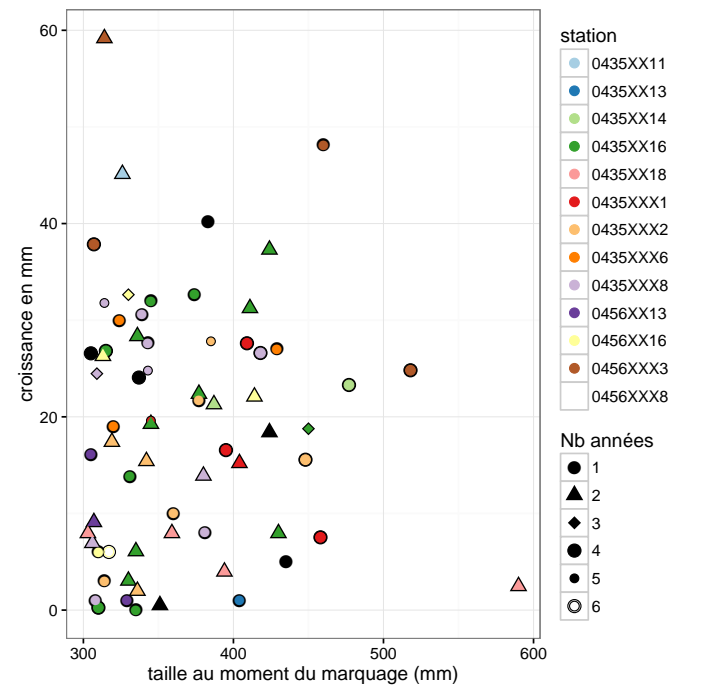


FIGURE 9: Croissance annuelle des anguilles marquées en fonction du nombre d'année en le marquage et la recapture.

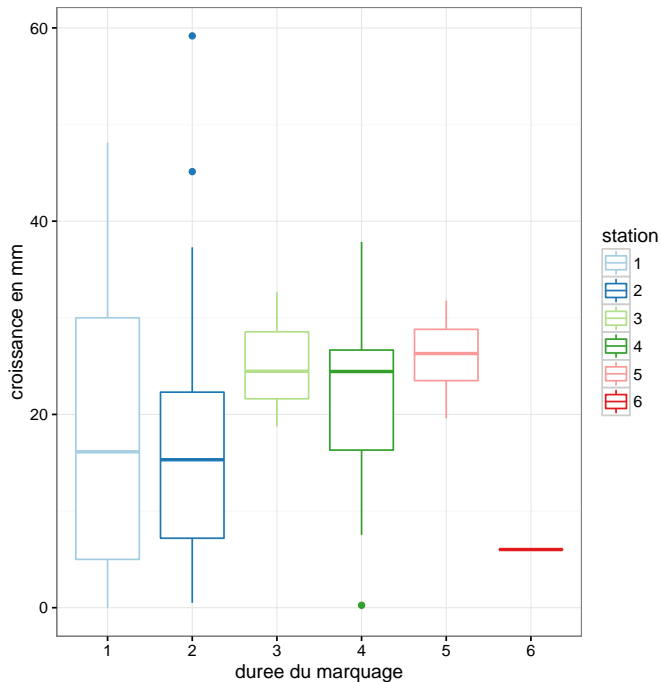


FIGURE 10: Croissance annuelle des anguilles marquées en fonction de la durée du marquage.

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, semblent remonter en 2013 au dessus de cette cible (Figure 3). Après une première tendance à l'augmentation qui s'est poursuivie jusqu'en 2001 dans les secteurs amont de la Vilaine, elles ont accusé une baisse marquée dans tous les secteurs. La baisse est particulièrement forte dans les secteurs aval où les fortes densités ont probablement conduit à la production de mâles dont le départ a probablement commencé dès 2001. Sur ces mêmes secteurs, les biomasses moyennes ont montré une chute marquée (Figure 6). Ceci pourrait s'expliquer par le sexe-ratio qui est en faveur des mâles quand les densités sont élevées, et aurait pu se traduire par un départ de mâles plus précoce dans le secteur aval. Cette différence de sexe-ratio avait été observée lors de l'étude de la dévalaison sur la Vilaine en 2009 -voir rapport dévalaison 2009 (Briand and Sauvaget, 2011b)- qui montrait que le bassin versant du Trévelo était peuplé majoritairement de mâles (environ 90%) et que le bassin versant de l'Isac, plus en amont mais encore dans la zone $<50 \text{ rkm}$, était déjà peuplé en majorité de femelles (environ 75%).

L'augmentation des densités observée sur la partie aval semble bien faible au regard des effectifs très importants recrutés en 2012 et 2013. Les pêches des années 1998 et

1999 ont déjà montré que les anguilles de l'année (âge 0) étaient très difficiles à trouver dans les secteurs de pêche électrique, et que les vagues de migration n'étaient observées que deux à trois ans après le pic de recrutement de 1998, en 2000 et 2001 (Figure 7). Des anguilles de petite taille ont été retrouvées sur le ruisseau d'Arzal, dont la confluence avec la Vilaine se situe à moins d'un kilomètre d'Arzal. L'absence d'évolution très notable des densités sur le bassin du Trévelo, sur l'aval de la Vilaine, est assez suprenante. Ce bassin avait montré une augmentation massive des densités en 2000 (Figure 14 en annexe) et un délai est peut être nécessaire pour voir l'effet des recrutements. C'est au droit de cet affluent et sur les marais en amont du vannage du Trévelo que les transports de civelles de 2011 (200 kg : survie escomptée faible) ont été effectués. L'absence d'augmentation massive des densités par rapport à un tel recrutement pourrait s'expliquer par une mauvaise survie de la cohorte de 2011 (Mazel et al., 2011), un problème de transparence du vannage du Trévelo pendant la période estivale, ou simplement le délai nécessaire pour que les civelles transportées colonisent le système (Briand and Sauvaget, 2012). Plus en amont, c'est sur l'Arz que 10 anguillettes de moins de 120 mm ont été capturées et il est possible que ces dernières puissent correspondre à des civelles transportées sur la Vilaine en aval (330 kg en 2012 avec une bonne survie attendue). L'absence d'effet détectable des opérations de transport sur les densités observées en pêche électriques avaient déjà été analysée et discutée dans Briand and Sauvaget (2011a). Pour la période 2011 - 2013, compte tenu de l'augmentation concomitante du recrutement fluvial et des transports, il sera difficile d'établir un effet des mesures de gestion prises séparément.

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. Il n'existe pas de différence significative entre les croissances observées à 2 ans et celles à 4 ans. 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.). Les résultats de croissance ne semblent pas être la conséquence d'un

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

effet station. Dans plusieurs cas, en effet, on trouve à la fois des anguilles à croissance faible et des anguilles à croissance rapide sur les mêmes stations. En utilisant les données de croissance des affluents, l'âge des anguilles est probablement de l'ordre de 20 ans, alors qu'il n'est que de 12 ans sur les zones fluviales larges où la croissance est forte (de l'ordre de 50 mm par an). Le fort pourcentage de recapture sur les stations (27 %) est à noter. Il indique que les anguilles de plus de 30 cm sont globalement sédentaires.

L'augmentation des densités sur le bassin versant concerne également, en 2013, les anguilles pêchées sur les stations les plus amont (>100 rkm) (Figure 5), c'est à dire les cours d'eaux du Chevré, du Canut Nord et de la Chèze (Figure 14 en annexe). Cette tendance est beaucoup plus difficile à expliquer que l'augmentation sur les secteurs aval. Elle correspond à des anguilles entre 20 et 40 cm. Si l'on se réfère aux taux de croissance très faibles relevés à l'aide des opérations de marquage recapture, il pourrait s'agir d'anguilles recrutées lors de la fenêtre de recrutement favorable en 1996-2000. La croissance des anguilles dans l'axe de la Vilaine lors de la migration reste cependant inconnue, et seule une analyse des otolithes d'anguilles prélevées dans le milieu permettrait de les rattacher à une date d'arrivée donnée. La passe piège de Malon (premier ouvrage sur la Vilaine) a été démontée en septembre 2008 et c'est seulement en mai 2011 qu'elle a été reconstruite. Il est possible qu'il y ait eu un blocage au niveau de ce barrage.

En conclusion, le suivi de 2013 apporte des éléments nouveaux sur la croissance des anguilles qui semble vraiment beaucoup plus faible que celle qui était escomptée, et il sera probablement nécessaire d'effectuer des opérations d'âgeage des anguilles dans les années à venir, si on souhaite mettre en relation les effectifs mesurés par le didson avec les recrutements fluviaux. Les densités augmentent sur l'aval du bassin, mais sans encore atteindre les fortes densités observées en 2000 et 2001 sur les secteurs aval (<50 rkm) et intermédiaires (100 rkm). Compte tenu du changement massif intervenu dans le recrutement fluvial, qui est passé d'un minimum de 54 009 en 2010 à 7 546 534 en 2013, le suivi des abondances d'anguilles jaunes sur le bassin va reprendre avec une fréquence annuelle pour suivre l'effet de cette augmentation sur la colonisation du bassin.

Remerciements

Les pêches électriques ont été effectuées par les services départementaux 35 et 56 de l'ONEMA, 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.

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*, PhD thesis, Agrocampus Ouest.
- Briand, C. : 2013, *stacomirtools : stacomir ODBC connection class*. R package version 0.3.
- Briand, C., Fatin, D., Fontenelle, G. and 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. and Sauvaget, B. : 2011a, Analyse des tendances de stock d'anguilles jaunes du bassin versant de la vilaine par pêches électriques, *Technical report*, Institution d'Aménagement de la Vilaine, La Roche Bernard.
- Briand, C. and Sauvaget, B. : 2011b, Etude de faisabilité d'une estimation de la production d'anguilles argentées du bassin versant de la vilaine. hiver 2009 - 2010, *Technical report*, EPTB Vilaine.
- Briand, C. and Sauvaget, B. : 2012, Transport de civelles sur le ruisseau du rodoir : quelques recommandations pour la mise en place d'un protocole d'évaluation quantitative des survies., *Technical report*, Institution d'Aménagement de la Vilaine.
- Carle, F. and 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.
URL: <http://CRAN.R-project.org/package=xtable>
- 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. and Weisberg, S. : 2011, *An R Companion to Applied Regression*, second edn, Sage.
- 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.
URL: <http://CRAN.R-project.org/package=stargazer>
- ICES : 2013, The report of the 2013 session of the joint ICES/EIFAC working group on eels, *Technical report*, ICES CM 2013/ACOM :18, 1822 March 2013Sukarietta (Spain), 410 September 2013 Copenhagen (Denmark).
- Imbert, H. : 2008, Relationships between locomotor behavior, morphometric characters and thyroid hormone levels give evidence of stage-dependent mechanisms in european eel upstream migration, *Hormone and Behaviour*.
- Mazel, V., Charrier, F., Troger, F., Kneabel, B., Caraguel, J. and Legault, A. : 2011, Opération d'alevinage d'un lot de civelle sur les marais de vilaine (déversement mars 2011), *Technical report*.
- 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. and R Core Team : 2013, *nlme : Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-109.
- Zuur, A., E., I., N., W., A., S. and G., S. : 2009, *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology With R*, Springer.

4. Annexes

Tableau 6: 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	0.174 (0.288)	0.174 (0.336)	0.174 (0.421)	0.174 (0.345)
stationARONa-82	1.395*** (0.290)	1.375*** (0.310)	1.708*** (0.425)	1.631*** (0.343)
stationARONb-82	1.755*** (0.301)	1.738*** (0.245)	1.957*** (0.378)	2.013*** (0.273)
stationARZ-44	1.497*** (0.288)	1.497*** (0.395)	1.497*** (0.517)	1.497*** (0.383)
stationARZ-47	2.132*** (0.288)	2.132*** (0.297)	2.132*** (0.393)	2.132*** (0.299)
stationARZA-4	2.174*** (0.288)	2.178*** (0.269)	2.122*** (0.390)	2.125*** (0.264)
stationCANN-110	0.540* (0.295)	0.521* (0.314)	0.802** (0.398)	0.786** (0.346)
stationCANN-115	0.506* (0.295)	0.488 (0.330)	0.768* (0.449)	0.753** (0.363)
stationCANS-67	1.627*** (0.295)	1.609*** (0.297)	1.889*** (0.336)	1.874*** (0.282)
stationCANSb-65	2.172*** (0.295)	2.154*** (0.263)	2.434*** (0.384)	2.418*** (0.257)
stationCHEV-163	0.192 (0.290)	0.182 (0.293)	0.350 (0.384)	0.340 (0.353)
stationCHEVa-165	0.041 (0.290)	0.030 (0.305)	0.198 (0.366)	0.189 (0.341)
stationCHEZ-134	0.012 (0.292)	-0.002 (0.308)	0.222 (0.357)	0.209 (0.298)
stationCHEZa-135	1.421*** (0.292)	1.407*** (0.286)	1.631*** (0.349)	1.619*** (0.299)
stationMARZ-13	0.625** (0.288)	0.622** (0.251)	0.678* (0.389)	0.674** (0.270)
stationTREV-21	0.456 (0.288)	0.452 (0.403)	0.509 (0.533)	0.505 (0.405)
stationTREV-22	1.499*** (0.288)	1.499*** (0.260)	1.499*** (0.376)	1.499*** (0.274)
stationTREVb-22	1.721*** (0.288)	1.721*** (0.268)	1.721*** (0.394)	1.721*** (0.284)
annee1999	0.254 (0.244)	0.387** (0.184)		0.153 (0.187)
annee2000	0.207 (0.239)	0.262 (0.193)		0.237 (0.191)
annee2001	0.435* (0.244)	0.417** (0.185)		0.039 (0.187)
annee2002	0.002 (0.244)	0.095 (0.185)		-0.336* (0.187)
annee2003	-0.331 (0.244)	-0.323* (0.185)		-0.722*** (0.187)
annee2005	-0.777*** (0.244)	-0.687*** (0.185)		-1.281*** (0.187)
annee2007	-1.267*** (0.240)	-1.246*** (0.181)		-1.204*** (0.187)
annee2009	-1.079*** (0.240)	-1.023*** (0.181)		-1.087*** (0.187)
annee2011	-1.436*** (0.240)	-1.336*** (0.181)		-1.327*** (0.187)
annee2013	-0.937*** (0.240)	-0.997*** (0.181)		-0.985*** (0.187)
annee2014	-0.687*** (0.240)	-0.780*** (0.181)		-0.644*** (0.187)
annee2015	-1.027*** (0.240)	-0.911*** (0.181)		-0.894*** (0.187)
mois2oct_nov	-0.641*** (0.162)	-0.688*** (0.130)	0.041 (0.150)	
Constant	-1.798*** (0.266)	-1.819*** (0.262)	-2.572*** (0.321)	-1.937*** (0.273)
Observations	247	247	247	247
Log Likelihood	-280.876	-256.358	-304.912	-262.694
Akaike Inf. Crit.	627.752	614.717	687.825	625.388
Bayesian Inf. Crit.	738.983	786.619	821.398	794.152

Note :

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

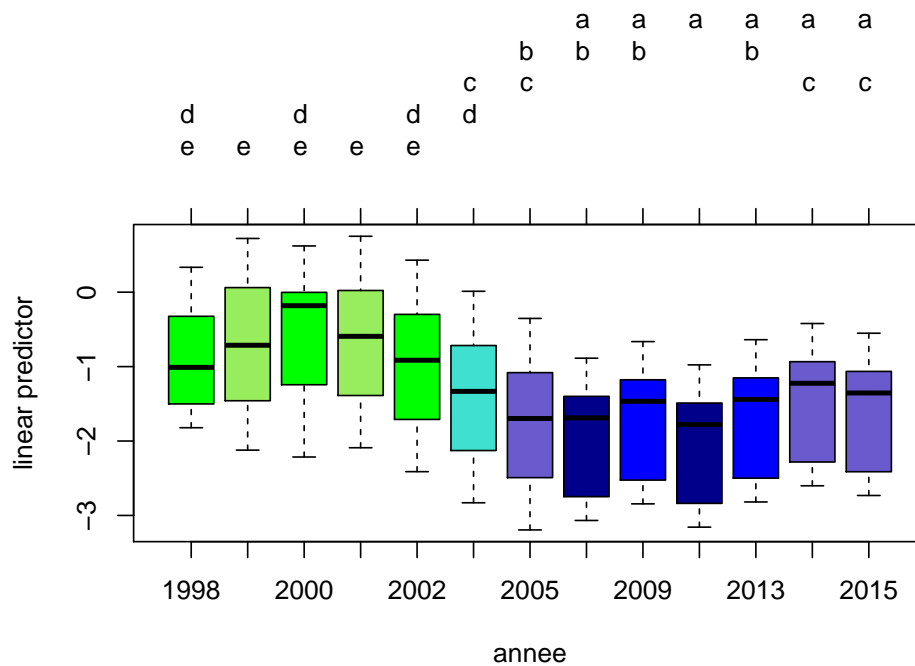


FIGURE 11: Classement des densités en fonction des années, test Post hoc de Tukey sur le modèle $\log(dens) \sim a + s + \epsilon(ss)$, avec $\epsilon(s) \sim N(0, \sigma_s^2)$ a=année, s=stations, groupes classés au seuil de 0.05, données log transformées.

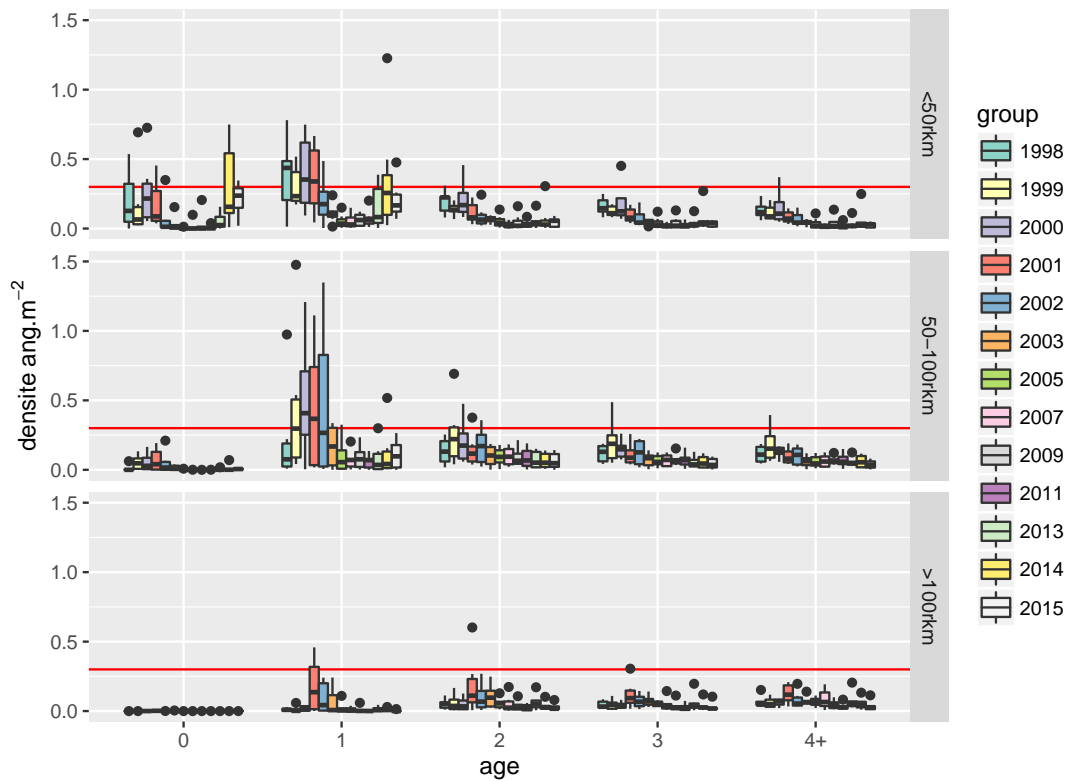


FIGURE 12: Tendance des densités en fonction de l'âge des anguilles (reconstituée à l'aide d'une clé taille âge) et la distance à la mer pour les pêches électriques de 1998 à 2013. La courbe en rouge indique le seuil du plan de gestion

Tableau 7: 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(0.07)	0.3(0.24)	0.13(0.04)	0.11(0.03)	0.1(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(0.03)	0.06(0.03)	0.04(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)

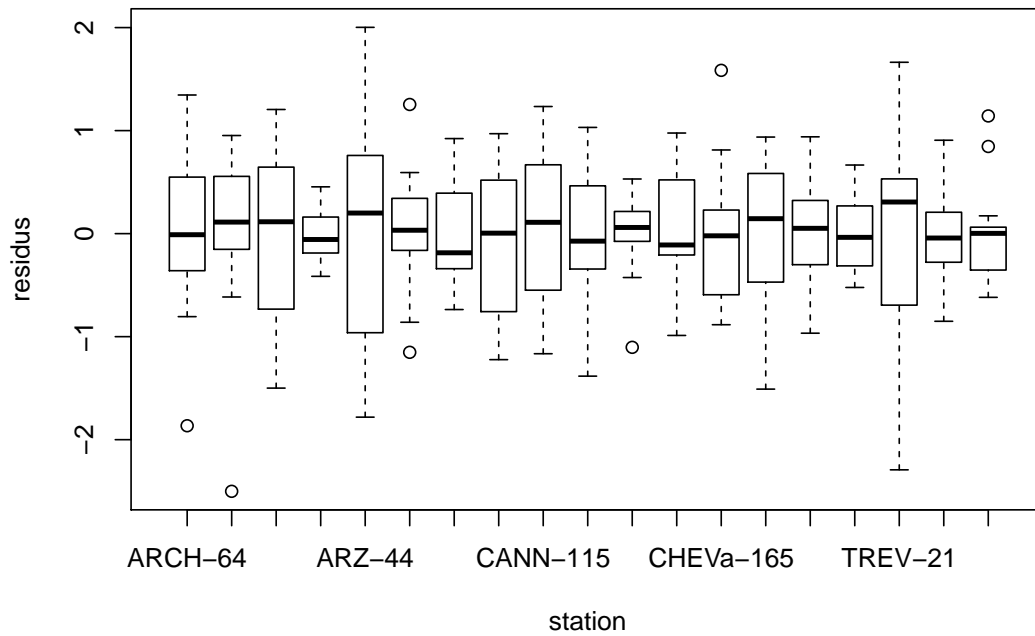


FIGURE 13: Résidus du modèle $\log(dens) \sim a + s + m\epsilon$, avec $\epsilon(s) \sim N(0, \sigma^2)$ a=année, s=stations, m = mois. Le graphique montre l'hétéroclasticité (variances différentes) des résidus en fonction des stations.

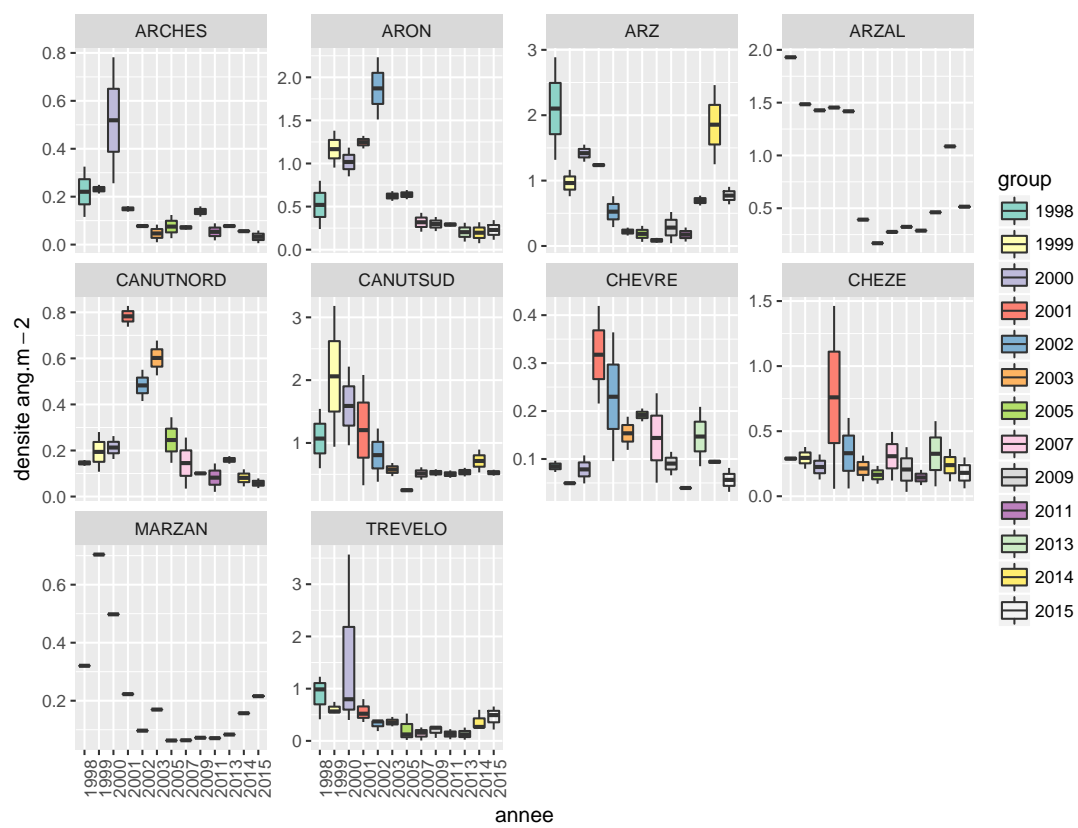


FIGURE 14: Tendence des densités sur les différentes rivières du bassin versant de la Vilaine.

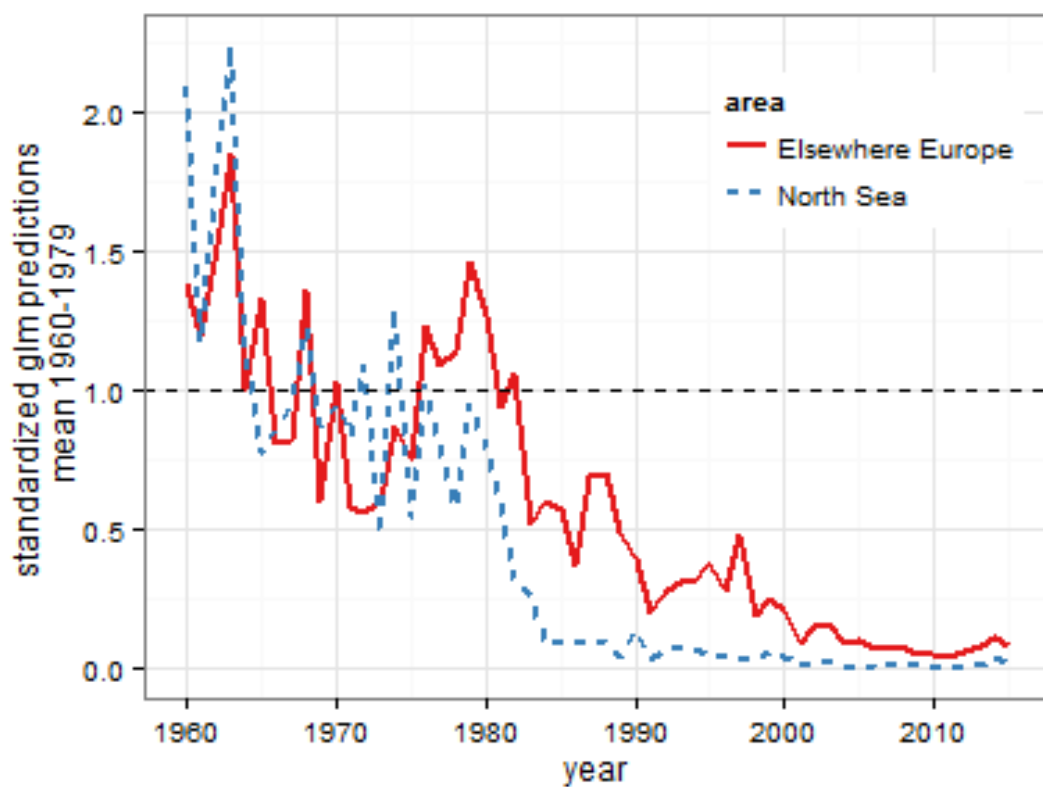


FIGURE 15: Tendence du recrutement calculé par le groupe de travail anguilles du CIEM, le recrutement des civelles et des anguilles de jeunes stades est calculé pour deux zones, la mer du nord et le reste de l'Europe, car la tendance de la chute est plus marquée pour la mer du Nord. (ICES, 2013)