

2015-2016

Master 2 Zones Humides Continentales et Littorales

Parcours Eco-ingénierie des Zones Humides

# Étude de la colonisation des bassins versants de la Loire et des côtières vendéens par l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)



**DUFOUR Gwenaëlle**

Sous la direction de M. **BESSE** **Timothée**



**LOGRAMI**

8 rue de la Ronde  
03 500 SAINT-POURÇAIN SUR SIOULE



Soutenu publiquement le :  
07/09/2016



**Université d'Angers**  
**Faculté des Sciences**  
2 boulevard Lavoisier  
49 045 ANGERS

**L'auteur du présent document vous autorise à le partager, reproduire, distribuer et communiquer selon les conditions suivantes :**

- Vous devez le citer en l'attribuant de la manière indiquée par l'auteur (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'il approuve votre utilisation de l'œuvre).
- Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce document à des fins commerciales.
- Vous n'avez pas le droit de le modifier, de le transformer ou de l'adapter.

**Consulter la licence creative commons complète en français :**  
<http://creativecommons.org/licences/by-nc-nd/2.0/fr/>

Ces conditions d'utilisation (attribution, pas d'utilisation commerciale, pas de modification) sont symbolisées par les icônes positionnées en pied de page.



# ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné(e) Gwenaëlle DUFOUR  
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une  
partie d'un document publiée sur toutes formes de support, y compris l'internet,  
constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.  
En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées  
pour écrire ce rapport ou mémoire.

signé par l'étudiant(e) le 29/08/2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gwenaëlle Dufour', written over a horizontal line.

## RÉSUMÉ

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), possède un cycle de vie complexe, en tant qu'espèce catadrome. Elle joue un rôle majeur dans les écosystèmes aquatiques, et représente une ressource économique importante. Or, depuis les années 1980, un déclin brutal de la population est constaté. Le bassin versant de la Loire constitue un des bassins versants les plus favorables à la colonisation par l'anguille. Le but de la présente étude a donc été d'analyser l'évolution spatio-temporelle de la répartition des anguilles sur cette zone. Pour cela, les stations de pêche du réseau anguille Loire ont été prospectées en 2016 de façon identique aux années d'études précédentes, selon le protocole de l'Indice d'Abondance Anguille. Sur l'ensemble du réseau, peu d'évolution est constatée dans les abondances d'anguilles entre 2016 et les autres années d'étude. En 2016, une homogénéisation s'observe dans la répartition des anguilles < 150 mm et de 150 – 300 mm, grâce à des années successives de bons recrutements fluviaux, sur les annexes hydrauliques de la Loire aval. Une progression du front de colonisation des anguilles de moins de 300 mm entre 2013 et 2016 est visible, sur les annexes hydrauliques de la Loire, ainsi que sur la Vienne, le Cher, l'Indre et le Loir. Cependant, le recrutement fluvial demeure encore trop faible pour permettre une colonisation efficace à l'échelle du bassin versant de la Loire. Des efforts de restauration de l'accessibilité et de la qualité des cours d'eau sont à poursuivre, ainsi que de diminution de la pression de pêche.

**mots-clés :** *Anguilla anguilla*, front de colonisation, côtiers vendéens, Loire, Indice d'Abondance Anguille

## ABSTRACT

European eel (*Anguilla anguilla*), has a complex life cycle, as a catadromous species. It plays a major role in aquatic ecosystems, and represents an important economic resource. However, since 1980s, a sharp decline of the population is observed. The Loire catchment is one of the more favorable catchment for eel colonization. The aim of this study was so to analyze spatiotemporal variations of eel distribution on this area. For this, fishing stations of the réseau anguille Loire were prospected in a similar manner to the previous studies, according to the Eel Abundance Index. On the whole area, little change is observed in eel abundances between 2016 and others years of studies. In 2016, an homogenization is observed in < 150 mm and 150 – 300 mm eels distribution, thanks to successive years of good fluvial recruitment, in waterbodies of downstream Loire. An increase in front colonization of < 300 mm eels between 2013 and 2016 is visible, on Loire's downstream waterbodies, as well as on Vienne, Cher, Indre and Loir. However, fluvial recruitment remains insufficient to allow an effective colonization at the Loire catchment's scale. Efforts in accessibility and watercourse quality are to continue, as well as decrease in fishing pressure.

**keywords :** *Anguilla anguilla*, front of colonization, coastal Vendée, Loire, Eel Abundance Index

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Timothée Besse, pour m'avoir permis de réaliser ce stage, ainsi que pour tout ce qu'il m'a enseigné.

Merci à toutes les structures qui ont été partenaires de cette étude : partenaires financiers, Fédérations de pêche. Merci également à toutes celles et ceux qui ont participé au recueil des données sur le terrain : personnels des Fédérations de pêche, équipes de LOGRAMI, Hashradah, Livia.

Mes remerciements s'adressent aussi à Cédric Briand, pour avoir fourni les données du modèle EDA.

Je remercie Maxime, camarade de l'université d'Angers, ainsi que Maxime Hervé, pour m'avoir guidée dans les analyses statistiques.

Merci également à toutes les personnes de l'Université de Rennes 1 que j'ai côtoyées pendant ce stage, pour l'aide qu'ils m'ont apportée, mais aussi pour la bonne ambiance des pauses déjeuners.

Bien évidemment, un grand merci à tous mes collègues de promotion, ainsi qu'à tous mes proches, pour leur soutien et leurs encouragements.

## Table des matières

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1. L'anguille européenne.....	1
1.1. Systématique.....	1
1.2. Cycle biologique.....	1
a) Reproduction.....	2
b) Stade larvaire.....	2
c) Stades civelle et anguilette.....	2
d) Stade anguille jaune.....	2
e) Stade anguille argentée.....	3
1.3. Répartition et habitats.....	3
2. Une espèce en déclin.....	4
3. Mesures de gestion en faveur de l'anguille européenne.....	5
4. Contexte et objectifs de l'étude.....	6
<b>MATÉRIELS ET MÉTHODES.....</b>	<b>7</b>
1. Zone d'étude : choix et localisation des stations.....	7
2. Hydrologie et connectivité des annexes hydrauliques en Loire aval.....	9
3. Protocole de pêche.....	10
3.1. Répartition des points de pêche par station.....	10
3.2. Matériel.....	11
3.3. Mode opératoire.....	11
3.4. Recueil de données.....	12
4. Analyse des résultats.....	12
4.1. Classes de taille.....	12
4.2. Répartition des effectifs observés (indice d'abondance).....	12
a) Distance à la mer.....	13
b) Connectivité latérale des annexes hydrauliques.....	14
4.3. Probabilités de présence des jeunes stades (indice de colonisation).....	14
<b>RÉSULTATS.....</b>	<b>15</b>
1. Annexes hydrauliques de la Loire aval.....	15
1.1. Indice d'Abondance Anguille.....	15
a) Effet de la distance à l'océan.....	15
b) Effet de l'année d'échantillonnage.....	16
c) Effet de la connectivité latérale.....	17
1.2. Probabilités de présence des jeunes stades dans les annexes hydrauliques.....	18
2. Ensemble des stations du réseau anguille.....	19
2.1. Indice d'Abondance Anguille.....	19
a) Effet du bassin versant.....	19
b) Effet de l'année d'échantillonnage.....	21
2.2. Probabilités de présence des jeunes stades.....	22
<b>DISCUSSION.....</b>	<b>24</b>

1. Évolutions des abondances d'anguilles et des fronts de colonisation.....	24
2. Méthode.....	26
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>28</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>29</b>

## Table des figures

Figure 1: Cycle biologique de l'anguille européenne (source : <a href="http://www.planrhone.fr">www.planrhone.fr</a> ).....	1
Figure 2: Aire de répartition de l'anguille européenne ( <i>Anguilla anguilla</i> L. 1758) (Gilles Adam, 1997) .	4
Figure 3: Evolution de l'abondance des juvéniles de 3 espèces d'anguilles, de 1950 à 2002 (Van Ginneken & Maes, 2005).....	4
Figure 4: Exemple d'une station d'échantillonnage prospectée en 2016.....	7
Figure 5: Carte du Réseau Anguille Loire 2016.....	8
Figure 6: Localisation des annexes hydrauliques de la Loire aval prospectées en 2016.....	9
Figure 7: Débits journaliers moyens (QMJ) mesurés à Montjean-sur-Loire durant les quatre années d'échantillonnage (données BD-Hydro, Sandre).....	10
Figure 8: Modalités de prospection en fonction de la largeur du cours d'eau (P.M CHAPON, ONEMA - 2007).....	10
Figure 9: Équipe de pêche.....	11
Figure 10: Typologie de la connectivité latérale de la plaine alluviale (Lasne et al., 2008).....	14
Figure 11: Abondance moyenne des anguilles (nombre moyen d'individus par EPA $\pm$ écart-type) selon la distance des stations à l'océan, lors des quatre années d'étude.....	15
Figure 12: Abondance moyenne des anguilles (nombre moyen d'individus par EPA $\pm$ écart-type) pour chaque classe de taille, selon la distance des stations à l'océan, en 2016.....	16
Figure 13: Abondances moyennes des anguilles sur les annexes hydrauliques de la Loire aval (nombre moyen d'individus par EPA $\pm$ écart-type) lors des quatre années d'étude.....	17
Figure 14: Carte de présence-absence des différentes classes de taille d'anguilles, dans les annexes hydrauliques de la Loire aval prospectées en 2016.....	18
Figure 15: Evolution des probabilités de présence des anguilles dans les annexes hydrauliques de la Loire aval en 2005, 2010, 2013 et 2016.....	19
Figure 16: Abondance moyenne des anguilles, toutes tailles confondues (nombre moyen d'anguilles par EPA), pour les six bassins versants étudiés, en 2013 et 2016.....	20
Figure 17: Abondance moyenne de chaque classe de taille d'anguilles (nombre moyen d'anguilles par EPA) dans les six bassins versants étudiés, en 2013 et 2016.....	21
Figure 18: Evolution temporelle des fronts de colonisation des anguilles < 150 mm et < 300 mm sur les annexes hydrauliques de la Loire.....	23

## Table des tableaux

Tableau 1 : Nombre de stations d'échantillonnage dans les 6 sous-bassins du réseau anguille 2016..13

Tableau 2 : Connectivité des annexes hydrauliques de Loire aval échantillonnées en 2016.....14

Tableau 3 : Abondances moyennes d'anguilles par EPA (toutes tailles confondues et 4 classes de taille) en 2013 et 2016, sur l'ensemble du réseau anguille, et résultats des tests de significativité.....23

## Présentation de la structure

L'association Loire Grands Migrateurs (LOGRAMI), créée en 1989, est l'une des neuf associations « migrateurs » françaises. Elle dispose d'une équipe composée de huit permanents, basés sur cinq antennes (Orléans, Poitiers, Clermont-Ferrand, Saint-Pourçain-sur-Sioule et Rennes).

23 fédérations départementales de pêche et de protection du milieu aquatique sont adhérentes à l'association.

L'objectif principal de LOGRAMI est la restauration des populations de poissons grands migrateurs du bassin versant de la Loire, ainsi que de leurs milieux de vie. Ces poissons sont en effet des espèces patrimoniales, témoignant du bon état écologique des cours d'eau, mais dont les populations sont fortement menacées, notamment par l'altération des milieux aquatiques.

LOGRAMI répond à cet objectif de préservation via la réalisation de 3 principales missions : la récolte et l'analyse des données, la mutualisation des données et l'aide à la gestion, ainsi que la sensibilisation du grand public.

L'association étudie principalement 5 espèces de poissons grands migrateurs sur le bassin versant de la Loire. Les données concernant ces espèces sont regroupées au sein du Tableau de Bord des poissons migrateurs du bassin versant de la Loire. Ce dernier est en réalité issu la fusion de deux tableaux de bord : le tableau Anguille, créé en 2001, et le tableau SALT (Saumon, Aloses, Lamproies, Truites), créé en 2008. Les tableaux de bord, en regroupant les indicateurs de l'état des populations de migrateurs, sont des outils privilégiés d'aide à la gestion.

De nombreux partenaires financiers soutiennent l'association, pour le programme de recherche appliquée en faveur des poissons migrateurs, ainsi que la valorisation des données.

# INTRODUCTION

## 1. L'anguille européenne

### 1.1. Systématique

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Linné, 1758) appartient à l'ordre des Anguilliformes, dont les représentants sont caractérisés par un corps très allongé et la présence d'une nageoire impaire unique, formée de l'union des nageoires dorsale, caudale et anale. Plus précisément, elle fait partie de la famille des Anguillidae, qui ne possède qu'un seul genre (*Anguilla*) et 16 espèces. Le genre serait apparu il y a environ 100 millions d'années (Keith, 2011).

### 1.2. Cycle biologique

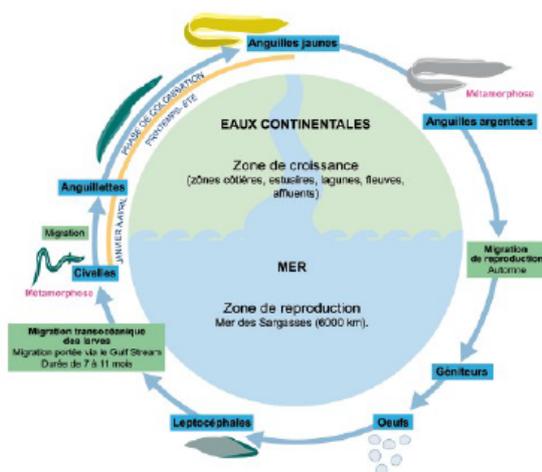


Figure 1: Cycle biologique de l'anguille européenne (source : [www.planrhone.fr](http://www.planrhone.fr))

Le cycle vital de l'anguille est complexe (Figure 1) et encore caractérisé par de nombreuses zones d'ombre (Adam *et al.*, 2008). En effet, la reproduction n'a jamais pu être observée en milieu naturel, et aucun œuf ou adulte n'a été repéré dans l'aire de frai supposée (Adam *et al.*, 2008). Il s'agit en outre d'une espèce migratrice amphihaline thalassotoque, c'est-à-dire qu'elle est obligée, pour réaliser son cycle biologique, de vivre en eau saumâtre comme en eau douce et de rejoindre son lieu de reproduction situé en mer (Adam, 1997).

#### a) Reproduction

Les anguilles argentées quittent les rivières et entament leur migration vers la mer pour se reproduire à 7 500 km dans la mer des Sargasses. La reproduction aurait lieu de janvier à février. Les potentialités de survie des géniteurs après la ponte restent encore inconnues, mais il est supposé qu'ils meurent après s'être reproduits (espèce semelpare) (Baisez, 2007).

#### b) Stade larvaire

Issues des œufs, les larves leptocéphales (étymologiquement « à tête mince »), naissent dans la mer des Sargasses durant toute l'année, mais surtout au printemps, au dessus des fosses abyssales. Elles migrent ensuite passivement vers les côtes d'Afrique et d'Europe grâce aux courants océaniques (Gulf Stream). Cette traversée dure de 6 mois à 1 an (Baisez, 2007).

#### c) Stades civelle et anguilette

À l'approche du plateau continental, une première métamorphose s'effectue. Les leptocéphales deviennent des civelles, qui se concentrent ensuite dans les estuaires en utilisant les courants des marées (Baisez, 2007). Le mode d'arrivée en estuaire est variable selon les sites considérés, mais il est généralement centré sur les mois de janvier ou février (Adam, 1997). Les individus qui pénètrent dans la zone d'estuaire dynamique constituent le recrutement estuarien. La civelle (de taille comprise entre 55 et 90 mm), est un stade transitoire avant la transformation en anguilette (acquisition de la pigmentation). La fraction des jeunes anguilles qui survit aux différentes pressions exercées dans l'estuaire (pêche, bouchon vaseux, prédation naturelle) et qui parvient à atteindre la zone située en amont de l'estuaire dynamique constitue le recrutement fluvial. Une fois l'estuaire franchit, les anguillettes poursuivent leur migration vers l'amont des bassins versants. Ce sont surtout les anguilles de taille inférieure à 300 mm qui ont ce comportement migratoire. Il est supposé que la migration anadrome des anguillettes est soumise au mécanisme de densité-dépendance (Lasne *et al.*, 2008). De forts recrutements fluviaux, ainsi qu'une occupation optimale des zones avals qui en découle, contraindraient en effet les individus migrants à remonter plus loin vers l'amont des bassins versants, afin d'y trouver des habitats vacants.

#### d) Stade anguille jaune

Le stade anguille jaune intervient après la migration de colonisation réalisée essentiellement par les petites anguilles ou anguillettes. Les milieux aquatiques continentaux et côtiers (marais, fleuves, rivières, lacs, étangs) peuvent être colonisés par les anguilles jaunes. Cette phase, plus ou

moins longue (de 3 à 20 ans), est entièrement orientée vers la croissance (Adam, 1997). Les anguilles jaunes sont sédentaires, comparativement aux civelles et anguillettes. Les mâles dominent là où les densités sont les plus élevées, souvent dans les parties basses des bassins versants, tandis que les femelles, plus grosses, sont majoritaires dans les secteurs plus faiblement peuplés, en amont des bassins versants (Lasne *et al.*, 2008). Le gradient aval-amont décroissant des densités d'anguilles, avec une prépondérance des jeunes individus en aval, et leur absence en amont des bassins versants (où seules les plus grandes anguilles sont rencontrées), est un schéma de distribution au sein d'un bassin versant très souvent mis en évidence (Laffaille *et al.*, 2003). Il serait dû à un besoin énergétique fort de la part des individus migrateurs pour progresser loin vers l'amont, et au fait qu'ils stoppent leur migration au fur et à mesure qu'ils rencontrent un habitat favorable (Canal *et al.*, 2013).

#### e) Stade anguille argentée

Au terme de la phase de croissance, une dernière métamorphose transforme l'anguille jaune en anguille argentée. Il est généralement considéré que les anguilles argentées cessent de s'alimenter et vivent sur leurs réserves jusqu'à la reproduction.

### 1.3. Répartition et habitats

L'anguille européenne possède une large aire de répartition : dans la famille des Anguillidae, c'est certainement l'espèce qui présente l'aire de répartition la plus vaste (Adam, 1997). Celle-ci peut être séparée en deux régions distinctes : l'aire de ponte, qui semble se situer dans la mer des Sargasses, au large des côtes américaines, et l'aire de grossissement, qui correspond aux zones continentales (Baisez, 2007) (Figure 2).

En zone continentale, l'aire s'étale dans la majorité des pays côtiers d'Europe et d'Afrique du Nord. Les milieux constituant l'habitat de l'anguille sont variés : eaux saumâtres (baies, fjords, lagunes, estuaires), milieux dulçaquicoles lotiques (fleuves, rivières, torrents), et lenticues (lacs, étangs, canaux).

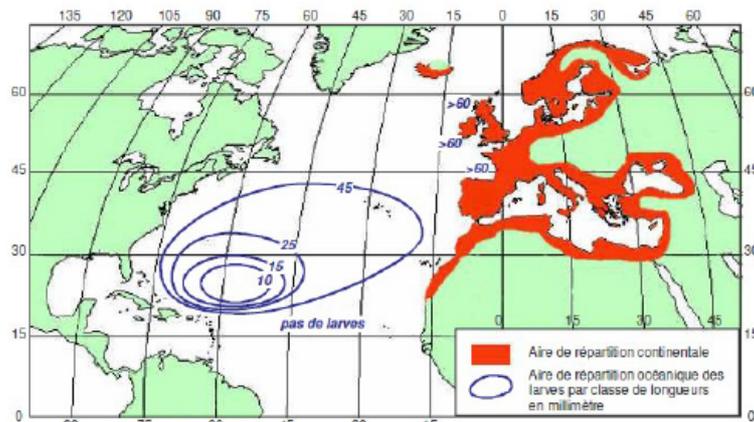


Figure 2: Aire de répartition de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L. 1758) (Gilles Adam, 1997)

## 2. Une espèce en déclin

Les populations d'anguilles ont décliné à travers le monde pendant la dernière décennie. Le nombre d'anguilles européennes a drastiquement chuté de 99 % depuis le début des années 1980. Le recrutement des civelles au niveau du continent européen a également montré un déclin à cette même période (Van Ginneken & Maes, 2005) (Figure 3).

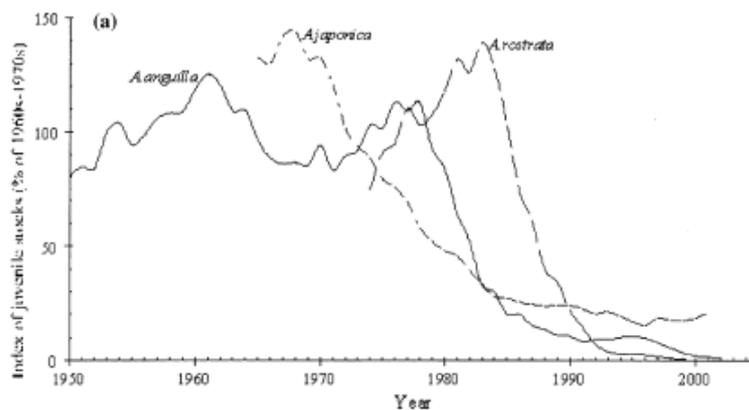


Figure 3: Evolution de l'abondance des juvéniles de 3 espèces d'anguilles, de 1950 à 2002 (Van Ginneken & Maes, 2005)

La cause exacte de ce phénomène est inconnue, mais elle serait la résultante de plusieurs facteurs : contamination par les polychlorobiphényles, concentrés dans les réserves lipidiques et relâchés dans l'organisme pendant la migration thalassotoque, qui interfère avec la reproduction ;

infection de la vessie natatoire par le parasite *Anguillicola crassus* ; les virus (Eel Virus European X, EVEX) ; les changements climatiques ; la baisse des réserves lipidiques due à une baisse des ressources alimentaires dans les eaux continentales ; la présence de seuils et de barrages entravant leur libre circulation vers l'amont des bassins versants ; la surpêche des civelles (Van Ginneken & Maes, 2005). Ces dernières demeurent, en raison de leur prix élevé sur les marchés internationaux, la cible d'opérations de braconnage sur toutes les façades de l'Hexagone. Les civelles sont également victimes des systèmes de pompages d'eau. Les anguilles jaunes sont particulièrement sensibles à la perte de leur habitat suite à la canalisation des cours d'eau et au drainage des zones humides. Les anguilles argentées sont victimes des turbines des centrales hydroélectriques lors de leur dévalaison (Baisez, 2007).

Ainsi, à la fin des années 1990, le CIEM<sup>1</sup> considère que l'anguille européenne est en dehors de ses limites biologiques de sécurité, et que la pêche pratiquée n'est plus durable (Lambert *et al.*, 2003). En 2010, l'espèce a été classée comme « en danger critique d'extinction » dans la liste rouge de l'UICN<sup>2</sup> (Bevacqua *et al.*, 2015), et en 2009, elle a été inscrite dans l'annexe II de la convention de Washington (ou convention CITES) ([www.migrateurs-loire.fr](http://www.migrateurs-loire.fr)).

### 3. Mesures de gestion en faveur de l'Anguille européenne

Il a été démontré que les anguilles, de par leur haute position trophique, jouent un rôle important dans le fonctionnement de certains écosystèmes côtiers (Selleslagh *et al.*, 2012). En plus de leur rôle écologique majeur, elles exercent également un rôle socio-économique important (Bevacqua *et al.*, 2015). En effet, les anguilles sont exploitées par un nombre important de pêcheries.

Au vu des enjeux liés à la présence de l'anguille européenne, et du statut préoccupant de ses stocks, de nombreux textes ont été adoptés afin d'essayer d'enrayer son déclin. C'est notamment le cas du règlement européen R(CE) n°1100/2007, datant du 18 septembre 2007. Il institue en effet des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes. À long terme, son objectif est d'atteindre un taux d'échappement des anguilles argentées vers la mer équivalent à 40 % de celui qui aurait été observé sans pression anthropique.

À l'échelle de la France, un Plan de Gestion Anguille (PGA) a été déposé le 17 décembre 2008. Les mesures de ce plan portent sur la réduction progressive de l'effort de pêche, le traitement

1 Comité International pour l'Exploration de la Mer

2 Union Internationale pour la Conservation de la Nature

d'obstacles à la circulation des anguilles, le repeuplement, la restauration des habitats ainsi que les contaminations ([www.eaufrance.fr](http://www.eaufrance.fr)). Ce plan se décline à l'échelle de volets locaux, définis par les unités hydrographiques ainsi que les territoires des Comités de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI). Ainsi, le volet local Loire du PGA concerne l'Unité de Gestion Anguille (UGA) située dans le bassin hydrographique Loire-Bretagne, et plus précisément dans le territoire du COGEPOMI Loire, Sèvre Niortaise et côtiers vendéens. Ce COGEPOMI a mis en place un Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI), dont une partie est centrée sur l'anguille européenne. Ce dernier prévoit notamment pour chaque stade de développement de l'anguille des réglementations concernant sa pêche. Le contenu de la partie du PLAGEPOMI relative à l'anguille est complémentaire au PGA, qui prévoit de nombreuses mesures en faveur de l'anguille, conformément au règlement européen.

Par ailleurs, l'UGA Loire se situant dans le bassin Loire-Bretagne, le Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage) Loire-Bretagne prévoit également des mesures de gestion et de protection en faveur des espèces migratrices amphihalines, dont l'anguille. Il instaure ainsi la protection complète des espèces amphihalines sur certains cours d'eau.

#### 4. Contexte et objectifs de l'étude

La Loire est actuellement l'un des fleuves les plus favorables à la colonisation par l'anguille européenne (position géographique et absence d'obstacles sur une grande partie de son cours principal) (Canal *et al.*, 2013). Or, si le phénomène de régression des anguilles continue, elle sera probablement l'un des derniers fleuves européens à héberger cette espèce. La présence des anguilles dans le bassin versant de la Loire représente ainsi un véritable enjeu quant à la survie de cette espèce (Baisez, 2007).

Dans le cadre du suivi de l'anguille pour le COGEPOMI Loire, Sèvre Niortaise et côtiers vendéens, et de façon complémentaire au monitoring "anguille" prévu par le PGA, le Tableau de bord Anguille du Bassin Loire de l'association Loire Grands Migrateurs (LOGRAMI) collecte des données sur la situation de l'espèce dans le bassin. Pour ce faire, LOGRAMI a entamé depuis 2009 le déploiement d'un réseau de suivi de l'anguille sur la Vienne et depuis 2010 sur la Loire aval, en se basant sur les travaux réalisés en 2005 par E. Lasne et P. Laffaille sur les annexes hydrauliques de la Loire (Besse, 2016). Ce réseau a été étendu en 2013 à la Loire moyenne et amont, ses principaux affluents, ainsi que les fleuves côtiers vendéens. L'objectif de ce suivi est de pouvoir surveiller l'abondance ainsi que

la distribution de la population d'anguilles européennes du bassin Loire. Pour cela, l'étude se focalise plus particulièrement sur les jeunes anguilles, afin d'estimer les retombées des mesures de gestion en termes de population en place à aval, d'intensité du recrutement fluvial sur le bassin versant, et d'accessibilité du milieu (Lasne & Laffaille, 2008).

Le but de la présente étude est donc de réaliser le suivi 2016 du réseau Anguille Loire, de façon similaire aux trois études antérieures (2005, 2010 et 2013). Ceci permettra d'évaluer l'impact des mesures de gestion à l'échelle du bassin Loire. L'étude se compose de deux parties : la première porte sur la Loire aval depuis 2005, et la seconde sur l'ensemble du réseau depuis 2013.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 1. Zone d'étude : choix et localisation des stations

Afin de suivre l'évolution spatio-temporelle de la répartition des anguilles en Loire et dans les côtières vendéens, grâce à la comparaison des données de l'année 2016 avec celles des études précédentes, une partie des stations précédemment échantillonnées a été à nouveau prospectée en 2016. En 2013, le réseau anguille se composait au total de 279 stations. 37 de ces stations étaient situées dans des annexes hydrauliques de la Loire aval (zones humides alluviales reliées en permanence ou temporairement au chenal principal (bras secondaires et bras morts)) (Figure 4). Les autres stations avaient été espacées régulièrement (tous les 15 km) le long de l'axe Loire, de ses principaux affluents et des fleuves côtiers de Vendée, au niveau de petites confluences prospectables à pied ou d'annexes hydrauliques.



**Figure 4: Exemple d'une station d'échantillonnage prospectée en 2016**

En 2016, une partie seulement des stations a été ré-échantillonnée. Les sites au-delà de 30 km du dernier point amont où des anguillettes de moins de 300 mm ont été observées n'ont pas été retenus, ainsi que les sites surnuméraires les plus éloignés de l'axe principal sur la Loire et la Vienne aval. Au total, 146 opérations de pêche ont été planifiées sur 14 départements. 10 fédérations de pêche ont été partenaires de ce projet. Cependant, en raison de la crue survenue au début du mois de juin 2016 et de la dégradation de la qualité de l'eau qu'elle a entraînée, plusieurs stations (situées dans l'Indre-et-Loire, le Loiret, le Maine-et-Loire, la Mayenne) ont été retirées de la campagne 2016. L'analyse de l'évolution spatio-temporelle des abondances d'anguilles sur le réseau a porté sur 128 opérations de pêche, réalisées entre juin et août 2016 (Figure 5).

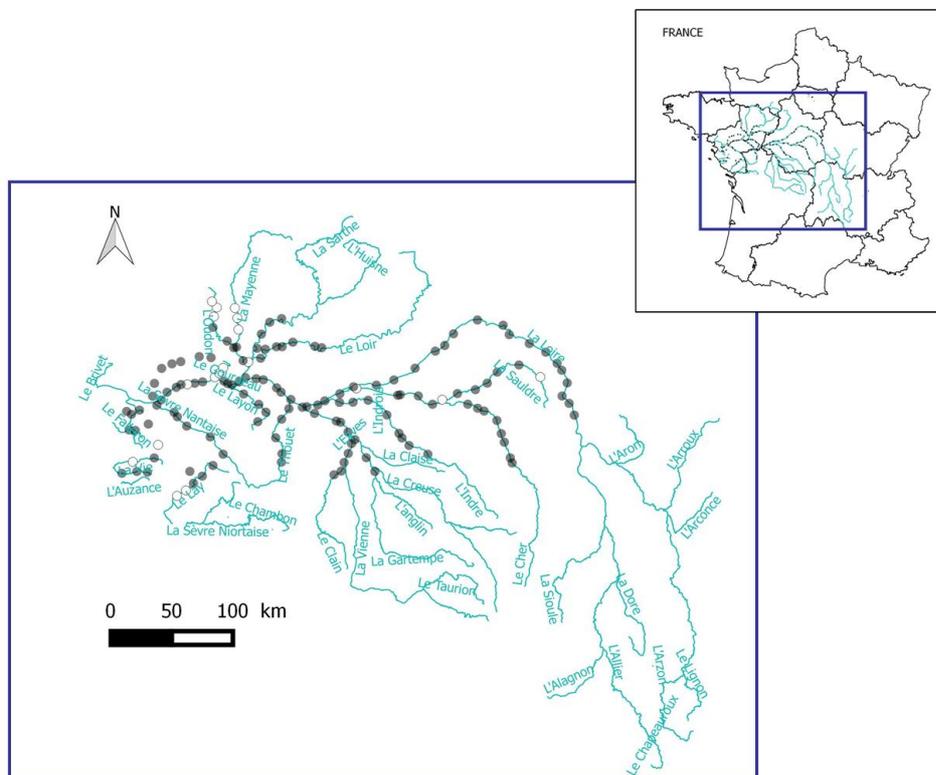


Figure 5: Carte du Réseau Anguille Loire 2016

Sur la Loire aval (entre Nantes et Saumur), 16 annexes hydrauliques ont été échantillonnées (15 stations identiques aux échantillonnages de 2005, 2010 et 2013 ainsi que l'annexe de la Guillemette) entre le 18 et le 22 juillet 2016 (Figure 6). Un espacement de 15 km entre ces stations a été conservé, afin que les résultats des analyses portant sur ces stations soient comparables à ceux du reste du réseau.



Figure 6: Localisation des annexes hydrauliques de la Loire aval prospectées en 2016

## 2. Hydrologie et connectivité des annexes hydrauliques en Loire aval

Le débit d'un chenal influant sur son niveau d'eau, il influe donc également sur la connectivité de ses annexes hydrauliques. Ainsi, durant les épisodes de crue, la plaine alluviale est inondée (à l'exception de certains secteurs protégés par des levées), la plupart des annexes sont interconnectées, et les poissons sont relativement libres de circuler sur le lit majeur (Canal *et al.*, 2013). Dans la partie aval de la Loire, les débits maximaux sont observés en hiver et les régimes d'étiage aux mois d'août et septembre (Figure 7). Cependant, en 2016, une crue importante de la Loire survenue durant le mois de juin a provoqué une forte augmentation des débits et des niveaux d'eau sur ce secteur.

Lors des campagnes précédentes, les échantillonnages sur les annexes de la Loire aval avaient été effectués au mois de juin, période où habituellement les débits sont suffisamment faibles pour permettre une large hétérogénéité d'habitats dans la plaine inondable et une efficacité de pêche maximale. En 2016, compte-tenu de la crue survenue en juin, ils ont été réalisés durant le mois de juillet.

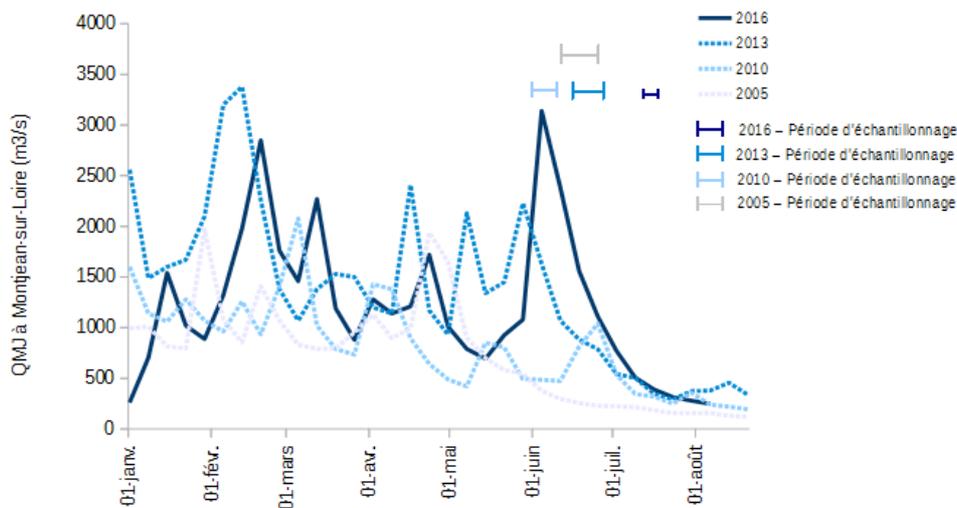


Figure 7: Débits journaliers moyens (QMJ) mesurés à Montjean-sur-Loire durant les quatre années d'échantillonnage (données BD-Hydro, Sandre)

### 3. Protocole de pêche

#### 3.1. Répartition des points de pêche par station

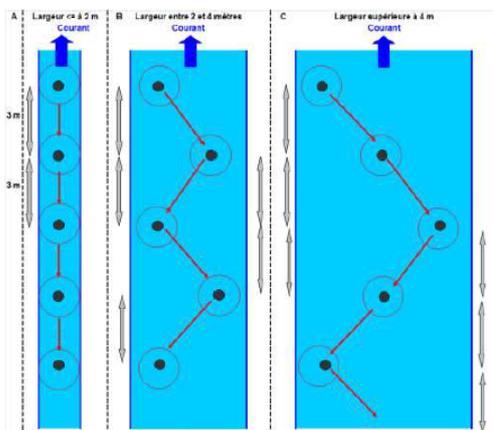


Figure 8: Modalités de prospection en fonction de la largeur du cours d'eau (P.M CHAPON, ONEMA - 2007)

Le protocole de pêche électrique utilisé est celui de l'« Indice d'Abondance Anguille » (IAA), mis au point par Cédric Briand (Institut d'Aménagement de la Vilaine) et Pascal Laffaille (Laffaille *et al.*, 2005). La méthode, basée sur un Échantillonnage Ponctuel d'Abondance (EPA), consiste à prospecter par points en balayant le cours d'eau selon un plan d'échantillonnage déterminé par la largeur du cours d'eau. Ainsi, sur chaque station de 100 m (sites de pêche accessibles), 30 points de pêche de 30 secondes sont répartis régulièrement, avec un espacement minimum de 3 m (Figure 8). L'opération dure 1 à 2 heures par station en fonction de l'abondance du peuplement. La prospection se fait de manière systématique sur le cours d'eau sans cibler les habitats préférentiels de l'anguille. Cependant le linéaire prospecté est choisi pour couvrir autant que possible la diversité d'habitats de la station.

### 3.2. Matériel

Ce sont des pêches électriques qui sont réalisées. Un champ électrique généré dans l'eau attire les poissons vers le pôle positif (anode) et les immobilise pour faciliter leur capture. Le matériel de pêche utilisé est composé de : un appareil de pêche électrique portable (type « martin-pêcheur » pour les cours d'eau de faible profondeur (< 60 cm) ; pour les cours d'eau de plus grande profondeur ou les stations pêchées en rive, un matériel plus puissant (Type « Héron » ou « EFKO ») est utilisé en adaptant le protocole, notamment pour l'échantillonnage des annexes hydrauliques de la Loire, de Nantes à Montsoreau) ; deux épuisettes à cadre métallique avec le bord inférieur droit de 60 cm de large avec des mailles de 2 mm ; une petite épuisette à main (« volante ») ronde ou carrée avec des mailles de 2 mm ; plusieurs seaux ; un chronomètre ; un décamètre et un topofil.

### 3.3. Mode opératoire

La manipulation au cours de la pêche nécessite six personnes. Un conducteur d'opération reste en rive et est chargé de mesurer la longueur de la station à l'aide d'un topofil et de chronométrer la pêche. Une personne est en charge de l'anode : sur chaque point de pêche, elle ouvre le circuit électrique pendant 30 secondes minimum, avec deux brèves interruptions vers les 20 secondes. Elle fait un mouvement circulaire d'environ un mètre de diamètre dans l'eau. Le champ électrique est évalué dans un cercle de 3 m de diamètre autour du cercle de 1 m.



Figure 9: Équipe de pêche

Deux pêcheurs, l'un avec une épuisette fixe placée en aval de l'anode, et l'autre tenant une autre épuisette fixe (placée juste à côté de l'autre) et une épuisette mobile, récupèrent les poissons. La petite épuisette mobile permet de retirer de l'eau d'autres espèces piscicoles afin d'éviter de les soumettre trop longtemps au choc électrique. Un porteur de seaux est chargé de recueillir les anguilles et peut effectuer les transferts de seaux en berge si nécessaire (Figure 9). Enfin, une personne est chargée de prendre les notes de terrain et transporte le décamètre.

### 3.4. Recueil de données

Toutes les anguilles capturées sont gardées dans un seau avec un fond d'eau pour être mesurées et pesées à la fin des 30 points de pêche ; les pathologies observées sont photographiées. Les autres espèces sont déterminées et comptabilisées par point de pêche.

Dans chacune des stations, des informations générales sur la station (coordonnées GPS, commune, etc.), ainsi qu'un relevé des caractéristiques de l'habitat est effectué (types de faciès (%), types de substrat (%), présence d'habitats pour les poissons, type de végétation aquatique (présence-absence et recouvrement global de la station), ombrage (%), occupation du lit majeur, largeur et profondeur moyenne (en m)) (Annexe 1).

## 4. Analyse des résultats

### 4.1. Classes de taille

Les analyses ont porté sur la présence et l'abondance des anguilles, toutes tailles confondues, mais également sur celles de quatre classes de taille : les anguilles de taille inférieure à 150 mm, de taille comprise entre 150 et 300 mm, de taille comprise entre 301 et 450 mm et enfin, les anguilles de taille supérieure à 450 mm. En effet, ces quatre classes de taille correspondent aux différentes phases du cycle biologique de l'anguille et sont associées à une écologie et des comportements différents (Canal *et al.*, 2013). La première classe de taille (< 150 mm) représente les jeunes anguilles récemment recrutées qui commencent la colonisation du bassin versant. La seconde (150 – 300 mm) correspond aux anguilles plus âgées (de 2 à 5 ans) en colonisation active. Les deux classes suivantes représentent les anguilles jaunes sédentaires, respectivement, essentiellement les mâles (301 – 450 mm) et les femelles (> 450 mm).

### 4.2. Répartition des effectifs observés (indice d'abondance)

Le nombre d'anguilles capturées par station a été rapporté à une même unité d'effort de pêche, le point de pêche. Ainsi, une Capture Par Unité d'Effort (CPUE) a été calculée, d'après les données de biométrie des anguilles. La CPUE est donc ici égale au nombre d'anguilles mesurées sur une station divisé par le nombre de points de pêche réalisés sur la station. Elle est désignée comme l'Indice d'Abondance Anguille (IAA).

La distribution des IAAs ne suivant pas toujours une loi normale, des tests non-paramétriques ont été effectués afin d'analyser leurs variations spatio-temporelles (tests de Friedman et de Kruskal-Wallis, suivis de tests de comparaisons multiples). Que ce soit pour l'analyse des IAAs dans les seules annexes hydrauliques de la Loire aval ou dans les stations du réseau complet, seules les données des opérations réalisées sur les stations communes à toutes les années d'étude ont été analysées. Ce sont les effets de la distance à la mer, de la connectivité latérale, et de l'année, qui ont ainsi été testés sur les IAAs.

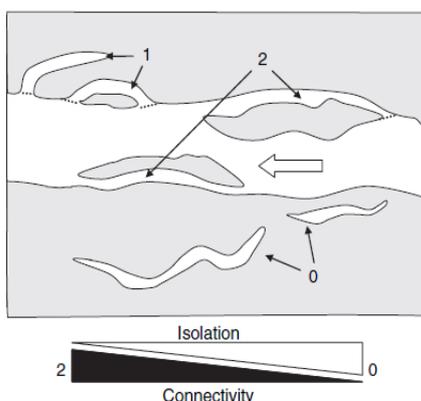
#### a) Distance à la mer

Afin d'étudier l'évolution spatiale des IAAs, certaines stations de pêche ont été regroupées ensemble en fonction de leur distance à la mer. Ainsi, pour la première partie de l'étude, celles situées dans les annexes hydrauliques de la Loire aval ont été regroupées dans trois compartiments. Le premier, le compartiment aval (compartiment A), est situé entre la confluence de la Loire et de la Sèvre Nantaise, et la limite d'influence de l'estuaire dynamique (ou encore limite de marée dynamique (LMD), située à Saint-Florent-le-Vieil, à 100 km de l'estuaire ; source : GIP Estuaire Loire). Le compartiment intermédiaire (compartiment B), est placé entre la LMD et la confluence de la Loire et la Maine, à Bouchemaine. Enfin, le compartiment amont (compartiment C), se situe en amont de cette confluence (Figure 6). Les stations sont respectivement au nombre de 5, 5 et 6 dans les compartiments A, B et C. Pour la deuxième partie de l'étude, des sous-bassins versants géographiquement proches ont été regroupés, ainsi que les stations qu'ils contiennent (Tableau 1).

**Tableau 1 : Nombre de stations d'échantillonnage dans les 6 sous-bassins du réseau anguille 2016**

Sous-bassin	Rivières ou tronçons de la Loire	Nombre de stations
Cher - Indre	Cher, Sauldre, Indre	26
Vienne - Thouet	Vienne, Creuse, Thouet	17
Maine	Loir, Oudon, Sarthe, Mayenne	16
Annexes Loire	Annexes de la Loire aval et de la Loire moyenne	38
Affluents Loire aval	Erdre, Layon, Sèvre Nantaise, Acheneau-Tenu	22
Côtiers vendéens	Vie, Falleron, Jaunay, Lay	9

## b) Connectivité latérale des annexes hydrauliques



La fréquence de connexion des annexes hydrauliques avec le chenal principal détermine leur accessibilité par les espèces piscicoles. Afin d'étudier l'effet de la connectivité des annexes sur leur colonisation par les anguilles, trois niveaux de connectivité ont été identifiés, en Loire aval (Lasne *et al.*, 2008). Ils ont été attribués en fonction (i) du type de connexion avec la Loire, (ii) de la fréquence de connexion et (iii) de leur accessibilité pendant la période

**Figure 10: Typologie de la connectivité latérale de la plaine alluviale (Lasne *et al.*, 2008)** d'étude. Les sites de type 0 sont uniquement connectés au chenal principal à des niveaux d'eau élevés ; les sites de type 1 sont connectés à des niveaux d'eau intermédiaires, et les sites de type 2 sont connectés la majeure partie de l'année (Figure 10, Tableau 2).

**Tableau 2 : Connectivité des annexes hydrauliques de Loire aval échantillonnées en 2016**

Niveau de connectivité	0	1	2
	Connexion rare	Connexion régulière	Connexion fréquente
Nombre de stations	2	5	9

### 4.3. Probabilités de présence des jeunes stades (indice de colonisation)

Les patrons de distribution des petites anguilles (< 150 mm et < 300 mm) le long de l'axe Loire, de ses principaux affluents et des côtières vendéens, ont également été analysés. Pour cela, un indice standardisé de colonisation des bassins versants a été calculé, sur la base de l'analyse de la présence des classes de tailles, modélisée à l'aide de régressions logistiques (Lasne & Laffaille, 2008). Cette analyse permet de calculer la  $D_{0,5}$ , qui correspond à la distance à partir de l'estuaire dynamique pour laquelle la probabilité d'observer des anguilles de la classe de taille sur une station échantillonnée devient inférieure à 0,5 (*i.e.* une chance sur deux). Cette distance est désignée comme l'indice du *front de colonisation* de la classe de taille. L'analyse temporelle a été effectuée en fonction de l'historique des données disponibles : le front de colonisation sur les annexes hydrauliques de la Loire aval a été calculé à partir de l'année 2005. Ceux de l'ensemble du linéaire de la Loire, de ses

affluents et des côtiers vendéens ont été calculés pour les années 2013 et 2016. L'équation du modèle de régression logistique est la suivante :

présence (classe de taille)  $\sim$  bassin + année + distance mer + bassin\*année + bassin\*distance mer + distance mer\*année

## RÉSULTATS

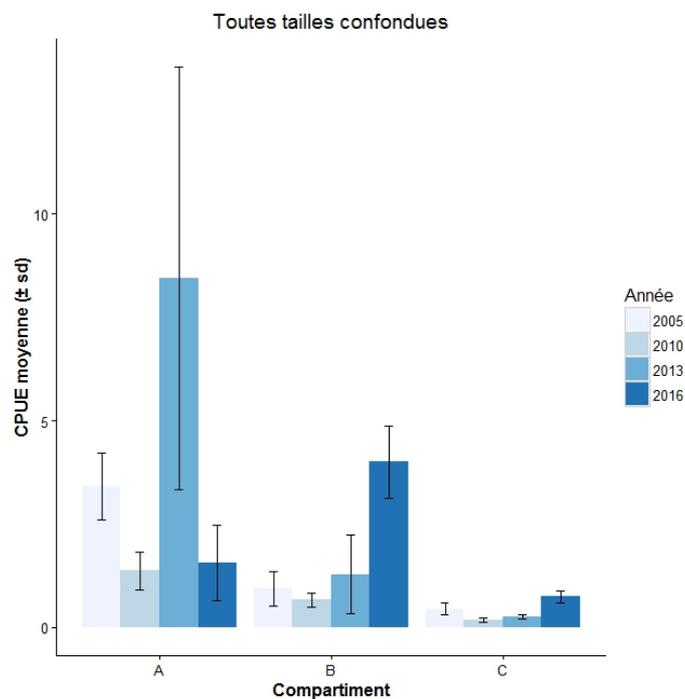
### 1. Annexes hydrauliques de la Loire aval

Sur les 16 stations échantillonnées en 2016, 906 anguilles ont été mesurées (Annexe 2), soit en moyenne 56 anguilles par station.

#### 1.1. Indice d'Abondance Anguille

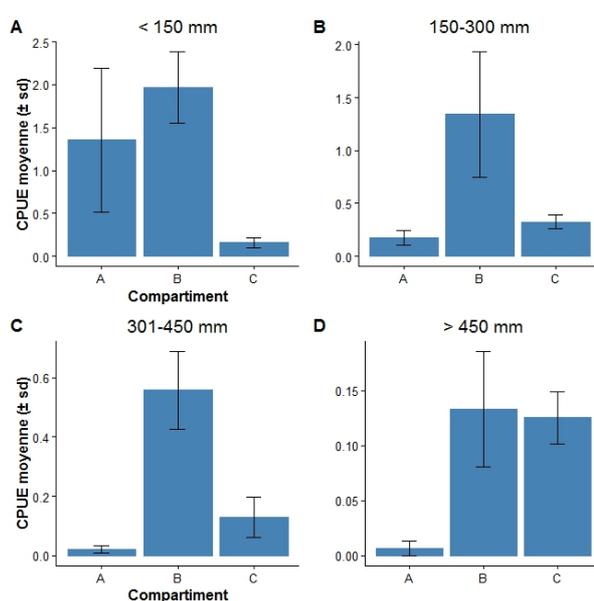
##### a) Effet de la distance à l'océan

En 2005, 2010 et 2013, un gradient aval-amont significatif était observé dans l'abondance des anguilles (Figure 11).



**Figure 11: Abondance moyenne des anguilles (nombre moyen d'individus par EPA  $\pm$  écart-type) selon la distance des stations à l'océan, lors des quatre années d'étude (A : compartiment aval , B : compartiment intermédiaire , C : compartiment amont)**

En revanche, en 2016, l'abondance totale des anguilles est significativement différente entre les trois compartiments (test de Kruskal-Wallis,  $KW = 6,2$ ,  $p < 0,05$ ), mais il n'y a pas de gradient aval-amont observable. Il y a significativement plus d'anguilles dans le compartiment B que dans les deux autres compartiments (tests de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ). Pour chaque classe de taille, l'abondance moyenne des anguilles en 2016 est significativement différente entre les trois compartiments (tests de Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ). Elle est supérieure dans le compartiment B, sauf pour les anguilles de taille supérieure à 450 mm, où elle est équivalente à celle du compartiment C (test de Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ) (Figure 12) (Annexe 3).

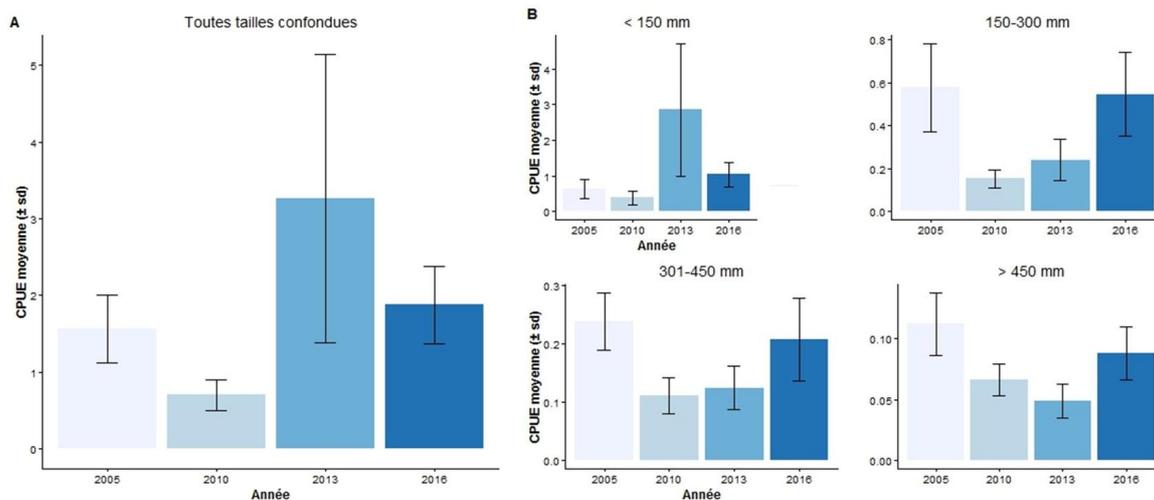


**Figure 12: Abondance moyenne des anguilles (nombre moyen d'individus par EPA  $\pm$  écart-type) pour chaque classe de taille, selon la distance des stations à l'océan, en 2016**

Les abondances moyennes des anguilles de taille inférieure à 150 mm, et comprise entre 150 et 300 mm, ne diffèrent pas significativement entre les compartiments A et C en 2016 (tests de Wilcoxon,  $p > 0,05$ ).

#### b) Effet de l'année d'échantillonnage

Les abondances moyennes d'anguilles (toutes tailles confondues) ne diffèrent pas significativement entre les quatre années d'étude (test de Friedman,  $p > 0,05$ ) (Figure 13 A ; Annexe 4).



**Figure 13: Abondances moyennes des anguilles sur les annexes hydrauliques de la Loire aval (nombre moyen d'individus par EPA  $\pm$  écart-type) lors des quatre années d'étude. A : toutes tailles confondues ; B : classes de tailles distinctes**

Les abondances moyennes des plus petites anguilles (< 150 mm) diffèrent significativement entre les quatre années d'étude (test de Friedman,  $p < 0,05$ ). Elles sont significativement plus élevées en 2016 qu'en 2010 (Figure 13 B ; Annexe 4).

Concernant les anguilles de taille comprise entre 150 et 300 mm, leurs abondances moyennes ne varient pas de façon significative entre les quatre années d'étude (test de Friedman,  $p > 0,05$ ) (Figure 13 B ; Annexe 4).

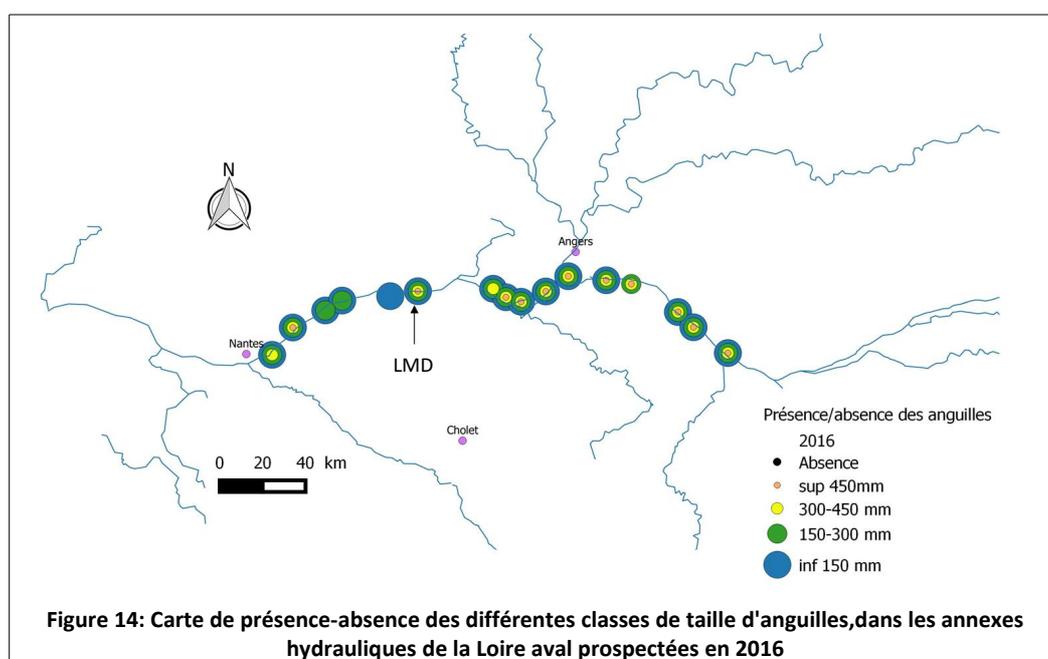
Enfin, les abondances moyennes des anguilles de taille supérieure à 301 mm diffèrent significativement entre les quatre années d'étude (tests de Friedman,  $p < 0,05$ ). Aucune différence significative n'est constatée entre 2016 et les trois autres années (Figures 13 B ; Annexe 4).

### c) Effet de la connectivité latérale

En 2016, la comparaison des effectifs d'anguilles dans les stations en fonction de leur degré de connectivité à l'axe principal ne met pas en évidence de différence significative quelle que soit la classe de taille prise en compte (tests de Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ).

## 1.2. Probabilités de présence des jeunes stades dans les annexes hydrauliques

Lors de la campagne d'échantillonnage de 2016, des anguilles ont été retrouvées sur toutes les stations prospectées, c'est-à-dire de Nantes (Boire de Longue Mine) jusqu'à Saumur (Bras de l'Île Offard) (Figure 14). Les plus petites anguilles, de taille inférieure à 150 mm (constituant le recrutement de cette année), étaient présentes sur l'ensemble des stations, excepté sur la Boire de Gohier (située à Blaison Gohier). Elles ont donc été retrouvées jusqu'au niveau de Saumur, à environ 90 km de la LMD, alors qu'en 2013, lors de la campagne précédente, elles n'étaient plus observées au-delà des Rosiers-sur-Loire, à 78 km de la LMD. Les anguilles de taille comprise entre 150 et 300 mm ont également été observées sur l'ensemble des stations, excepté sur la boire de Sainte Catherine (à Bouzillé).



Les probabilités de présence des anguilles de taille inférieure à 150 mm et 300 mm ont progressé en 2016 par rapport aux années précédentes (Figure 15). En effet, en 2016, à la dernière station en amont (Bras de l'Île Offard), la probabilité de trouver une anguille < 150 mm était de 0,8 tandis qu'en 2013 elle était de 0,08 (Figure 15 A). De même, en 2016, à la dernière station en amont, la probabilité de trouver une anguille < 300 mm était de 1, tandis qu'en 2013 elle était de 0,82 (Figure 15 B). Les fronts de colonisation ont donc dépassé cette zone d'étude en 2016. Néanmoins, leur calcul a été rendu possible grâce à l'extension du réseau anguille vers l'amont du bassin depuis

2013 (voir partie 2.2 page 22).

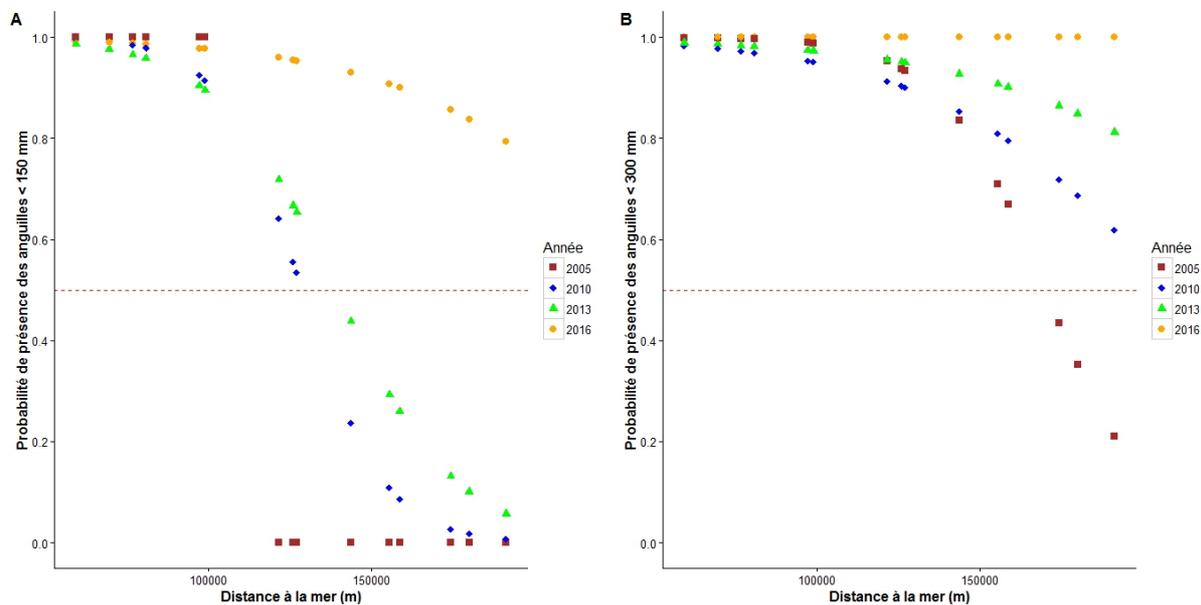


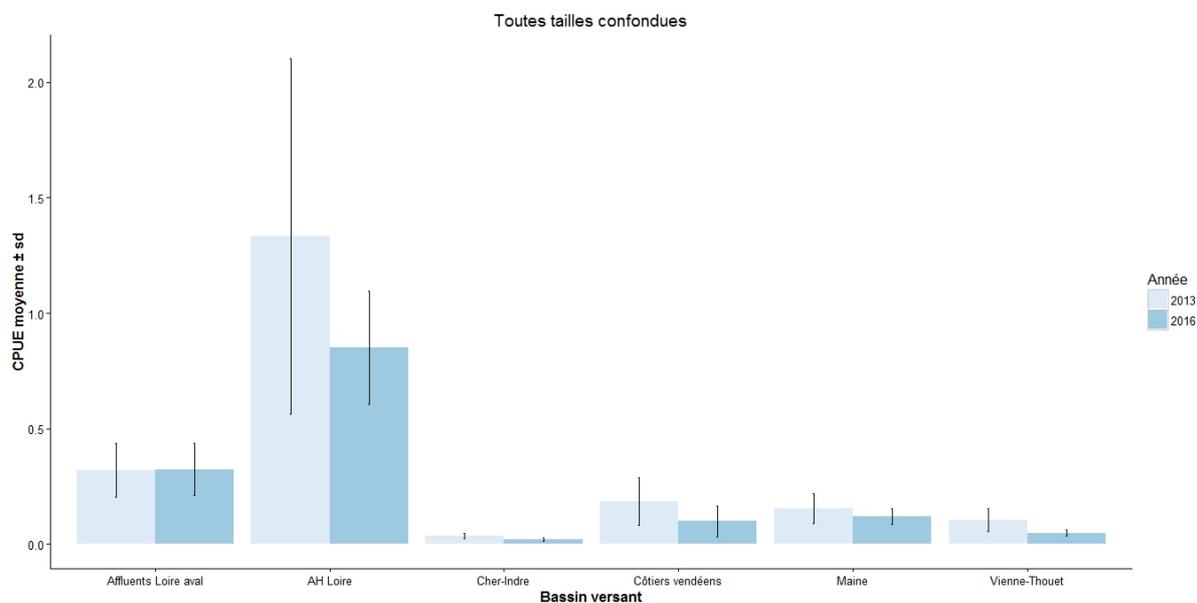
Figure 15: Evolution des probabilités de présence des anguilles dans les annexes hydrauliques de la Loire aval en 2005, 2010, 2013 et 2016 (A : anguilles < 150 mm ; B : anguilles < 300 mm)

## 2. Ensemble des stations du réseau anguille

### 2.1. Indice d'Abondance Anguille

#### a) Effet du bassin versant

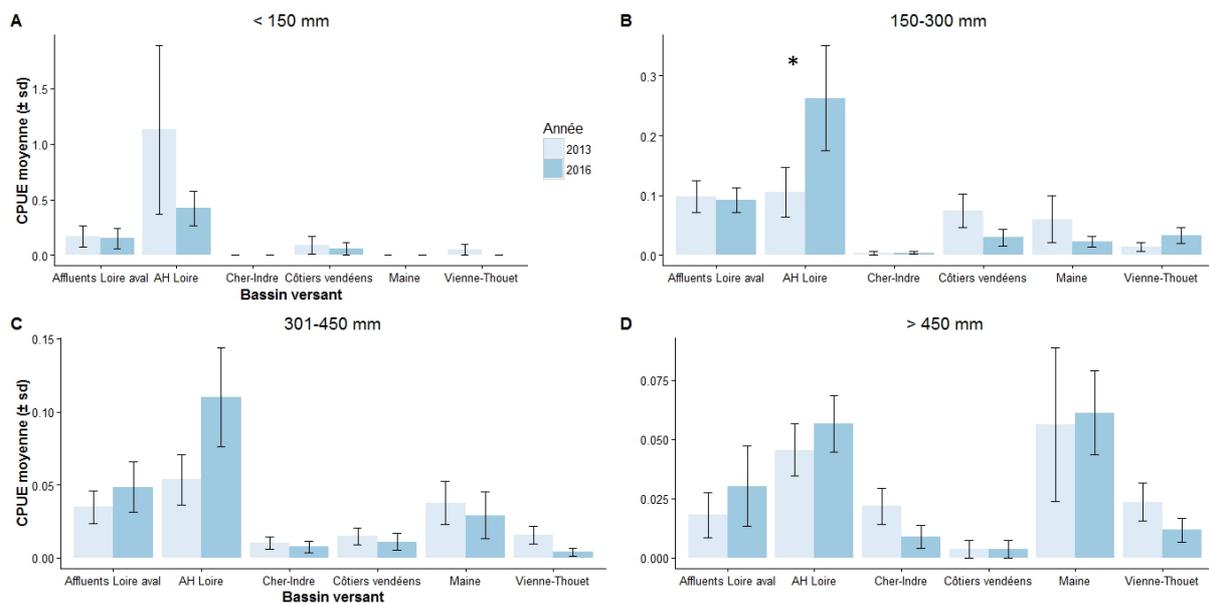
En 2016, les abondances moyennes d'anguilles toutes tailles confondues sont significativement différentes entre les six bassins versants (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0,01$ ) (Figure 16). Il y a en moyenne significativement plus d'anguilles dans les annexes hydrauliques de la Loire que dans les bassins Cher – Indre et Vienne – Thouet (tests de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ). En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les annexes hydrauliques de la Loire et les affluents de la Loire aval (test de Mann-Whitney,  $p > 0,05$ ). Le bassin de la Maine contient en moyenne significativement plus d'anguilles que le bassin versant Cher - Indre (test de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ).



**Figure 16: Abondance moyenne des anguilles, toutes tailles confondues (nombre moyen d'anguilles par EPA), pour les six bassins versants étudiés, en 2013 et 2016**

L'abondance moyenne des plus petites anguilles diffère de façon significative entre les bassins versants en 2016 (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) (Figure 17 A). Il y a en effet significativement plus d'anguilles de taille inférieure à 150 mm dans les annexes hydrauliques de la Loire, dans le bassin Loire aval et dans les fleuves côtiers de Vendée, que dans les autres bassins (tests de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ). La prépondérance des jeunes anguilles dans les annexes hydrauliques et affluents situés en aval avait déjà été mise en évidence en 2013 (Canal *et al.*, 2013). Par ailleurs, tout comme en 2013, cette classe de taille est absente, en 2016, sur les bassins Cher-Indre et Maine. Elle était faiblement présente dans le bassin Vienne-Thouet en 2013, mais elle apparaît dorénavant absente (Figure 17 A).

En 2016, une différence significative dans les abondances moyennes d'anguilles de taille comprise entre 150 et 300 mm est également constatée entre les bassins versants (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) (Figure 17 B). En effet, ces anguilles sont significativement plus nombreuses, en moyenne, dans les annexes hydrauliques de la Loire et sur les affluents avals de la Loire, que sur le reste de la zone d'étude (tests de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ).



**Figure 17: Abondance moyenne de chaque classe de taille d'anguilles (nombre moyen d'anguilles par EPA) dans les six bassins versants étudiés, en 2013 et 2016 (\* :  $p < 0,05$ )**

Une différence significative est également constatée, en 2016, dans les abondances moyennes d'anguilles de taille comprise entre 300 et 450 mm, entre les bassins versants (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) (Figure 17 C). Ces anguilles sont significativement plus présentes, en moyenne, dans les annexes hydrauliques de la Loire et ses affluents aval que dans les bassins Cher - Indre, et Vienne - Thouet (tests de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ).

Enfin, une différence significative est aussi constatée, en 2016, dans les abondances moyennes d'anguilles de taille supérieure à 450 mm, entre les bassins versants (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ) (Figure 17 D). Ces anguilles sont en moyenne moins nombreuses dans les bassins Vienne - Thouet, Cher - Indre et côtiers vendéens que dans celui de la Maine (tests de Mann-Whitney,  $p < 0,05$ ).

#### b) Effet de l'année d'échantillonnage

Sur les 128 stations d'échantillonnage, 1307 anguilles ont été mesurées au total en 2016 : 906 dans les annexes hydrauliques de la Loire aval et 401 sur le reste du réseau. En 2013, sur ces mêmes stations, 1935 anguilles avaient été mesurées : 1480 dans les annexes hydrauliques de la Loire aval et 455 sur les stations restantes.

En 2013, 0,5 anguille par point de pêche ( $\pm 2,63$ ) était pêchée en moyenne sur l'ensemble du réseau (toutes tailles confondues), alors qu'en 2016, l'abondance moyenne diminue de 33 % (0,34 anguille /EPA  $\pm 0,91$ ). Toutefois, cette différence n'est pas significative (test de Wilcoxon,  $V = 1871,5$ ,

$p > 0,05$ ).

Entre 2013 et 2016, aucune différence significative n'est constatée entre les abondances moyennes d'anguilles, pour chaque classe de taille (Tableau 3).

**Tableau 3 : Abondances moyennes d'anguilles par EPA (toutes tailles confondues et 4 classes de taille) en 2013 et 2016, sur l'ensemble du réseau anguille, et résultats des tests de significativité**

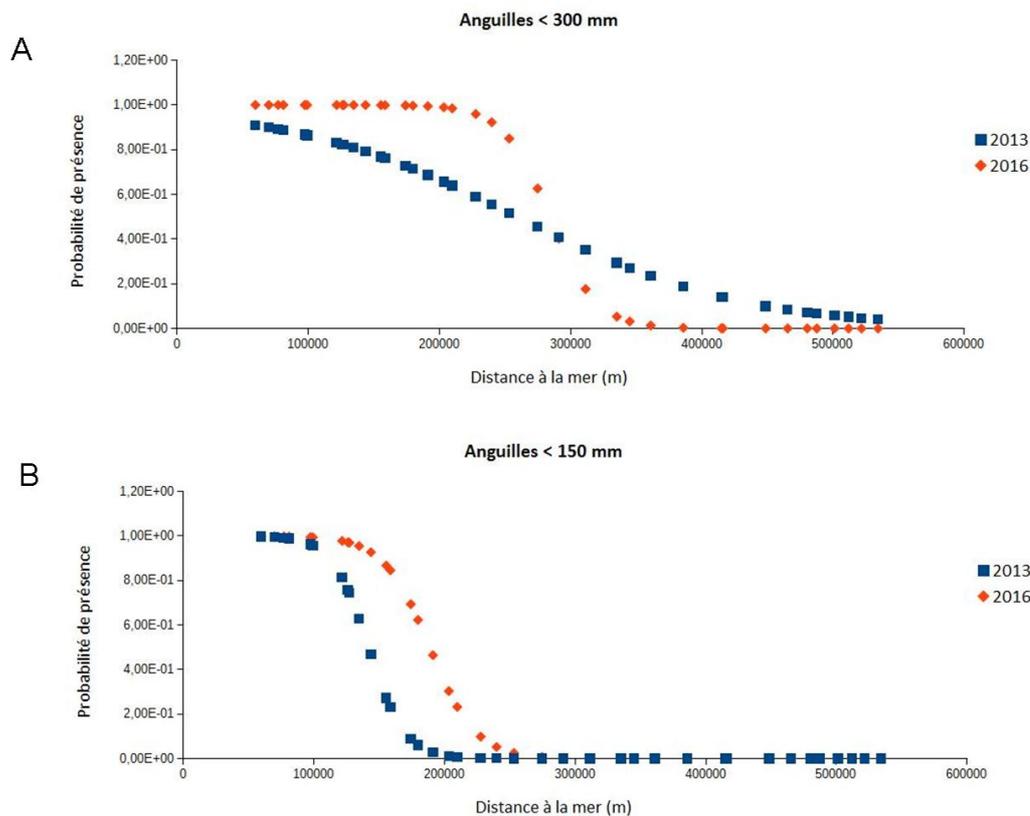
Classes de taille	Effectifs moyens d'anguilles par EPA en 2013	Effectifs moyens d'anguilles par EPA en 2016	p (Test de Wilcoxon)
Anguilles < 150 mm	0,38	0,15	0,76
Anguilles 150 – 300 mm	0,06	0,10	0,18
Anguilles 300 – 450 mm	0,03	0,05	0,57
Anguilles > 450 mm	0,03	0,03	0,54
Total	0,50	0,34	0,59

En ce qui concerne les différents bassins versants, les abondances moyennes d'anguilles (toutes tailles confondues) n'ont évolué pour aucun d'entre eux (tests de Wilcoxon,  $p > 0,05$ ) (Figure 16).

La seule évolution temporelle constatée concerne les anguilles de taille comprise entre 150 et 300 mm : elles sont significativement plus nombreuses en moyenne dans les annexes hydrauliques de la Loire en 2016 qu'en 2013 (test de Wilcoxon,  $p < 0,05$ ) (Figure 17).

## 2.2. Probabilités de présence des jeunes stades

En 2013, le front de colonisation des anguilles de taille inférieure à 300 mm était situé, le long de l'axe Loire, à 153 km de la LMD. En 2016, cette distance passe à 175 km, faisant progresser le front de colonisation de 22 km vers l'amont (Figure 18 A). Le front de colonisation des plus petites anguilles, de taille inférieure à 150 mm, a également progressé le long de l'axe Loire entre 2013 et 2016, passant de 40 km en 2013 à 85 km en 2016 (Figure 18 B).



**Figure 18: Evolution temporelle des fronts de colonisation des anguilles < 150 mm et < 300 mm sur les annexes hydrauliques de la Loire (A : anguilles < 300 mm ; B : anguilles < 150 mm)**

Sur les affluents principaux de la Loire ainsi que sur les côtières vendéens, des évolutions sont également constatées entre 2013 et 2016. En 2016, le front de colonisation des anguilles < 300 mm a progressé vers l'amont sur le Cher, l'Indre, la Vienne ainsi que le Loir. Sur l'Erdre et le Layon, le front de colonisation des anguilles de taille inférieure à 150 mm a progressé vers l'amont entre 2013 et 2016 (Annexe 5).

## DISCUSSION

### 1. Évolutions des abondances d'anguilles et des fronts de colonisation

Sur les annexes hydrauliques de la Loire aval, les abondances moyennes d'anguilles (toutes tailles confondues) n'ont pas significativement évolué entre 2016 et les autres années d'étude. Une progression des abondances moyennes d'anguilles de taille supérieure à 150 mm s'observe entre 2013 et 2016, cependant, elle n'est pas significative. Les fortes abondances des plus petites anguilles (< 150 mm) en 2013 n'ont pas été maintenues en 2016.

Toutefois, en 2016, un patron de distribution des anguilles différent de celui observé en 2005, 2010 et 2013 a été mis en évidence. En effet, alors qu'en 2005, 2010 et 2013, les abondances moyennes des anguilles (toutes tailles confondues) diminuaient significativement de l'aval vers l'amont, en 2016, c'est dans la zone intermédiaire (en amont de l'estuaire dynamique) que les anguilles sont en moyenne plus abondantes. Ceci a également été constaté pour trois classes de taille d'anguilles (< 150 mm, 150 – 300 mm et 301 – 450 mm). La diminution des abondances d'anguilles de l'aval vers l'amont des cours d'eau est pourtant un schéma de distribution très souvent mis en évidence (Laffaille *et al.*, 2003). Les observations faites dans les annexes hydrauliques de la Loire aval en 2016 traduisent une homogénéisation de la répartition des anguilles appartenant aux trois classes de taille inférieures. De forts recrutements antérieurs, entraînant une hausse des effectifs ainsi qu'une saturation des habitats situés en aval, pourraient expliquer ce phénomène. En effet, en 2013, une augmentation des abondances globales d'anguilles, essentiellement due au fort recrutement estuarien de l'hiver 2012-2013 (Canal *et al.*, 2013), avait été constatée. La forte hausse en 2016 des effectifs d'anguilles de taille comprise entre 150 et 300 mm dans le compartiment intermédiaire peut également être la conséquence de ce fort recrutement estuarien de 2013. En effet, les anguilles de taille inférieure à 150 mm qui le constituaient au moment de la précédente étude ont, depuis, grandi et migré vers le compartiment intermédiaire, mais aussi vers le compartiment amont. De plus, les habitats situés en aval commencent à être saturés : c'est pourquoi des anguilles de taille inférieure à 150 mm sont retrouvées, en 2016, jusque dans le compartiment le plus amont de la zone d'étude. Ce compartiment correspond cependant à un secteur très en aval à l'échelle du bassin versant de la Loire.

Par ailleurs, sur les annexes hydrauliques de la Loire aval, une progression du front de colonisation des anguilles de taille inférieure à 150 mm et de taille comprise entre 150 et 300 mm a été mise en évidence, par rapport aux trois années d'études précédentes. Cette observation confirme l'utilisation optimale des habitats avals, poussant les anguilles migrantes à remonter plus loin en amont. Le front de colonisation de ces deux classes de taille d'anguilles a dépassé la zone d'étude (annexes hydrauliques de Loire aval), sa distance actuelle a donc été calculée dans le cadre de l'analyse à l'échelle du réseau entier (partie 2.2 page 22). Ce résultat confirme l'intérêt d'étendre l'étude de la colonisation des anguilles à une plus large échelle sur le bassin de la Loire.

L'analyse à l'échelle du bassin versant de la Loire met ainsi en évidence, entre 2013 et 2016, une progression du front de colonisation des anguilles de taille comprise entre 150 et 300 mm de 22 km vers l'amont sur l'axe Loire ( $D_{0,5}$  située à 175 km de la limite de marée dynamique). Par ailleurs, un contraste plus marqué en 2016 qu'en 2013 dans les probabilités de présence des anguilles < 300 mm est observé. En 2013, les valeurs des probabilités diminuaient progressivement de l'aval vers l'amont, tandis qu'en 2016 la limite entre la présence et l'absence est plus nette. Ceci traduit une occupation optimale des stations avals en 2016.

La progression, sur ce même axe, de la  $D_{0,5}$  des anguilles de taille inférieure à 150 mm est plus marquée, étant passée de 40 km en 2013 à 84 km en 2016.

Des augmentations de la  $D_{0,5}$  des anguilles de taille comprise entre 150 et 300 mm ont également été observées sur certains affluents de la Loire, entre 2013 et 2016. Ainsi, la  $D_{0,5}$  a progressé sur la Vienne, le Loir, le Cher ainsi que l'Indre. Les abondances moyennes de ces anguilles ne sont pourtant pas significativement différentes entre 2013 et 2016 dans les sous - bassins Cher - Indre, Vienne - Thouet et Maine. La  $D_{0,5}$  n'a pas évolué significativement entre 2013 et 2016 sur les bassins de la Sèvre Nantaise et de la Creuse.

Par ailleurs, il y a peu d'évolution dans les abondances d'anguilles entre 2013 et 2016 sur l'ensemble de la zone d'étude. La seule augmentation significative des abondances moyennes d'anguilles entre 2013 et 2016 concerne uniquement les individus de taille comprise entre 150 et 300 mm dans les annexes hydrauliques de la Loire. Les effets positifs du bon recrutement estuarien de 2013 sont donc encore visibles en 2016. Cependant, cette augmentation n'est visible dans aucun des affluents étudiés. De plus, aucune anguille de taille inférieure à 150 mm n'est présente, en 2016, dans les affluents Maine, Vienne - Thouet et Cher - Indre. En 2013, cette classe de taille était également absente dans le sous-bassin de la Maine ainsi que dans le sous-bassin Cher - Indre. Ce phénomène peut être expliqué par l'effet de la distance à la mer, qui modifie les densités d'anguilles

ainsi que les structures de taille de population, comme vu précédemment, mais il est peut-être également dû à un recrutement fluvial encore trop faible actuellement, qui ne permet pas aux anguilles de progresser loin vers l'amont des bassins versants. Par ailleurs, les sous-bassins de la Maine, du Cher et de la Vienne, de par la forte densités d'ouvrages qu'ils possèdent, ont été identifiés comme prioritaires pour la restauration des populations d'anguilles dans le Sdage Loire – Bretagne 2016 – 2021. Un effet impactant des ouvrages est donc peut-être également la cause de cette observation.

## 2. Méthode

Le suivi du réseau anguille Loire 2016 a permis d'analyser l'évolution spatio-temporelle de la distribution des anguilles sur le bassin versant de la Loire ainsi que sur les côtiers vendéens. Ainsi, aucune différence significative n'a été mise en évidence dans les abondances globales des anguilles entre les quatre années d'étude, sur les annexes hydrauliques de la Loire aval. Cependant, en 2013, les abondances moyennes des anguilles, toutes tailles confondues, avaient nettement augmenté par rapport aux années précédentes. Ceci était dû à une capture record de jeunes anguilles < 150 mm dans la station située le plus en aval (boire de Longue Mine). Un effet très local a donc modifié l'interprétation des résultats sur l'ensemble de la zone d'étude.

En 2016, le choix a été pris de ne pas échantillonner les stations de pêche situées dans les annexes hydrauliques de la Loire les plus éloignées de l'axe principal, et par conséquent moins fréquemment connectées au fleuve, afin d'éviter un biais. Aucune différence significative dans les abondances d'anguilles entre les stations plus ou moins connectées n'a été mise en évidence en 2016, tout comme en 2013. Ceci rassure sur le choix des stations, car le biais que l'effet de la connectivité pouvait potentiellement entraîner semble se révéler inexistant. Cependant, Lasne *et al.*, en 2008, avaient mis en évidence que les anguilles < 150 mm étaient plus abondantes dans les annexes les mieux connectées. Les présents résultats peuvent être mis en relation avec la forte montée des niveaux d'eau survenue lors de la crue de juin. En effet, les hauts niveaux ont pu permettre à la faune piscicole de se disperser sur l'ensemble des habitats de la plaine alluviale, indépendamment du degré de connectivité des annexes (Lasne *et al.*, 2008). La crue aurait donc permis une meilleure dispersion des anguilles sur la plaine alluviale, diminuant ainsi la probabilité de les capturer. Cependant, en 2016, comme les pêches ont été réalisées plus tardivement à cause de la crue, les niveaux d'eau à la période de prospection étaient significativement plus bas qu'en 2013

(test de Wilcoxon,  $p < 0,01$ ). L'efficacité de pêche était donc théoriquement plus élevée.

Les abondances observées d'anguilles sont faibles dans les affluents amont, alors que l'espèce peut être retrouvée jusqu'en tête des bassins, sous la limite de 1000 m d'altitude. Le protocole de pêche employé ne cible pas préférentiellement les habitats des anguilles. Ainsi, la faible abondance des anguilles dans ces bassins, en plus du protocole employé, augmente le risque de faux négatifs (*i.e* non-détection des individus présents) et la population des bassins amont est mal décrite. Le protocole pourrait être adapté en amont, pour cibler des stations plus attractives, et les habitats préférentiels des jeunes anguilles. En effet, des articles montrent que les anguilles n'occupent pas les mêmes habitats en fonction de leur âge (Laffaille *et al.*, 2003). Les données disponibles avec le réseau anguille Loire peuvent permettre de réaliser des analyses statistiques (ACP, partition de variance), afin de déterminer quelles peuvent être les stations les plus attractives pour les jeunes anguilles, ainsi que l'échelle à laquelle l'attraction des stations se joue, et ainsi mieux placer les stations. Mais ceci entraînant un biais, la comparaison avec l'aval ne serait plus possible. Le protocole actuellement employé est donc efficace pour suivre les anguilles en aval, et alerter sur d'éventuels phénomènes en amont, qui demanderaient d'être étudiés plus en détails.

Enfin, les flux de civelles colonisent l'estuaire et les cours d'eau par « vagues » successives. Le réseau anguille n'étant prospecté que dans une fenêtre temporelle étroite, de juin à juillet, il est possible que la répartition spatiale et l'abondance des jeunes anguilles soit sensible à la période d'échantillonnage, avec le risque de ne pas observer le recrutement fluvial réel. En 2016, un record d'anguilles a été enregistré sur la station de comptage à Châtelleraut, or, le réseau anguille montre que sur la Vienne, l'abondance d'anguille n'est pas significativement différente entre 2013 et 2016. Il faudrait ainsi peut-être échantillonner régulièrement un nombre réduit de stations de mai à août pour mieux comprendre la cinétique de colonisation d'un bassin versant par l'anguille.

La fréquence d'échantillonnage du réseau, tous les 3 ans, permet un suivi global du recrutement d'anguilles inférieures à 300 mm, ce qui correspond aux recrutements des 3 ou 4 années précédentes, selon leur vitesse de croissance. Le suivi des anguilles de taille inférieure (50-150 mm) décrit mieux le recrutement estuarien récent et permet d'obtenir une série temporelle plus réactive, à une échelle de temps plus proche de celle de la décision (gestion annuelle de la pêche), mais nécessiterait une actualisation plus fréquente (tous les ans) et une réduction de l'étendue du réseau, à moyens égaux.

## CONCLUSION

Sur l'ensemble du réseau anguille Loire, entre 2013 et 2016, peu d'évolution dans les abondances d'anguilles ont été observées. Sur la partie du réseau située plus en aval (annexes hydrauliques de la Loire), les abondances d'anguilles semblent moins élevées qu'en 2013, mais une tendance de hausse est visible par rapport à 2010, sans toutefois atteindre les effectifs de 2005. Une homogénéisation des abondances des plus petites anguilles en Loire aval (annexes hydrauliques) a été mise en évidence en 2016, ainsi qu'une progression de leur front de colonisation sur l'axe Loire.

Cependant, des bassins versants apparaissent toujours vides d'anguilles < 150 mm en 2016 (ou du moins très peu colonisés par cette classe de taille). Le recrutement annuel d'anguilles sur la Loire semble encore donc être encore insuffisant à l'échelle du bassin versant : les efforts d'amélioration de la qualité des habitats de l'anguille ainsi que diminution de pression de pêche sont donc à poursuivre.

## BIBLIOGRAPHIE

- Adam G., 1997. *L'anguille européenne (Anguilla anguilla L. 1758) : Dynamique de la sous-population du lac de Grand-lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques*. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.
- Adam G., Feunteun E., Prouzet P., Rigaud C., 2008. *L'anguille européenne: Indicateurs d'abondance et de colonisation*. Éditions Quae. 402 p.
- Baisez A., 2007. *L'anguille, vie et péripéties de ce poisson migrateur hors du commun du bassin de la Loire*. Éditions Loire et terroirs
- Besse T., 2016. *Protocole de suivi du front de colonisation de l'anguille sur les bassins de la Loire et des côtières vendéens*. 28 p. Tableau de bord Anguille LOGRAMI
- Bevacqua D., Melià P., Gatto M., De Leo G. A., 2015. *A global viability assessment of the European eel*. Global Change Biology
- Canal J., Besse T., Baisez A., Laffaille P., 2013. *Front de colonisation de l'Anguille européenne en Loire, année 2013*. 39 p. Association LOGRAMI, laboratoire Ecolab (Écologie Fonctionnelle et Environnement) - UMR 5245 CNRS UPS INPT
- Keith P., 2011. *Les Poissons d'eau douce de France*. Éditions Biotope. 552 p.
- Laffaille P., Feunteun E., Baisez A., Robinet T., Acou A., Legault A., Lek S., 2003. *Spatial organisation of European eel (Anguilla anguilla L.) in a small catchment*. Ecology of Freshwater Fish. Vol. 12, n°4, p. 254-264.
- Laffaille P., Briand C., Fatin D., Lafage D., Lasne E., 2005. *Point sampling the abundance of European eel (Anguilla anguilla) in freshwater areas (English)*. Archiv für Hydrobiologie. Vol. 162, n°1, p. 91-98.
- Lambert P., Feunteun E., Crivelli A. J., 2003. *The eel, a challenge for scientists - Proceedings of the GRISAM Conference on Eels, La Tour du Valat, March 26-29, 2001*. Bulletin Français Pêche et Pisciculture. n°368, p. 1-7.
- Lasne É., Acou A., Vila-Gispert A., Laffaille P., 2008. *European eel distribution and body condition in a river floodplain: effect of longitudinal and lateral connectivity*. Ecology of Freshwater Fish. Vol. 17, n°4, p. 567-576.
- Lasne É., Laffaille P., 2008. *Assessing the freshwater distribution of yellow eel*. Kmae. Vol. 4, p. 390-391.
- Selleslagh J., Lobry J., Amara R., Brylinski j-M., Boët P., 2012. *Trophic functioning of coastal ecosystems along an anthropogenic pressure gradient : A French case study with emphasis on a small and low impacted estuary*. Estuarine, Coastal and Shelf Science . Vol. 112, p. 73-85

Van Ginneken V. J. T., Maes G, 2005. *The European eel (Anguilla anguilla, Linnaeus), its lifecycle, evolution and reproduction: a literature review. Reviews in Fish Biology and Fisheries*. Vol. 15, p. 367–398.

Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. *Eau france* [en ligne]. Kaliop. [Consulté le 22 août 2016]. <http://www.eaufrance.fr/>

Association Loire Grands Migrateurs. *Migrateurs-Loire* [en ligne]. [Consulté le 22 août 2016]. <http://www.migrateurs-loire.fr/>





**Annexe 2 :** Tableau récapitulant les caractéristiques des 16 stations échantillonnées en 2016 dans les annexes hydrauliques de la Loire. <150 : nombre d'anguilles de taille inférieure à 150 mm ; 150-300 : nombre d'anguilles de taille comprise entre 150 et 300 mm ; 301-450 : nombre d'anguilles de taille comprise entre 301 et 450 mm et > 450 : nombre d'anguilles de taille supérieure à 450 mm. Les stations sont classées de l'aval vers l'amont.

Nom de la station	< 150 mm	150 – 300 mm	301-450 mm	> 450 mm	Total
Boire de Longue Mine	8	1	1	0	10
Boire de Mauves	134	11	2	1	148
Boire Chapoin	53	9	0	0	62
Île de la Macrière	5	6	0	0	11
Boire Sainte Catherine	2	0	0	0	2
Bras de l'Île Mocquart	42	12	24	3	81
Bras des Donneaux	74	18	6	0	98
Bras de Cordez	83	93	16	6	198
La Ciretterie 3	32	43	20	8	103
Bras de Guillemette	12	31	17	3	63
Bras de l'Île aux chevaux	5	14	3	5	27
Bras de Belle Île	11	14	2	2	29
Boire de Gohier	0	4	1	3	8
Bras des Rosiers	1	6	1	4	12
Bras de l'Île de Trèves	7	9	2	2	20
Bras de l'Île Offrad	2	12	14	6	34
TOTAL	471	283	109	43	906

**Annexe 3 :** Tableau des CPUEs moyennes d'anguilles (nombre d'individus moyen par EPA ) dans les 3 compartiments étudiés en 2016 , et résultats des tests de significativité

Classes de taille	CPUEs moyennes dans le compartiment A	CPUEs moyennes dans le compartiment B	CPUEs moyennes dans le compartiment C	p (Test de Kruskal-Wallis)
Anguilles < 150 mm	1,35	1,96	0,16	0,04
Anguilles 150 – 300 mm	0,17	1,34	0,32	0,017
Anguilles 301 – 450 mm	0,02	0,56	0,13	0,006
Anguilles > 450 mm	0,006	0,13	0,12	0,02
Total	1,55	4	0,74	0,046

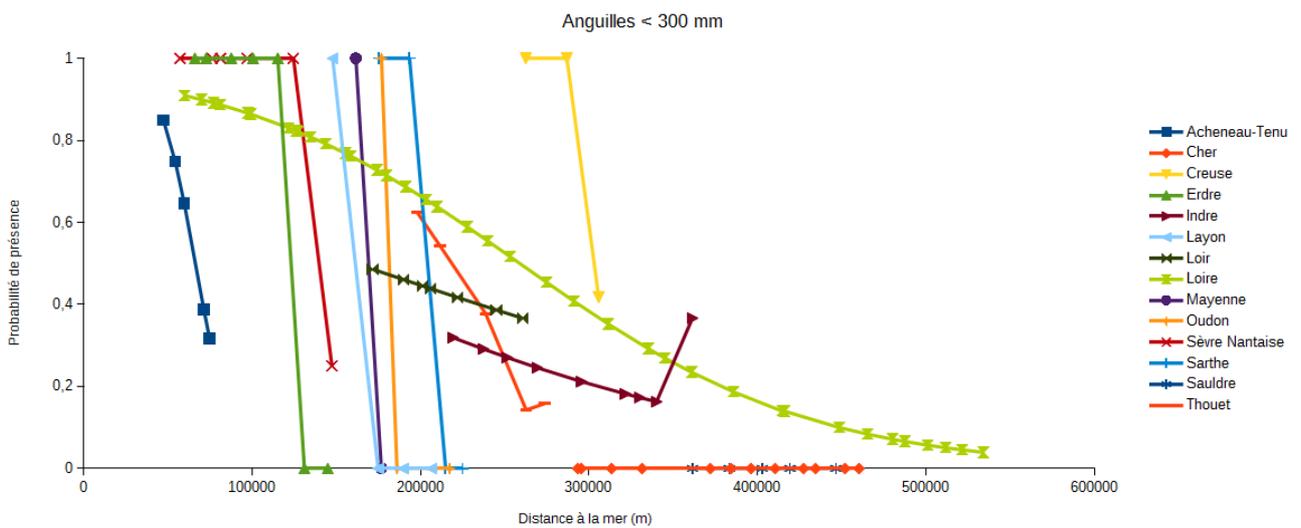
**Annexe 4** : Tableaux des abondances moyennes d'anguilles (nombre moyen d'individus par EPA) lors des quatre années d'échantillonnage, et résultats des tests de significativité

Classes de taille	Effectifs moyens par EPA en 2005	Effectifs moyens par EPA en 2016	p (Test de Wilcoxon)
Total	1,56	1,88	0,847
Anguilles < 150 mm	0,63	1,04	0,167
Anguilles 150 – 300 mm	0,58	0,54	1
Anguilles 301 – 450 mm	0,24	0,20	0,561
Anguilles > 450 mm	0,11	0,09	0,35

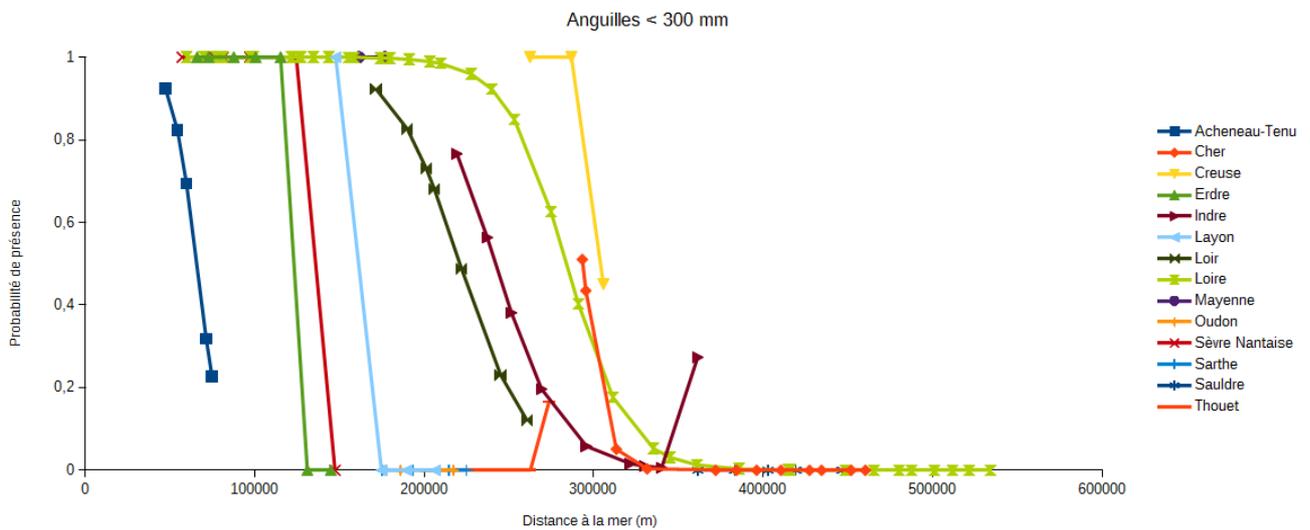
Classes de taille	Effectifs moyens par EPA en 2010	Effectifs moyens par EPA en 2016	p (Test de Wilcoxon)
Total	0,70	1,88	0,026
Anguilles < 150 mm	0,37	1,04	0,045
Anguilles 150 – 300 mm	0,15	0,54	0,017
Anguilles 301 – 450 mm	0,11	0,20	0,327
Anguilles > 450 mm	0,06	0,09	0,35

Classes de taille	Effectifs moyens par EPA en 2013	Effectifs moyens par EPA en 2016	p (Test de Wilcoxon)
Total	3,26	1,88	0,679
Anguilles < 150 mm	2,85	1,04	0,727
Anguilles 150 – 300 mm	0,28	0,54	0,124
Anguilles 301 – 450 mm	0,12	0,20	0,563
Anguilles > 450 mm	0,05	0,09	0,15

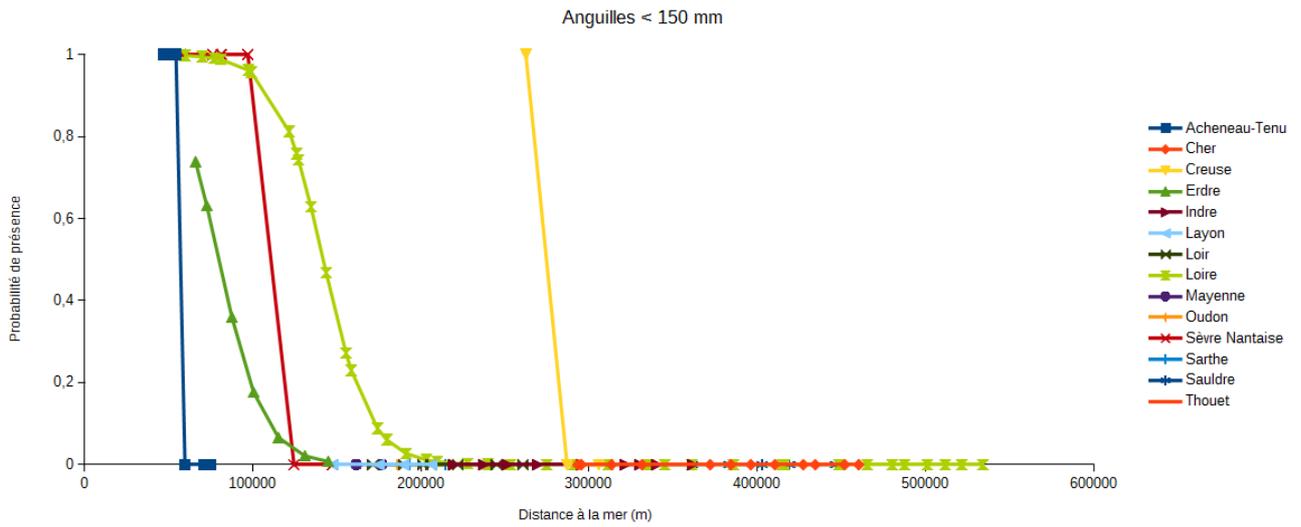
## Annexe 5 : Graphiques des fronts de colonisation



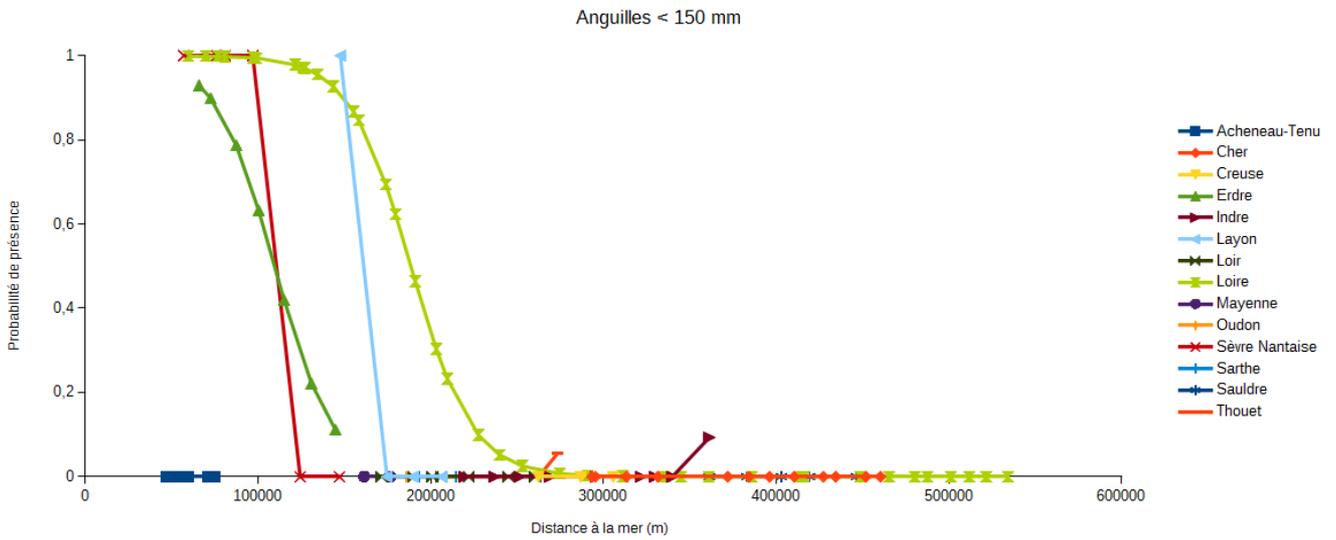
Evolution des probabilités de présence des anguilles < 300 mm en fonction de la distance à la mer, en 2013



Evolution des probabilités de présence des anguilles < 300 mm en fonction de la distance à la mer, en 2016



Evolution des probabilités de présence des anguilles < 150 mm en fonction de la distance à la mer, en 2013



Evolution des probabilités de présence des anguilles < 150 mm en fonction de la distance à la mer, en 2016