

MARS 2023



Actions en faveur des
poissons grands migrateurs
du bassin Loire



FRONT DE COLONISATION DE L'ANGUILLE EUROPEENNE SUR LE BASSIN LOIRE EN 2022

Programme de recherches appliquées en faveur des poissons migrateurs 2022 - volet scientifique



L'Europe c'est ici.
L'Europe c'est maintenant.



Gabrielle ROUGEAUX, Denis LAFAGE, Amaya GAUVIN

Association LOGRAMI

Antenne Allier
8 rue de la Ronde
Mirebalaise
03500 Saint-Pourçain-sur-Sioule
logrami.allier@logrami.fr

Antenne Vienne
112 Faubourg de la Cueilie
86000 Poitiers
logrami.vienne@logrami.fr



Cette action est cofinancée par l'Union Européenne, l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, les Régions Centre Val de Loire et Pays de la Loire. Avec la participation de la Fédération Nationale de Pêche en France et LOGRAMI.

L'Europe s'engage dans le bassin de la Loire avec le Fonds européen de développement régional.



C'est l'endroit
parfait pour
grandir

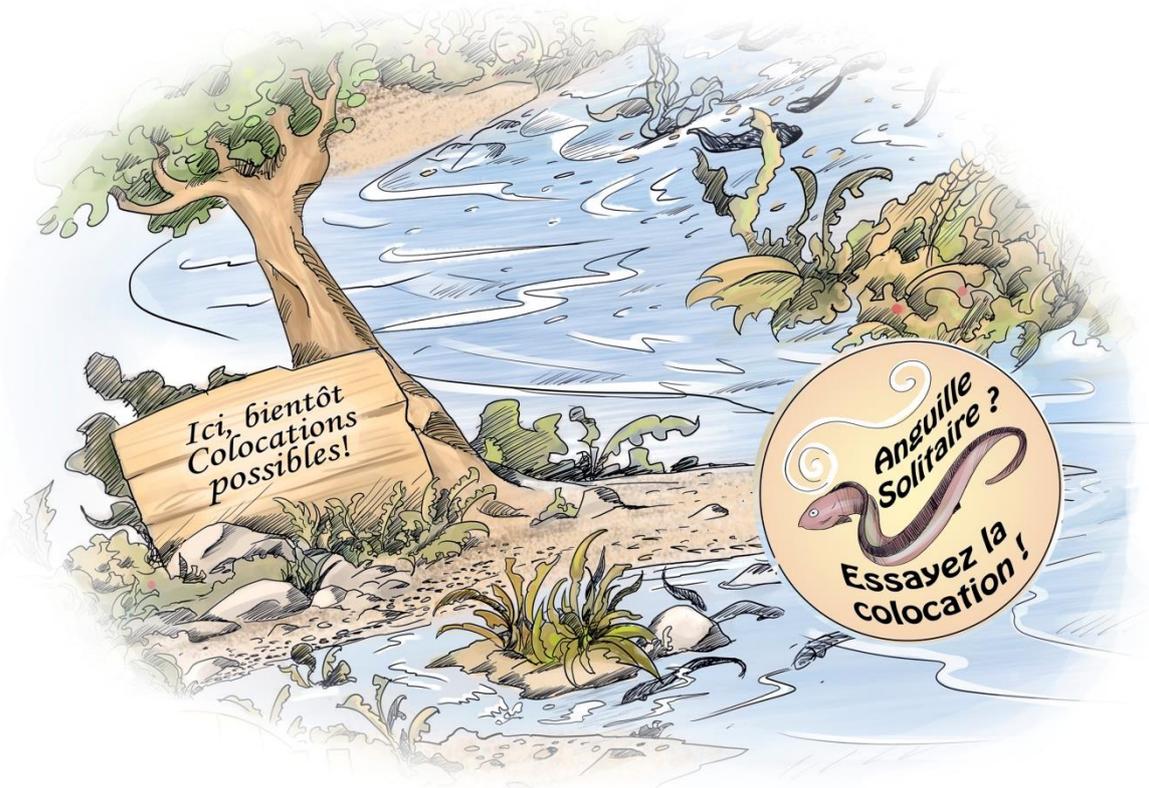


Figure 1 : Dessins des suivis effectués sur l'anguille (Sources Defarges, propriété LOGRAMI)





Actions en faveur des poissons grands migrateurs du bassin Loire

Citation

Gabrielle ROUGEAUX, Denis LAFAGE, Amaya GAUVIN. Front de colonisation de l'anguille européenne sur le Bassin Loire en 2022. Programme de recherches appliquées en faveur des poissons migrateurs 2022 - volet scientifique. Association LOGRAMI, 41p.

SOMMAIRE

1.	Contexte de l'étude	5
1.1.	Situation de l'anguille européenne	5
1.2.	Gestion et protection de l'espèce	7
1.2.1.	Plan de Gestion Anguille Français	7
1.2.2.	Programme de transferts de civelles	7
1.3.	Le Réseau de suivi Anguille (RSA) Loire	8
2.	Objectifs de l'étude 2022	10
2.1.	Mise à jour du Tableau de bord Anguille du bassin Loire	10
3.	Mise en œuvre	11
3.1.	Zone d'étude et stations de pêches	11
3.2.	Protocole de pêche	12
3.2.1.	Matériel	13
3.2.2.	Méthode	14
3.2.3.	Recueil des données	15
3.3.	Analyses statistiques des données de pêches	15
3.3.1.	Base de données et outils de traitements	15
3.3.2.	Abondance et biométrie des anguilles	15
3.3.3.	Front de colonisation et distribution des anguilles	16
4.	Résultats	18
4.1.	Conditions de pêche	18
4.1.1.	Hydrologie	18
4.1.2.	Caractéristiques des stations	19

4.2.	Abondance, distribution et classe de taille	22
4.2.1.	Effectif total	22
4.2.2.	Distribution des classes de tailles	22
4.2.3.	Indices d'abondance	23
4.3.	Répartition au sein du bassin	28
4.4.	Comparaison avec les résultats du modèle EDA	30
Analyse des effets de facteurs environnementaux et anthropiques sur l'abondance des anguilles		31
4.4.1.	Corrélation des différents facteurs et sélection du modèle	31
4.4.2.	Facteurs significatifs et leurs effets	32
4.5.	Modélisation du front de colonisation	33
5.	Discussion	34
5.1.	Hausse des abondances	34
5.2.	Colonisation croissante en zone intermédiaire	34
5.3.	Stagnation du front de colonisation	35
5.4.	Facteurs explicatifs	35
5.4.1.	Distance à la mer	35
5.4.2.	L'année	35
5.4.3.	Effet obstacles	36
5.5.	Proposition pour le Réseau Anguille Loire 2025	37
5.5.1.	Condition de pêche	37
5.5.2.	Méthodes et outils utilisés	37
6.	Conclusion	38
7.	 Bibliographie	39



1. Contexte de l'étude

1.1. Situation de l'anguille européenne

L'aire de répartition de l'anguille européenne a la particularité de s'étendre sur un territoire immense et de pouvoir être séparée en deux unités bien distinctes : l'aire de reproduction au sein de la mer des Sargasses et l'aire de croissance au sein des cours d'eau continentaux (Baisez, 2007). Il est possible également de considérer une troisième partie plutôt intermédiaire qui correspond à la migration marine des anguilles argentées et des larves leptocéphales. L'aire de croissance de l'anguille européenne occupe l'ensemble des cours d'eau littoraux de la majorité des pays côtiers d'Europe et d'Afrique du Nord.

L'anguille européenne constitue une ressource socio-économique importante (Bevacqua et al., 2015) pour les populations riveraines des cours d'eau. Cela s'illustre notamment par le fait que chacun de ces stades de développement (civelle, anguille jaune et anguille argentée) est exploité conjointement par des pêcheurs professionnels et de loisir (Baisez & Laffaille, 2005; Dekker, 2000). Néanmoins, depuis le début des années 1980, un important déclin de sa population a été mis en évidence (Figure 2) par de nombreuses études (Bruslé, 1990; Chancerel, 1994; Dekker, 2003b, 2003a; Moriarty & Dekker, 1997).

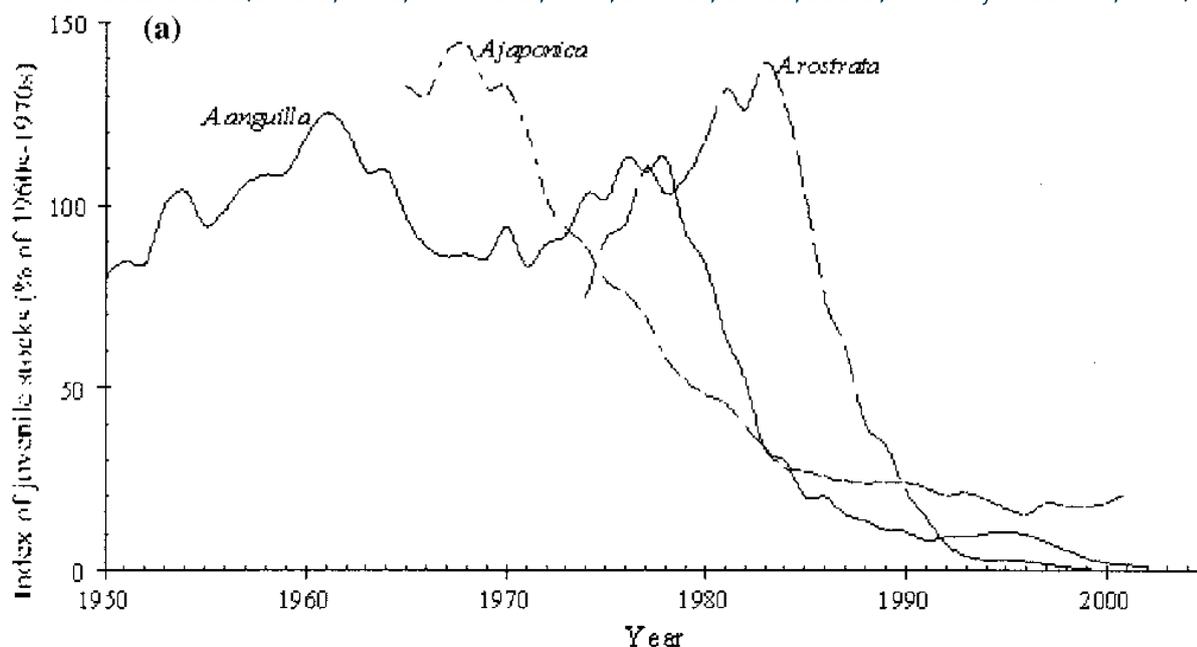


Figure 2 : Evolution de l'abondance des juvéniles de 3 espèces d'anguilles, de 1950 à 2002 (Ginneken & Maes, 2005)

La raréfaction de l'anguille est également corroborée par la baisse drastique des captures commerciales des civelles arrivant sur le continent comme le démontre (Figure 3 & Figure 4) les études menées par le Conseil International pour l'Exploitation de la Mer notamment en 2015.

indice recrutement civelles (source CIEM 2015)

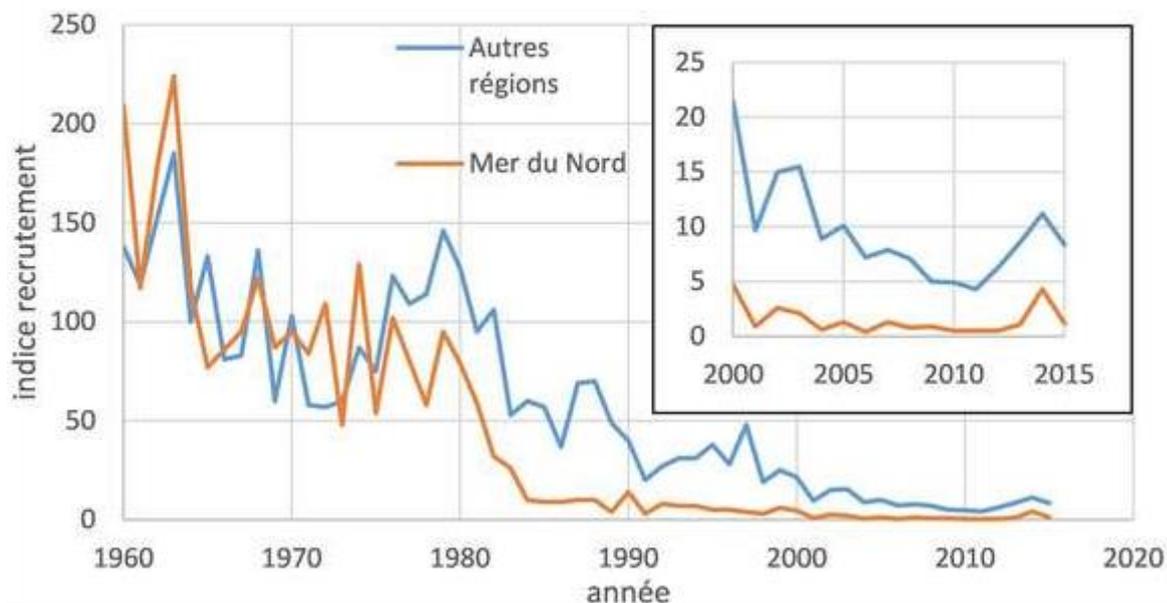


Figure 3 : Evolution des indices de recrutement de civelle en Europe de 1960 à 2015 (Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel (WGEEL), 2015)

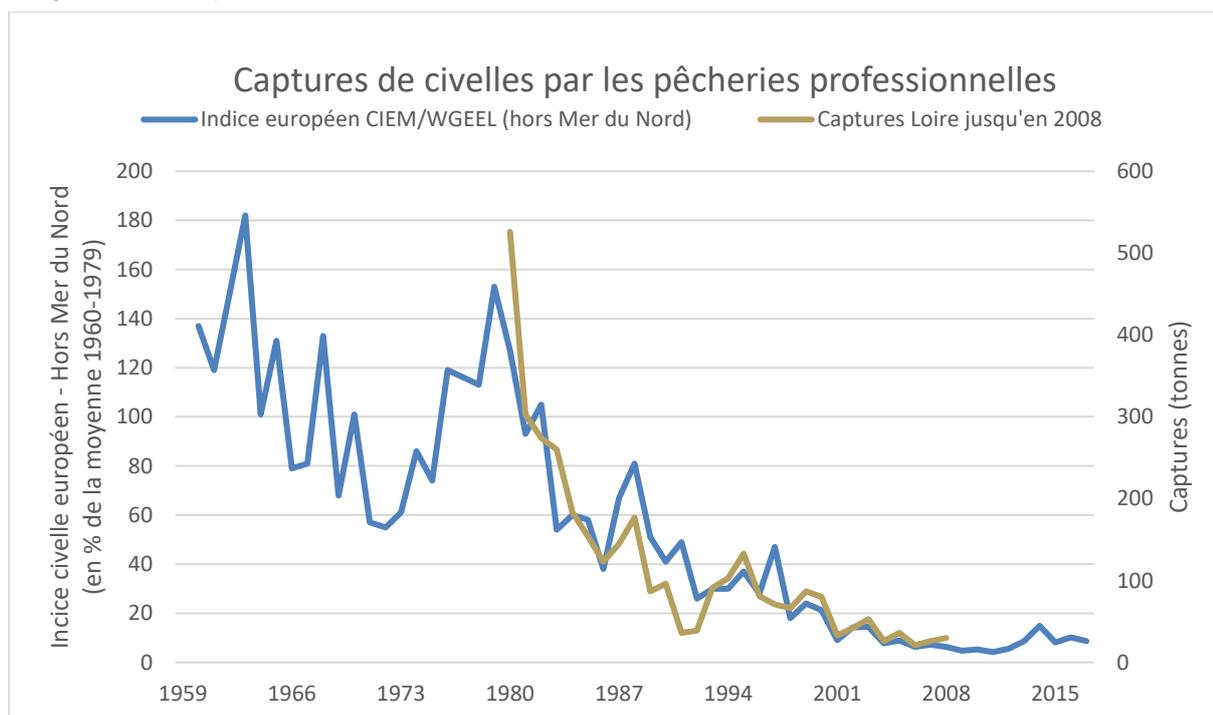


Figure 4 : Indice européen de recrutement de civelles depuis 1959, hors Mer du Nord (base 100 = moyenne des captures 1959-1970) et captures par les pêcheurs professionnels dans l'estuaire de la Loire 1980-2008 (tonnes). Source CIEM/WGEEL 2018 et DPMA 2019.

Les causes de ce déclin sont multifactorielles et il est actuellement impossible de quantifier la part de chacun (Bonhommeau, 2008; Charrier et al., 2012; Feunteun, 2002; Friedland et al., 2007; Laffaille et al., 2003; Moriarty & Dekker, 1997) : les changements climatiques (e.g. modification du climat, des débits, des courants marins), diminution de la productivité océanique, dégradation des habitats, dégradation de la qualité de l'eau, les pathologies propres à l'espèce (e.g. le parasite *Anguicolla crassus*, le virus Evex), les invasions de prédateurs aquatiques, la présence d'obstacles à la migration, l'exploitation par la pêche, la mortalité induite par l'hydroélectricité.

1.2. Gestion et protection de l'espèce

1.2.1. Plan de Gestion Anguille Français

Par son rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes ainsi qu'au vu de son importance socio-économique, la préservation de l'anguille au sein des hydrosystèmes est absolument nécessaire. De fait, en 1999, l'anguille a été reconnue par le CIEM comme « en dehors de ses limites biologiques de sécurité ». L'anguille européenne a ensuite été classée comme « espèce en danger critique d'extinction » dans la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) en 2008, avant d'être ensuite intégrée à l'annexe II de la Convention de Washington (ou convention *CITES* sur le Commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction), qui stipule que « l'exploitation durable de l'anguille européenne n'est plus garantie ».

Dans l'optique d'endiguer ce déclin, plusieurs textes comme le Règlement européen R(CE) n°110/2007 du 18 septembre 2007 (Règlement européen instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes, 2007) ont été adoptés. Ce règlement met en place des mesures visant la reconstitution de la population d'anguilles européennes, avec l'objectif à long terme d'atteindre une biomasse de géniteurs retournant à l'océan équivalente à 40% d'une situation « pristine » (avant les effets anthropiques).

En France, un plan d'action de gestion de l'anguille européenne a été proposé le 31 décembre 2008, il vise à réduire l'ensemble des causes de mortalité de l'espèce à travers cinq axes principaux à savoir : les obstacles à la continuité écologique, la pêche légale ou non, les pollutions, les habitats et le repeuplement. La mise en application de ces plans et règlements à l'échelle européenne et français implique une évaluation régulière des mesures de gestion mises en place au niveau du territoire français.

| 7

1.2.2. Programme de transferts de civelles

La France s'est engagée dans un programme expérimental de « repeuplement » en civelles en application du règlement (CE) n° 1100/2007 du 18 septembre 2007 (dit règlement anguille). Le Règlement anguille indique dans son paragraphe 13 que « si un état membre autorise la pêche d'anguilles d'une longueur inférieure à 12 cm [...] il affecte au moins 60% de toutes les anguilles d'une longueur inférieure à 12 cm pêchées dans ses eaux chaque année destinées à la commercialisation en vue de servir au repeuplement dans les bassins hydrographiques de l'anguille [...] aux fins d'augmenter le taux d'échappement des anguilles argentées. ». En réponse à ce règlement européen, la France a pris la disposition de maintenir la pêche des civelles et de fixer pour objectif dans le Plan de Gestion Anguille (PGA) français du 3 février 2010 « de réserver 5 à 10 % des civelles pêchées annuellement à des opérations de repeuplement sur les bassins français ». Ces transferts sur le territoire métropolitain devront alors faire l'objet de suivis afin de « quantifier la contribution des opérations à la restauration des stocks. ».

Comme chaque année depuis 2011, plusieurs porteurs de projets issus des organisations de pêche professionnelle ont répondu à l'appel à projets national pour la mise en œuvre du programme de repeuplement de l'anguille en France. Le programme est présenté comme « expérimental » et s'appuie sur l'hypothèse que les civelles transférées dans des milieux productifs permettront une meilleure contribution à la biomasse de géniteurs en mesure de migrer vers les Sargasses, d'un point de vue quantitatif mais également qualitatif. En effet, le but est de produire davantage de femelles ainsi que des individus potentiellement moins parasités.

Les civelles capturées et relâchées vont également faire l'objet d'un marquage d'un colorant vitale sur les otolithes (concrétion minérale de l'oreille interne), de manière à ce qu'un certain nombre d'entre elles puisse être retracé lors des pêches électriques de suivis qui seront réalisées 6 mois, 1 an et 3 ans après l'alevinage.

Ces suivis doivent permettre d'estimer le taux de survie ainsi que de mesurer leurs caractéristiques évolutives à savoir leur croissance, leur poids moyen, leur état sanitaire ainsi que leur dispersion dans le milieu. Il n'est cependant pas possible pour l'instant de mesurer la contribution des anguilles transférées à la biomasse de géniteurs atteignant l'océan, ni si cette contribution compense la mortalité de civelles liée aux différentes étapes des opérations de transfert (pêche, stabulation, marquage, transport, déversement).

Sur l'Unité de gestion « Loire » du Plan de gestion Anguille, 2 secteurs ont reçu des civelles, pour un total de 1570 Kg, dans le cadre de ces opérations de transfert : La Loire moyenne, la Sarthe et la Mayenne. **Les résultats sur ces secteurs sont donc potentiellement impactés par la présence de ces anguilles issues d'alevinages, en fonction de l'écart entre les transferts et la campagne de suivi et du taux de croissance des individus.**

1.3. Le Réseau de suivi Anguille (RSA) Loire

| 8

Les réseaux d'échantillonnage des peuplements piscicoles menés à l'échelle nationale par l'Office Français pour la Biodiversité (OFB) n'ont pas été construits dans un objectif « anguille » (implantation et répartition spatiale des stations, méthode d'échantillonnage, etc.) et de ce fait, n'apportent pas toutes les informations nécessaires au suivi de cette espèce. Afin de répondre aux objectifs de suivi prévus par le Plan de gestion Anguille, la France a mis en place un réseau de rivières "index" où l'anguille sera suivie sur l'ensemble de son cycle de vie continentale. En se basant sur les travaux de E. Lasne et P. Laffaille sur les annexes hydrauliques de la Loire(2008), LOGRAMI a entamé le déploiement d'un réseau complémentaire de suivi de l'anguille sur la Vienne depuis 2009 et depuis 2010 sur la Loire aval.

L'objectif de ce suivi est de mettre en œuvre un suivi régulier de l'abondance et de la distribution de la population d'anguilles européennes du bassin Loire sur lequel pourront s'appuyer les décisions de gestion (notamment pour le rétablissement de la continuité écologique sur les secteurs peu colonisés).

L'examen des patrons de distribution des petites anguilles (de taille ≤ 300 mm) le long des réseaux hydrographiques peut fournir des informations précieuses pour le suivi des populations. Leur présence permet de calculer un indice standardisé de recrutement et de colonisation des bassins versants(Laffaille et al., 2009).

Ce suivi est complémentaire du monitoring "anguille" prévu par le Plan de gestion national (Onema, 2010), focalisé sur les rivières "index" (la Sèvre niortaise pour l'Unité de Gestion Anguille "Loire"). Il permettra d'évaluer l'impact des mesures de gestion à l'échelle du bassin Loire, mais aussi de le comparer avec les autres Unité de gestion Anguille où l'anguille est suivie selon la même méthodologie.

Les données produites ont vocation à intégrer les prochaines mises à jour du modèle Eel Density Analysis (Briand et al., 2018) pour l'estimation de l'échappement des géniteurs dans le cadre du plan de gestion Anguille national. Elles permettent également la mise à jour de l'indicateur « Front de colonisation de l'anguille sur le Bassin Loire » des Tableaux de bord Migrateurs du Bassin Loire.



La campagne 2022 constitue la 6^{ème} édition du RSA Loire avec 119 stations de pêche sur la Loire aval et sur ses principaux affluents. Parmi elles, 35 ont été échantillonnées par l'équipe LOGRAMI (9 personnes mobilisées) (Erreur ! Source du renvoi introuvable.), les 84 autres ont été prises en charge par 10 fédérations de pêche partenaires de l'association.

A consulter

INTERNET



www.migrateurs-loire.fr > Indicateurs de l'Anguille européenne
<http://www.migrateurs-loire.fr/anguille/>

2. Objectifs de l'étude 2022

2.1. Mise à jour du Tableau de bord Anguille du bassin Loire

La position géographique de l'estuaire de la Loire (Baisez & Laffaille, 2005) et l'absence d'obstacles sur la plupart de l'axe principal (Laffaille et al., 2009) font de ce fleuve l'un des plus favorables à la colonisation par les anguilles européennes. Cinq études antérieures ont estimé, en 2005 et 2010 ainsi qu'en 2013, 2016 et 2019 (Besse & Baisez, 2010; Canal et al., 2013; Dicharry, 2019; Dufour & Besse, 2016; Laffaille, Briand, et al., 2005), le recrutement fluvial des jeunes anguilles, ainsi que la population en place dans la partie aval de Loire et de ses affluents. Les différences relevées entre les études de 2010 et 2013 devaient évaluer l'impact de la mise en place des mesures de gestion qui découlent du plan Loire, sur le recrutement fluvial des jeunes anguilles et sur la population en place à l'aval. L'objectif de l'étude de 2022 est donc de réaliser le même protocole d'échantillonnage que lors des études précédentes de manière à pouvoir comparer les résultats actuels avec les résultats antérieurs. Cette comparaison doit permettre d'identifier les tendances qui se dégagent, celles qui se confirment et celles qui ne sont que passagères.

Les Tableaux de bord Migrateurs du Bassin Loire ont pour objectif évaluer l'importance du recrutement des jeunes anguilles sur la Loire par le suivi du front de colonisation des jeunes anguilles dans la partie aval du bassin-versant, et également d'établir une cartographie de l'état actuel de la population d'anguilles dans l'ensemble du bassin versant de la Loire, ainsi que pour les côtiers vendéens depuis l'établissement en 2013 d'un nouveau réseau de stations sur les petits fleuves côtiers vendéens.



3. Mise en œuvre

3.1. Zone d'étude et stations de pêches

La zone étudiée se superpose dans son ensemble à la zone d'action prioritaire (ZAP) (Figure 5) définie par le plan national de gestion de l'anguille. Les stations sont choisies régulièrement le long de l'axe de migration, de la zone estuarienne vers l'amont. Le tronçon prospecté doit être accessible et d'une profondeur inférieure à 60 cm. Au-delà d'une profondeur de 60 cm, l'efficacité de pêche n'est plus assurée. Lorsque le lit du cours d'eau suivi n'est pas pêchable, la pêche est réalisée au niveau ou le plus près possible des petites confluences prospectables à pied ou des annexes hydrauliques. Il s'agit également d'éviter l'aval immédiat d'obstacles à la migration qui peuvent créer des accumulations d'anguilles.

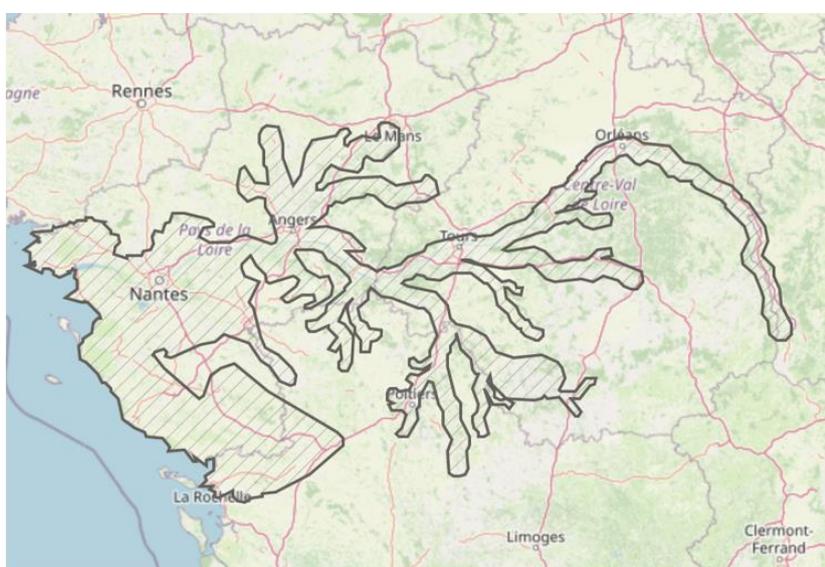


Figure 5 : Zone d'action prioritaire de l'UGA Loire ©LOGRAMI

Entre les campagnes de 2013 et de 2019, le réseau de suivi qui couvrait les principaux axes de migrations à l'échelle de l'ensemble du bassin de la Loire, des côtiers vendéens et de la Sèvre niortaise a été réduit à sa partie aval afin de se focaliser sur la zone de colonisation des jeunes anguilles, en retirant pour chaque affluent les sites au-delà 30km en amont de la dernière observation d'anguilles de moins de 30cm. Certains bassins qui avaient été pêchés en 2013 ont ainsi été abandonnés lors des campagnes 2016, 2019 et 2022 (Allier, Aron, Arconce, Brivet, Huisne, Romme et Sioule). Le nombre de stations pêchées a été considérablement réduit en 2016, passant de 277 à 146.

Le réseau échantillonné en 2019 a été reconduit en 2022, à l'exception de certaines stations abandonnées pour des raisons d'accès, d'assecs ou pour contenir l'étude dans une enveloppe budgétaire contrainte. Les 146 stations de pêche du réseau 2016 sont conservées pour le réseau 2022 mais seulement 119 ont pu être suivies. Elles sont situées en Loire aval ainsi que sur ses principaux affluents. Parmi elles, 35 sont prospectées par LOGRAMI, les autres par les fédérations départementales de pêche et de protection du milieu aquatique.

Tableau 1 : Stations du Réseau Anguille Loire 2022, classées par département

Département	Réseau 2022	Echantillonnées par Logrami	Echantillonnées par les Fédérations de pêche
18 Cher	5	0	5
36 Indre	3	0	3
37 Indre-et-Loire	16	0	16
41 Loir-et-Cher	6	0	6
44 Loire-Atlantique	18	5	13
45 Loiret	4	0	4
49 Maine-et-Loire	32	20	12
53 Mayenne	5	0	5
72 Sarthe	6	0	6
79 Deux-sèvres	3	3	0
85 Vendée	14	0	14
86 Vienne	7	7	0
TOTAL	119	35	84

La campagne 2022 s'est déroulée entre le 23 mai et le 18 juillet 2022. La période choisie correspond à un ralentissement de l'activité migratoire de l'anguille et la faiblesse des hauteurs d'eau permet une efficacité maximale de pêche. Par ailleurs, les dates choisies sont conformes à celles des campagnes précédentes, ce qui permet de limiter les potentiels biais liés à des variations dans les périodes d'échantillonnage.

3.2. Protocole de pêche

Le protocole de pêche électrique utilisé est celui l'« indice d'abondance anguille » mis au point par Cédric Briand (Institut d'Aménagement de la Vilaine) et Pascal Laffaille (ex Université de Rennes 1, INP-ENSAT ; Pascal Laffaille et al. 2005). Cette méthode inspirée de l'Echantillonnage Ponctuel d'Abondance (EPA) et spécifique au suivi des stocks d'anguille a été développée afin de répondre à un besoin important d'échantillonnage par une méthode reproductible.

Dans le cas de certaines annexes hydrauliques de la Loire, une partie des stations sont échantillonnées en berge. Une station mesure généralement autour de 100 m, sur lesquels sont répartis régulièrement 30 points de pêche de 30 secondes minimum, avec un espacement minimum de 4m pour que les zones d'attraction ne se chevauchent pas (Germis, 2016) (Figure 6). Le champ électrique est évalué dans un cercle de 3 m de diamètre autour du cercle de 1 m. L'opération dure 1 à 2 heures par station en fonction de l'abondance du peuplement. La prospection sur le cours d'eau ne doit pas chercher à cibler les habitats préférentiels de l'anguille, mais doit quand même être déterminée de manière à couvrir autant que possible la diversité d'habitats de la station.

Cette méthode permet d'obtenir de nombreux échantillons en peu de temps, car elle nécessite un matériel assez simple et peu de personnel, ce qui permet la prospection de plusieurs stations par jour.



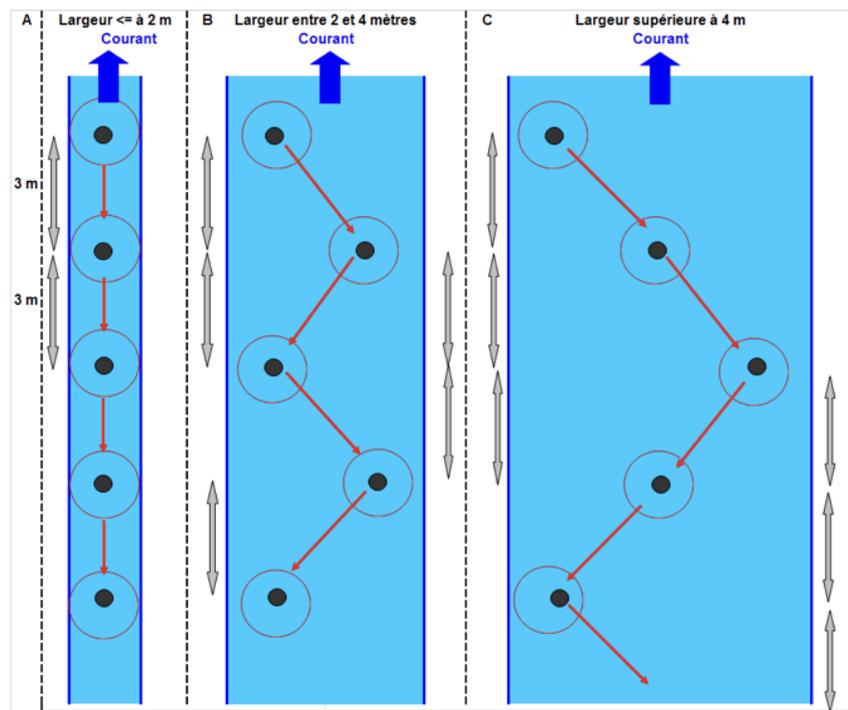


Figure 6 : Modalités de prospection en fonction de la largeur du cours d'eau (Chapon, 2007)

De plus, son application facilement reproductible permet de comparer spatialement et temporellement les différents types de stations échantillonnées. Ces caractéristiques font de l'IAA une méthode standardisée et reproductible pertinente pour effectuer des comparaisons spatiales et temporelles des différents points d'échantillonnage et dans divers types d'habitats (Lafage 2022).

| 13

3.2.1. Matériel

Ces pêches scientifiques sont des pêches électriques. Elles consistent à générer dans le cours d'eau un champ électrique qui va attirer les poissons vers le pôle positif (anode) puis les immobiliser de manière à faciliter leur capture. Pour ce faire, un appareil de pêche électrique portatif (Marque IMEO Volta, de type « martin-pêcheur ») est utilisé pour les cours d'eau dont la profondeur est faible. Lorsqu'il s'agit de cours d'eau de plus grande profondeur, de plus grande largeur ou de stations pêchées en rive, le protocole va être adapté à un matériel de pêche électrique plus puissant et fixe (Marque HANS GRASSL, modèle de type « Héron » ou « EFKO »).



Figure 7 : Matériel de pêche électrique

Pour les captures, le matériel est composé de deux épuisettes à cadre métallique avec le bord inférieur plat et une maille fine (2 mm), d'une petite épuisette à main (« volante ») ronde ou carrée avec une maille fine également, de plusieurs seaux pour les transferts de poissons, d'un chronomètre, d'un décimètre et du matériel de biométrie. Les waders et les gants sont également indispensables pour toute personne en contact avec l'eau durant l'opération.

3.2.2. Méthode

Une anode électrique est utilisée pour créer un champ attractif pendant 30 secondes minimum sur chaque point d'échantillonnage. Deux opérateurs sont présents en aval du champ électrique, avec chacun une épuisette fixe placée l'une à côté de l'autre en aval de l'anode dans le courant. Un porteur de seaux est chargé de recueillir les anguilles et les autres espèces piscicoles pour les transférer en berge si l'abondance est trop forte, avant la biométrie. Enfin, une personne est chargée de prendre les notes de terrain et de transporter le décimètre pour la mesure de la profondeur moyenne de la station (une mesure tous les 5 points). Un total d'au moins 5 personnes est donc nécessaire.

| 14



Figure 8 : Équipe effectuant une pêche électrique ©LOGRAMI



3.2.3. Recueil des données

Durant la pêche, l'ensemble anguilles capturées a été comptabilisé, mesuré (après anesthésie à l'Eugénol), et pesé individuellement. Une fiche spécifique à la biométrie des anguilles est remplie à chaque pêche. Les autres espèces piscicoles ont été identifiées par station. Un relevé des informations générales (coordonnées GPS, commune, etc.) et des caractéristiques d'habitat a été effectué: largeur et profondeur moyenne du lit, faciès d'écoulement et substrat (basé sur une version adaptée de la clé de détermination de Souchon et Malavoi) (Malavoi et Souchon 2002) habitats piscicoles, types de végétation aquatique, recouvrement par la végétation aquatique, ombrage, conductivité du milieu. Les paramètres électriques de l'engin d'échantillonnage ont aussi été recueillis.

3.3. Analyses statistiques des données de pêches

3.3.1. Base de données et outils de traitements

Préalablement à la réalisation de nos analyses statistiques, un important travail de nettoyage de la base de données (2013 à 2022) qui n'avait pas été fait jusque-là a été nécessaire. Les données manifestement aberrantes ont été identifiées à l'aide de graphiques et grâce au package R « outliertree » et corrigées afin d'améliorer la fiabilité des analyses.

Les analyses statistiques et représentations graphiques (figures et cartes) ont été réalisées à l'aide d'un script rédigé sous R version 4.2.1, en utilisant les informations de la base de données de LOGRAMI et celles de sources extérieures, notamment pour les obstacles (OFB), et les données hydrologiques (Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau).

| 15

3.3.2. Abondance et biométrie des anguilles

3.3.2.1 Indices d'abondance et structures de taille

Pour chaque station, un indice d'abondance anguille (IAA) a été calculé pour l'ensemble des anguilles et par classe de taille. Il s'agit du nombre moyen d'anguilles capturées par point de pêche ($IAA_{station} = \text{nb d'anguilles} / \text{nb de points}$). Les classes de taille correspondent chacune à une phase du cycle biologique de l'espèce marquée par une écologie et des comportements différents (Adam et al. 2008) (Tab.4). Comparés d'une campagne à l'autre pour chaque station, ces indices renseignent sur l'évolution temporelle de l'abondance, la distribution spatiale, l'équilibre et sur la structure de la population étudiée ainsi que sur l'accessibilité du milieu.

3.3.2.2 Modélisation de l'abondance

Les IAA fournissent des informations sur la variabilité spatiale et temporelle des abondances. Afin de comprendre les phénomènes influençant ces variations d'abondance, différents facteurs explicatifs ont été sélectionnés et testés pour tenter d'identifier l'effet de chacun d'entre eux.

Un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) a été choisi afin de modéliser l'abondance d'anguilles grâce au package « lme4 ». Les GLMM permettent de prédire une variable réponse (ici l'abondance) en fonction

d'une série de variables explicatives en prenant en compte les interactions entre variables mais aussi la non-indépendance.

3.3.2.3 Variables explicatives des abondances observées

Nous avons mesuré de façon répétée l'abondance d'anguilles sur une même station. Il aurait donc fallu inclure un effet 'random' station dans le modèle, cependant le faible nombre d'observations par station ne le permettait pas. En revanche, nous disposons d'un nombre suffisant de stations par bassin versant pour inclure cette variable en tant que facteur random. L'abondance correspondant à des données de comptage, une loi de poisson a été utilisée. Cependant cette dernière n'est applicable qu'à des données entières. C'est donc le nombre total d'anguilles pour 30 points de pêche qui a été modélisé. Afin d'éviter les phénomènes d'overfitting, les corrélations entre variables explicatives ont été testées grâce au calcul du coefficient de corrélation r de Pearson pour chaque paire de variables explicatives. Lorsque deux variables étaient fortement et significativement corrélées, seule l'une d'entre elle a été conservée dans le modèle. Le modèle complet comprenait :

- Distance à la mer (km)
- Année d'échantillonnage
- Ombrage
- Largeur Moyenne
- Profondeur Moyenne
- Nombre d'obstacles
- et les interactions :
Évolution du front de colonisation (Distance*Année)

| 16

Le modèle complet est de la forme :

$\text{abondance_anguille} \sim \text{année} + \text{ombrage} + \text{profondeur_moy} + \text{nb_obstacles} + \text{dmer} + (1 | \text{bassin}) + \text{année} * \text{dmer}$

Les variables d'ombrage, de profondeur moyenne, nombre d'obstacles, de distance à la mer présentaient des échelles très différentes. Elles ont été centrées et réduites afin de faciliter la convergence des modèles. Grâce à la fonction « dredge » du package MumIn, toutes les combinaisons de variables explicatives ont été générées et testées. La sélection du modèle final a été réalisée selon le critère d'Akaike C (AICc).

Pour l'analyse, les stations des bassins de la Loire et des côtiers vendéens ont été regroupées en 3 zones distinctes en fonction de leur distance à la mer : la zone aval située à moins de 150 km de la mer, la zone intermédiaire située entre 150 km et 300km de la mer et la zone amont à plus de 300 km de la mer.

La variable « nombre d'obstacles à la migration en aval » a été intégré au modèle logistique sur la base du nombre d'obstacles cumulés présents pour chaque station échantillonnée à partir données de l'OFB (Office français de la biodiversité).

3.3.3. Front de colonisation et distribution des anguilles

La distribution (présence/absence) des jeunes anguilles en phase de colonisation active (taille inférieure à 300mm) dans les bassins versants de la Loire et ceux des côtiers vendéens a été analysée. Elle s'appuie sur le calcul standardisé d'une probabilité de présence estimée en fonction des classes de taille, grâce à



un modèle de régression logistique (intégrant les données de présence / absence de la classe de taille par station de pêche) de formule générale : présence (classe de taille) \sim dmer_sc * année + bassin.

La loi utilisée est binomiale les données sont binaires (présence ou absence). L'analyse permet de calculer la distance depuis l'estuaire pour laquelle la probabilité de rencontrer une anguille d'une classe de taille donnée sur une station devient inférieure à 50%.

4. Résultats

4.1. Conditions de pêche

4.1.1. Hydrologie

Le printemps 2022 a été le 3ème plus chaud depuis 1900 et le 3ème plus sec depuis 1959 avec 45 % de déficit de précipitations (Météo-France 2022). Depuis 1900, seuls 3 mois de juin et 2 mois de mai ont eu des débits aussi faibles à Montjean-sur-Loire (Groupement d'intérêt public (GIP) Loire Estuaire 2022). En juin 2022 les débits moyens (197,2 m³/s) étaient légèrement en deçà de ce ceux de 2019 (263,6m³/s) mais près de 82% inférieurs à ceux de 2013 (1075,4m³/s) et 90% inférieurs à ceux de 2016 (1962,8m³/s) (Figure 9). Les débits moyens annuels de 2022 (496,2m³/s) étaient quant à eux similaires à ceux enregistrés en 2019 (562,7m³/s), mais 50% plus faibles que ceux de 2013 (1136,3m³/s). La sécheresse a causé l'abandon de plusieurs stations à sec à l'été 2022. D'autres, originellement pêchées sur un affluent ou annexe à sec ont été déplacées sur le cours principal. En 2019, certaines stations n'avaient pas pu être prospectées pour les mêmes raisons. Enfin, une séquence orageuse intense ayant eu lieu du 18 au 23 juin avec des lames d'eau de 40/60 mm dans le Pays de la Loire a également impliqué de renoncer à certaines stations (Keraunos 2022). Au total 11 des 119 stations initialement prévues n'ont pu être échantillonnées.

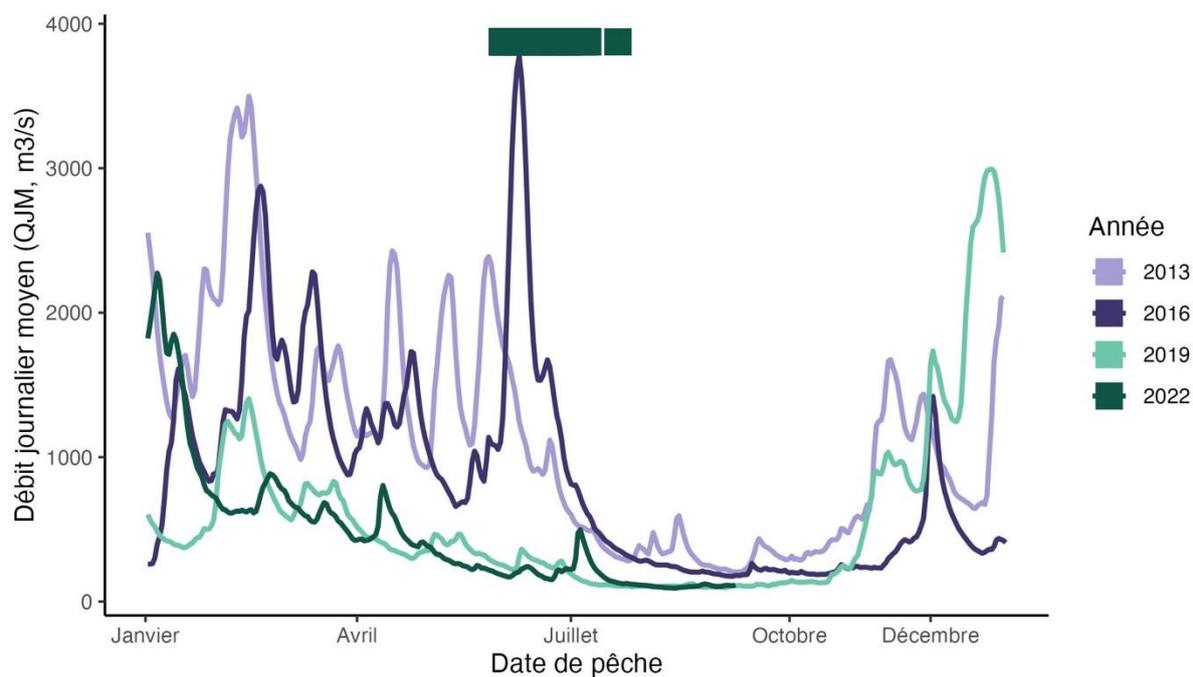


Figure 9 : Débits moyens journaliers à la station de Montjean-sur-Loire ©LOGRAMI (données Hub'eau)



4.1.2. Caractéristiques des stations

4.1.2.1 Profondeurs moyennes des stations

Bien qu'ayant baissé notablement depuis 2013 où elle était de 50.7 cm, la profondeur moyenne des stations prospectées s'est stabilisée depuis 2016 avec des profondeurs moyennes de 36,8 cm, 33,5cm, 37,7cm respectivement en 2016, 2019 et 2022 (Figure 10 : Profondeurs moyennes (en cm) des stations

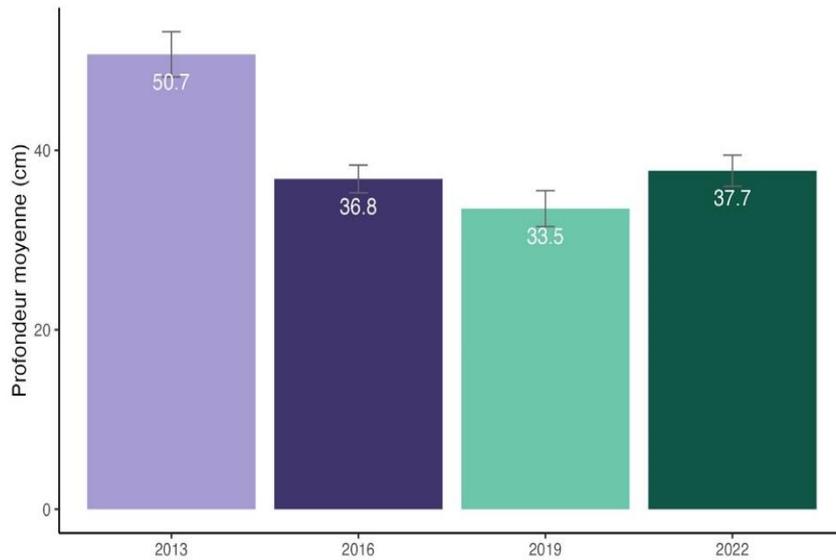


Figure 10 : Profondeurs moyennes (en cm) des stations échantillonnées entre 2013 et 2022 ©LOGRAMI

échantillonnées entre 2013 et 2022 ©LOGRAMI).

4.1.2.2 Proportion des types de faciès des stations

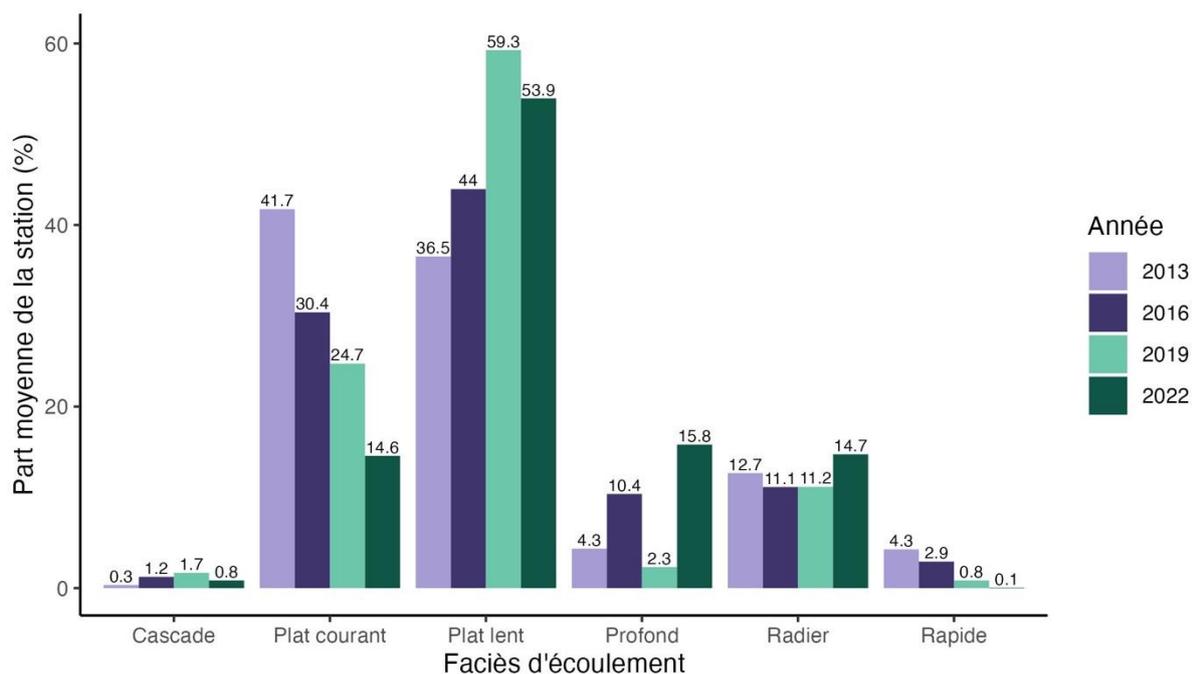


Figure 11 : Proportions des faciès rencontrés sur les campagnes 2013, 2016, 2019 et 2022

En 2022, les faciès prospectés étaient majoritairement des plats lents (53,9%), des profonds (15,8%), des radiers (14,7%) et des plats courants (14,6%). La proportion des plats courants a largement baissé depuis 2013 (-27%) au profit des plats lents (+17% depuis 2013) qui constituent en 2022 le type de faciès dominant (Figure 11).

| 20

4.1.2.3 Déversement de civelles

En 2022, 896kg de civelles ont été transférés dans la Loire à Gennes-Val-de-Loire (Figure 12). Or, certaines des stations échantillonnées se trouvaient sur cette commune (2 stations), et d'autres à proximité. On a relevé par exemple 42 anguilles de tailles comprises entre 70 et 90mm (sur un total de 67 ang) sur la station Bras des Rosiers (dmer = 174km), 19 (sur un total de 21 ang) sur la station Loire-Savigny (dmer = 210 km). D'après la taille des individus mesurés (correspondant à une ou deux années de vie) (Adam et al. 2008), la distance à la mer où elles ont été trouvées et la cinétique de progression des anguilles de l'ordre de 10 à 45 km/an en général (Adam et al. 2008), il est probable que les anguilles retrouvées sur ces stations proches des points d'alevinage soient issues du programme de transfert de civelles de l'UGA Loire.



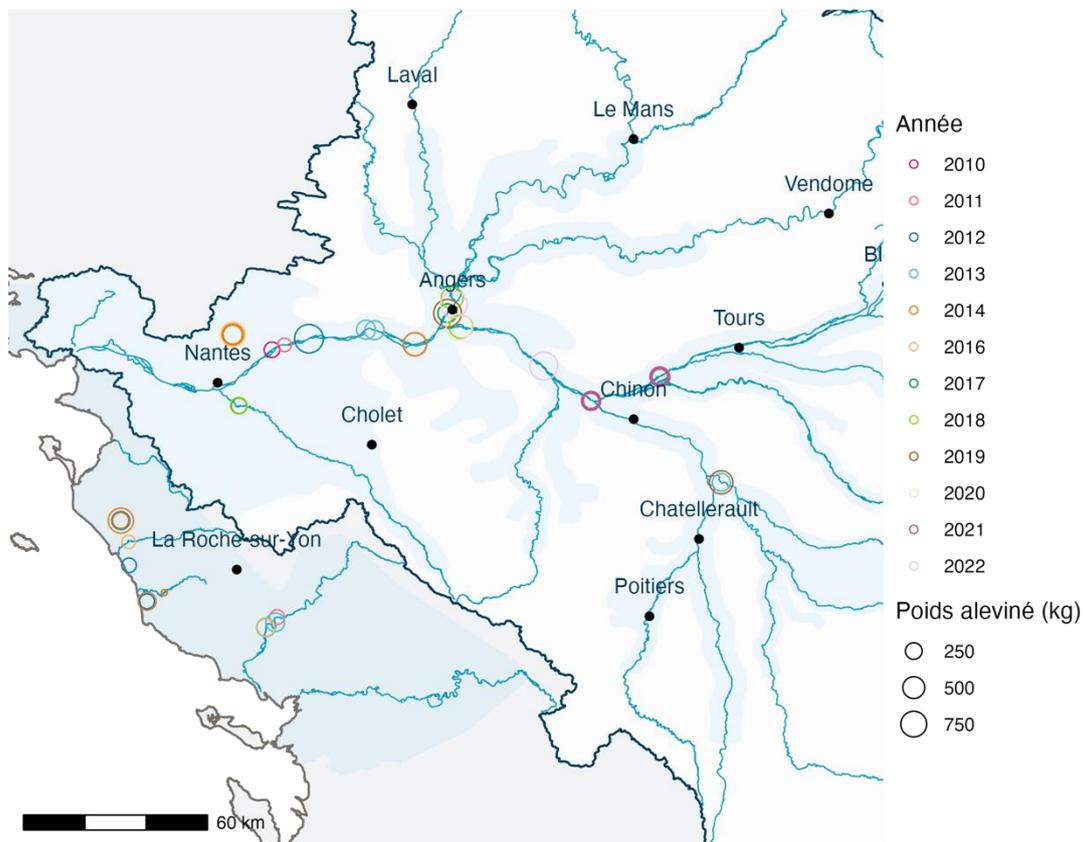


Figure 12 : Effectif cumulé d'anguilles par année en fonction de la distance à la mer ©LOGRAMI

4.2. Abondance, distribution et classe de taille

4.2.1. Effectif total

Sur l'ensemble des stations échantillonnées en 2022, 2299 anguilles ont été dénombrées, soit en moyenne 19,4 anguilles par station. En 2022, sur les 89 stations communes à toutes les campagnes une hausse des effectifs a été notée. Sur ces stations, 2099 anguilles ont été capturées soit 62,2% de plus qu'en 2019 mais seulement 12,7% de plus qu'en 2013 (Tableau 2).

Tableau 2 : Effectif total d'anguilles capturées sur les 89 stations

Année	Total anguilles pêchées	Moyenne par station	Erreur standard
2013	1863	20.93	9.91
2016	1373	15.43	3.57
2019	1306	14.67	2.83
2022	2099	23.58	4.61

Les anguilles sont réparties selon un gradient aval-amont dans lequel environ 95% des anguilles ont été observées à moins de 260km de la mer pour chaque campagne. Entre 65% et 75% des anguilles ont été trouvées dans la zone aval (moins de 150 km de la mer) chaque année (Figure 13).

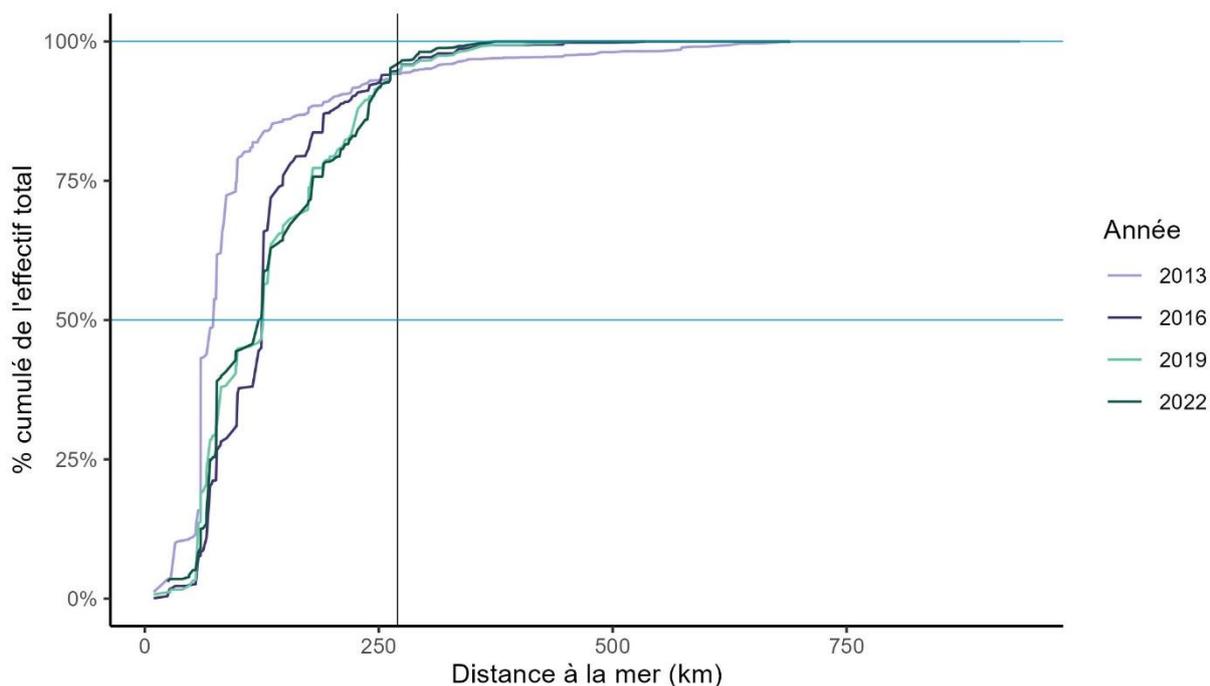


Figure 13 : Effectif cumulé des anguilles observées en fonction de la distance à la mer

4.2.2. Distribution des classes de tailles

Les jeunes anguilles de moins de 150 mm constituent la classe d'anguilles la plus présente, avec un pic de capture observable pour les 4 dernières campagnes (taille ~ 60-80mm). Les effectifs 2022 de cette classe de taille ont plus de doublés par rapport à ceux de 2019 mais demeurent près de deux fois en deçà



de ceux enregistrés en 2013 (Figure 14). Un second pic (taille ~ 150mm) est présent pour les années 2016, 2019, et 2022 et est deux fois plus haut en 2022 qu'en 2019.

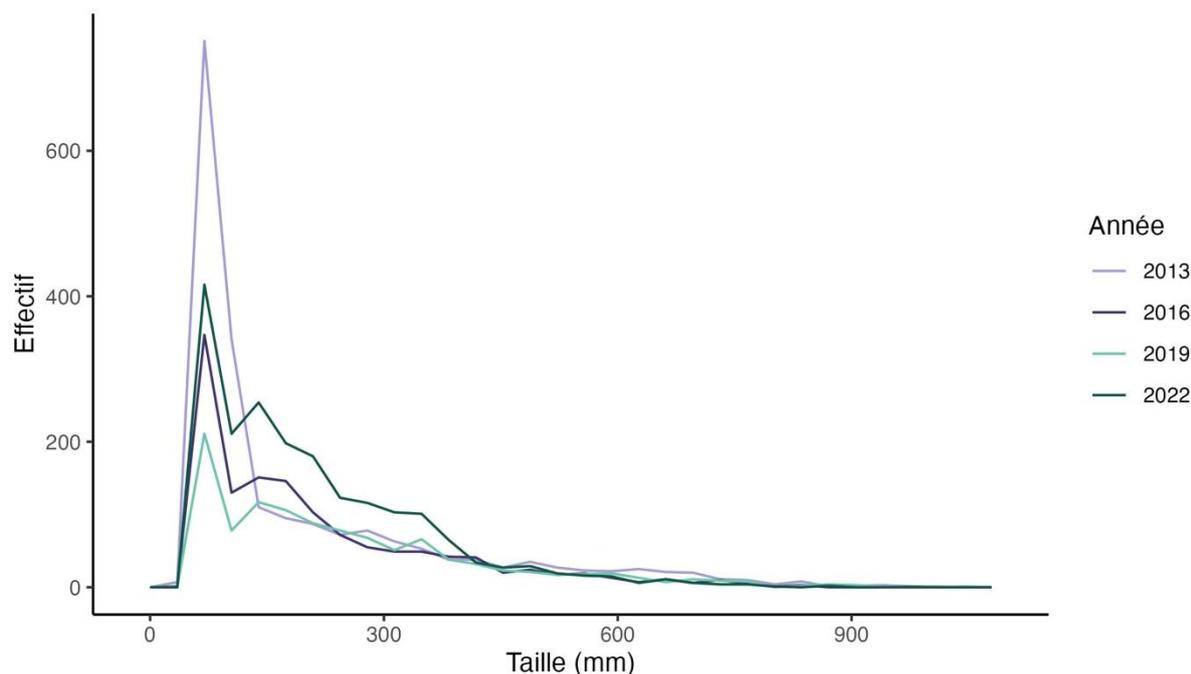


Figure 14 : Effectif total d'anguilles par année en fonction de la taille ©LOGRAMI

4.2.3. Indices d'abondance

| 23

4.2.3.1 Par bassin en 2022

En 2022, pour toutes classes de tailles confondues, ce sont les bassins versants de la Loire (1,7 anguille/point), de la Vie (1,3 anguille/point) et de la Sèvres Nantaise (0,8 anguille/point) qui présentent les abondances d'anguilles les plus importantes. Les bassins de la Creuse et la Vienne présentent tous deux un indice d'abondance de 0,6 anguille/point. Les autres bassins ont quant à eux un IAA compris entre 0 et 0,4 anguilles/point (Figure 15).

Pour les jeunes anguilles de taille inférieure à 150mm les bassins de la Loire (IAA = 0,7 ang/point), de la Sèvres Nantaise (IAA = 0,4 ang/point), et de la Vie (IAA = 0,3 ang/point) présentent les plus grandes abondances. Le bassin de la Creuse et du Falleron présentent tous deux des IAA de 0,2 ang/point. Les bassins de l'Erdre et de la Vienne ont des IAA de 0,1 ang/point). Dans les autres bassins aucune anguille de cette classe n'a été trouvée (Figure 16).

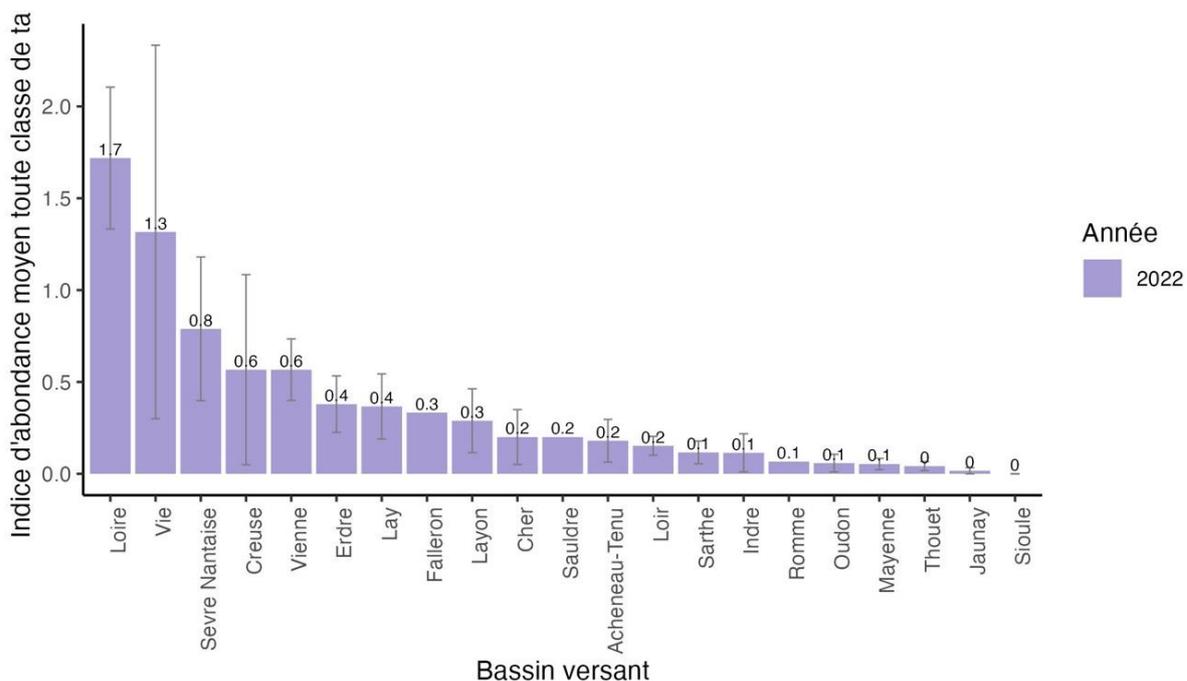


Figure 15 : Indice d'abondance moyen (anguille/point d'échantillonnage) ©LOGRAMI

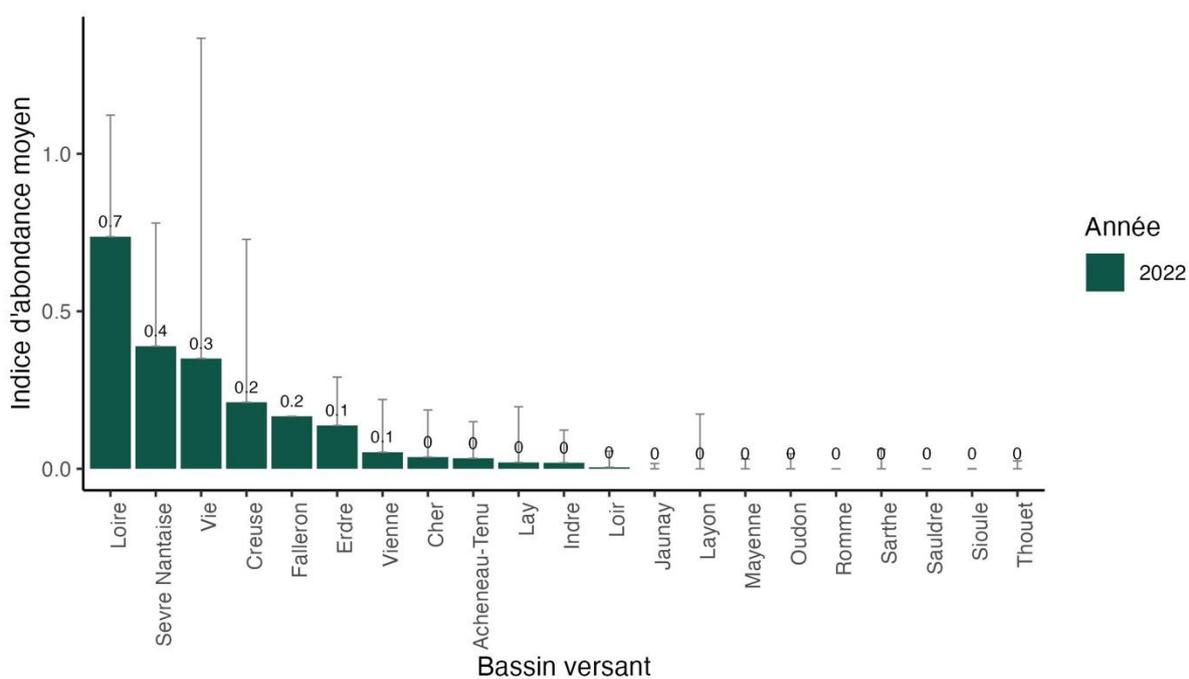


Figure 16 : Indice d'abondance moyen (anguille/point d'échantillonnage) pour les anguilles <150mm en fonction des bassins versants en 2022 ©LOGRAMI

Pour toutes les campagnes, la Loire est le bassin présentant les IAA moyens les plus importants. La Sèvres Nantaise est le deuxième bassin aux indices d'abondance les plus élevés pour 2016 (1,8 ang/point) et 2019 (1,0 ang/point), et celui de la Vie l'est pour 2013 (1,3 ang/point) et 2022 (1,9 ang/point). Entre 2019 et 2022 l'IAA sur la Vie a été multiplié par 13 (0,1 à 1,3 ang/point), le portant à un chiffre relativement similaire de celui de 2013 (1,2 ang/point). Sur la Sarthe il y a eu une baisse de l'IAA entre 2019 (0,7 ang/point) et 2022 (0,1 ang/point) (Figure 17).



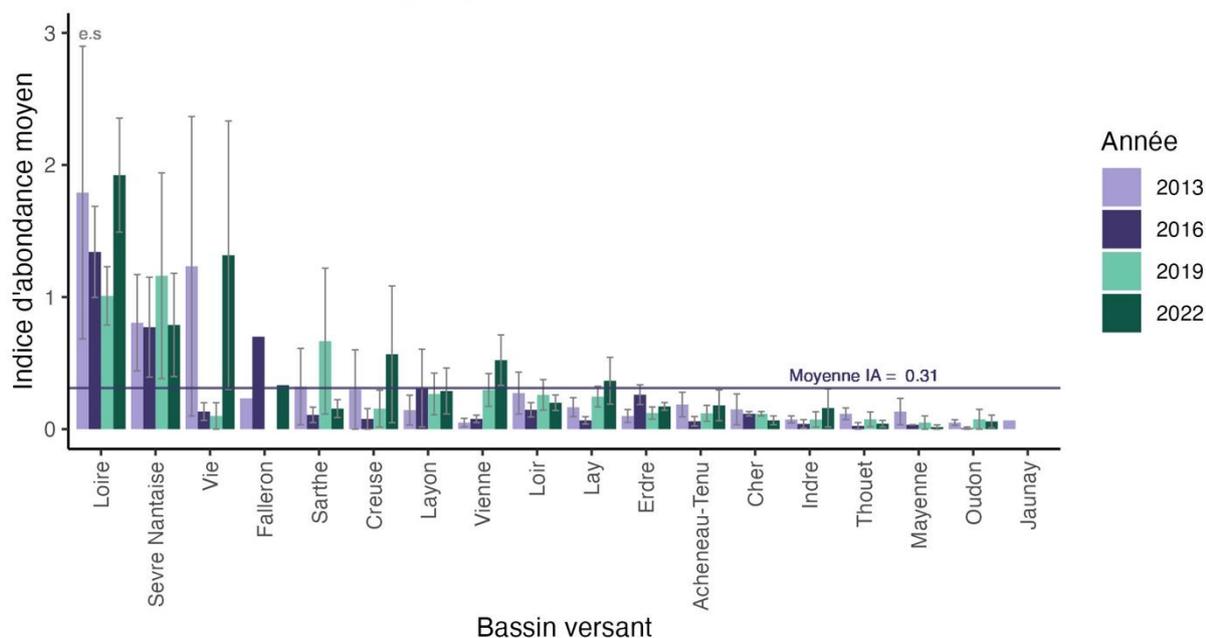


Figure 17 : Indice d'abondance moyen (anguille/point d'échantillonnage) toute taille en fonction des bassins versants et de l'année ©LOGRAMI

4.2.3.2 Par année et classe de taille

En 2022, l'IAA toutes classes de tailles confondues a largement progressé par rapport à 2019 (+61%, Figure 18). L'IAA est de 0,79 ang/point en 2022, chiffre proche de celui de 2013 (0,70 ang/point). L'abondance de la classe des anguilles inférieures à 150mm est la plus haute chaque année. Elle a toutefois reculé depuis 2013, pour atteindre un minimum de 0,18 ang/point en 2019 soit une baisse de 65% par rapport à 2013 avant de remonter à 0,3 ang/point en 2022, soit toujours 42% de moins qu'en 2013. La classe des 150-300 mm a connu une sensible augmentation atteignant 0,23 ang/point en 2022, soit plus de 3 fois le chiffre de 2013 et près de 2 fois celui de 2019. L'IAA de la classe 300-450 mm bien que demeurant très bas a crû depuis 2013 de 0,04 ang/point à 0,11 ang/point en 2022. L'IAA des anguilles de taille supérieure à 450 mm est quant à lui resté relativement stable et très bas (entre 0,04 ang/point et 0,05 ang/point).

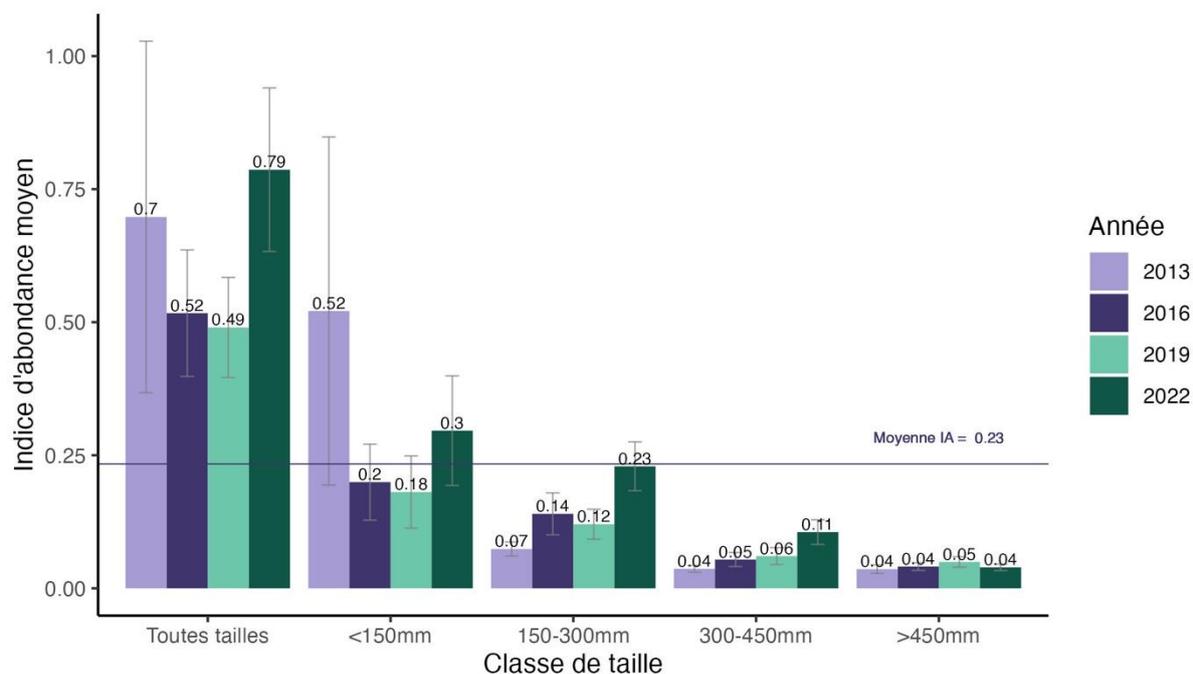


Figure 18 : Indice d'abondance moyen (anguille/point d'échantillonnage) par classe taille ©LOGRAMI

4.2.3.3 IAA en fonction de la distance à la mer

La classe de distance à la mer inférieure à 150 km présente les indices d'abondances d'anguilles les plus importants pour toutes les campagnes et classes de tailles d'anguilles. Il était de 1,47 ang/point en 2013 puis a baissé en 2016 à 0,96 ang/point et 2019 à 0,78 ang/point avant de remonter en 2022 à 1,25 ang/point. La classe 150-300 km présente un IAA en hausse constante depuis 2013 (0,14 ang/point) qui a été multiplié par 3,9 en 2022 pour atteindre 0,55 ang/point. La classe de distance à la mer supérieure à 300 km est quant à elle restée relativement stable avec des IAA compris entre 0,11 (2022) et 0,17 (2013) (Figure 19). C'est à moins de 150 km de la mer que les abondances d'anguilles de taille inférieure à 150 mm sont les plus importantes. En 2013, leur IAA était de 1,23 ang/point, et en 2022 il représente moins de la moitié de ce chiffre malgré une légère hausse depuis 2019 où il n'était que de 0,39 ang/point.

Entre 150 km et 300 km de la mer l'abondance d'anguilles de petites tailles (<150 mm) est en hausse avec un IAA qui a été multiplié par 7 depuis 2013 où il était de 0,02. Néanmoins ces abondances restent faibles avec en 2022 un IAA de 0,14 ang/point (Figure 20). Les anguilles mesurant moins de 150 mm sont absentes au-delà de 300 km de la mer.



L'abondance des anguilles de taille 150-300 mm a presque triplé depuis 2013 dans la zone aval la portant à 0,37 ang/point en 2022. Elle a quadruplé dans la zone intermédiaire avec 0,16 ang/point en 2022 (Figure 21).

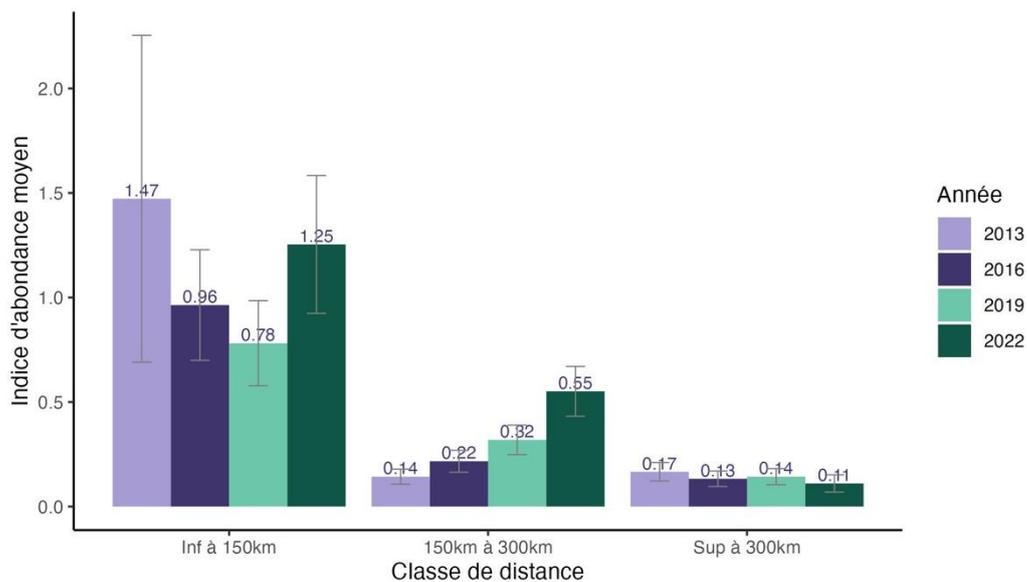


Figure 19 : Indice d'abondance moyen (anguille/point d'échantillonnage) toute taille en fonction de la distance à la mer et de l'année ©LOGRAMI

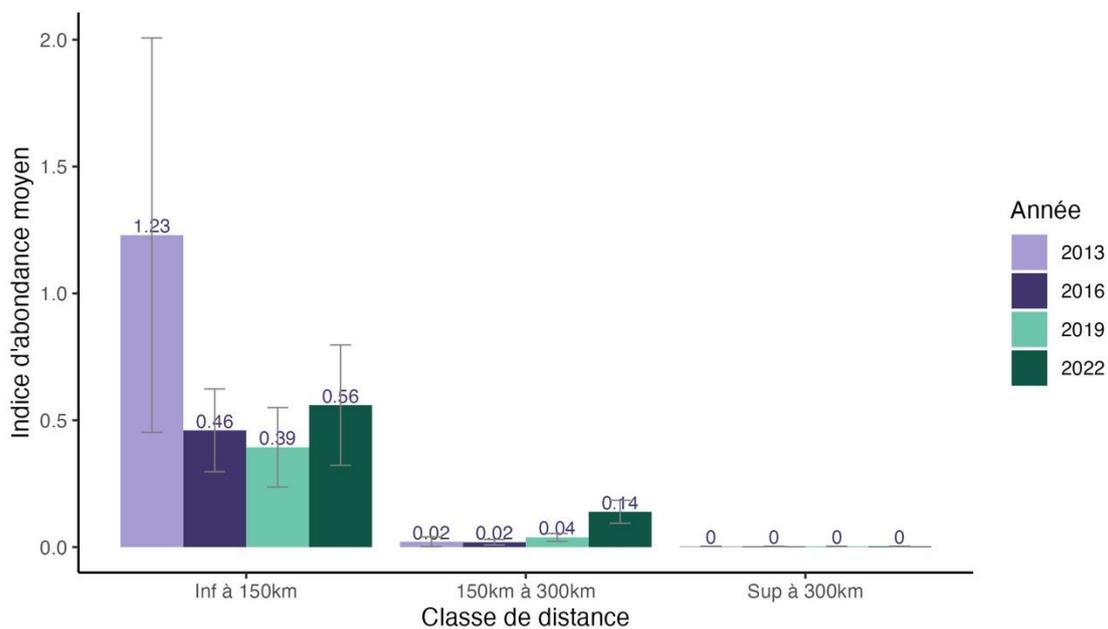


Figure 20 : Indice d'abondance moyen (anguille/point d'échantillonnage) des anguilles <150 mm en fonction de la distance à la mer et de l'année ©LOGRAMI

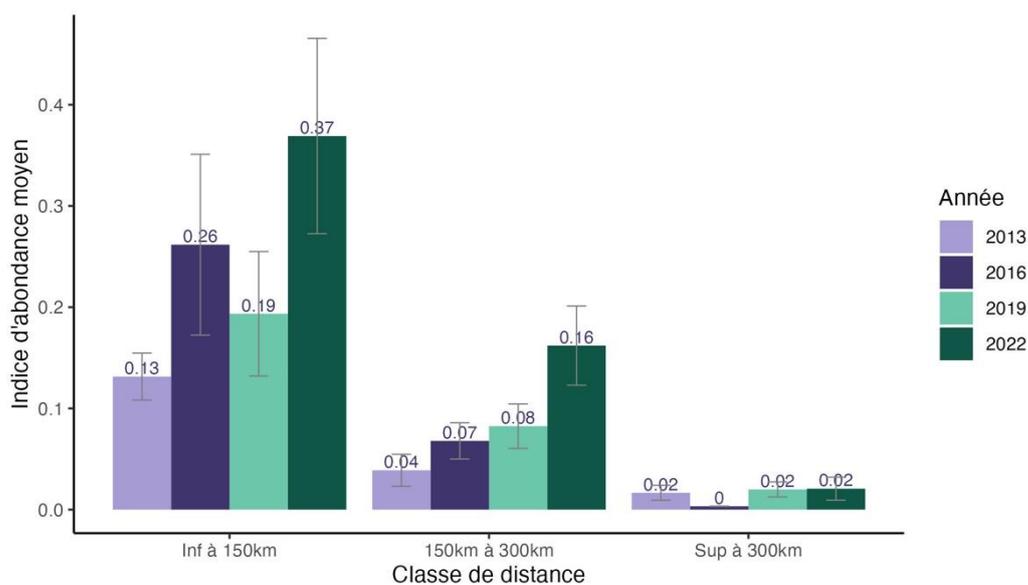


Figure 21 : Indice d'abondance moyen (anguille/point d'échantillonnage) des anguilles entre 150 - 300 mm en fonction de la distance à la mer et de l'année ©LOGRAMI

4.3. Répartition au sein du bassin

Les anguilles de moins de 150 mm ont été trouvées le plus en amont sur le ruisseau du Batreau (bassin de la Vienne) à 272 km de la mer. Elles sont présentes sur les affluents aval de la Loire (Erdre, Sèvre Nantaise, Acheneau), et c'est là que leurs IAA sont les plus hauts. On les trouve également sur le Loir dans la Sarthe à 201 km de la mer, sur plusieurs cours d'eau du bassin de la Vienne, sur un affluent de la Creuse en amont de la confluence avec la Vienne à 262 km de la mer, sur le Cher à 246 km de la mer, sur l'Indre à 219 km de la mer, ainsi que dans les côtières vendéens (Vie, Lay, Falleron) (Figure 22).

De leur côté, les anguilles de taille 150-300 mm sont présentes sur la Loire et ses affluents aval (Erdre, Sèvre Nantaise, Acheneau). Elles ont colonisé le Loir, la Sarthe, la Mayenne, la Vienne, la Creuse, le Cher, l'Indre, le Layon. On les trouve aussi au sein des côtières vendéens (Figure 22Figure 23).



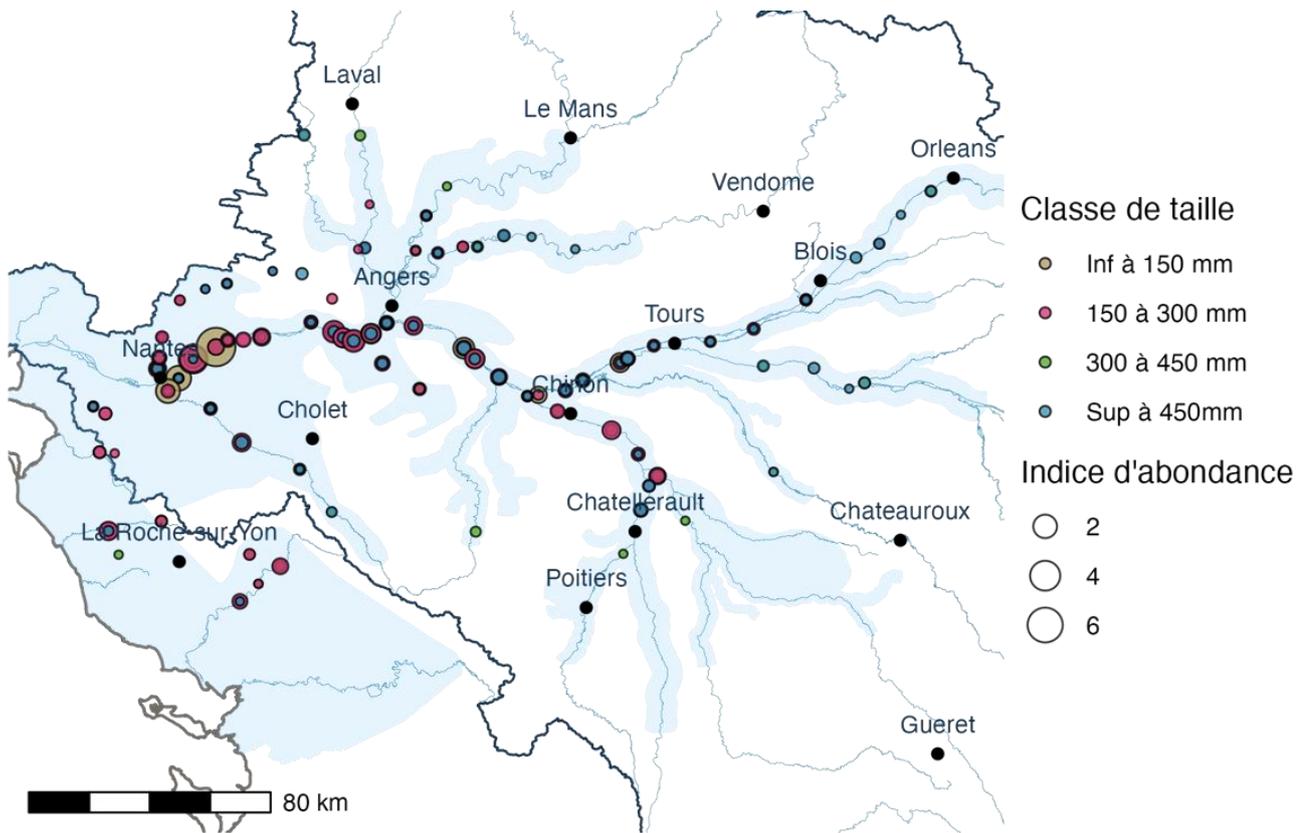


Figure 22 : Carte de la répartition des anguilles européennes par classes de taille et abondances en 2022 ©LOGRAMI

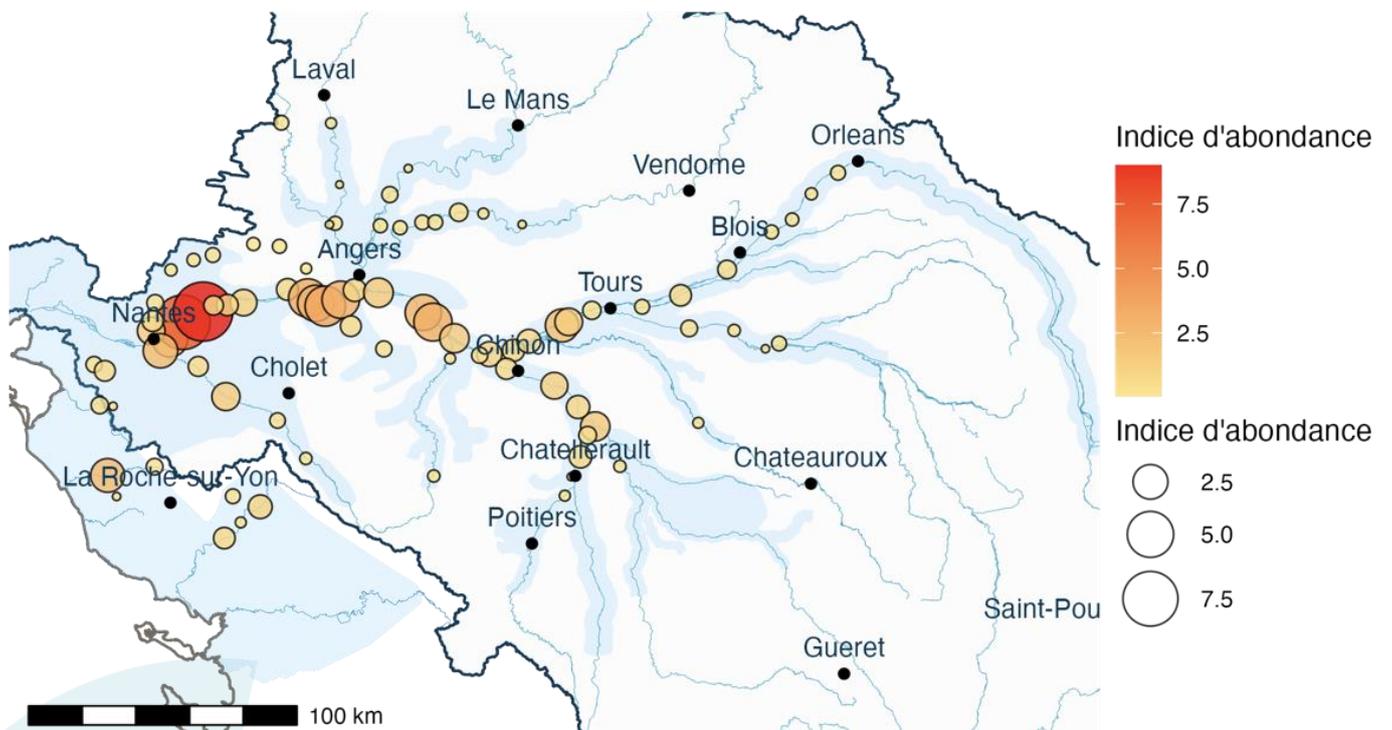


Figure 23 : Carte de la répartition des abondances d'anguilles européennes en 2022 ©LOGRAMI

Toutes tailles confondues, les abondances les plus importantes ont été observées entre Vertou (57 km de la mer en Loire-Atlantique) sur la Sèvres Nantaise (2,1 ang/point) et Villandry sur la Loire à 240 km de la mer (2,2 ang/point) (Figure 23).

4.4. Comparaison avec les résultats du modèle EDA

Eel Density Analysis (EDA), créé en 2008 par C. Briand, est un modèle spatial permettant de prédire les probabilités de présence et densités d'anguilles jaunes ainsi que la production d'anguilles argentées en tout point d'un réseau hydrographique. Pour cela le modèle utilise des données issues du Réseau de Suivi Anguilles et d'autres pêches électriques. IL a tout d'abord été développé à l'échelle du Bassin Loire-Bretagne, puis a été étendu à toute la France à partir de 2010 et à l'Espagne et au Portugal dans le cadre du projet SUDOANG en 2022.

Le modèle étant à présent appliqué à une plus grande échelle, ils perdent en précision à l'échelle locale. De plus les données utilisées par le modèle n'ont pas été mise à jour depuis 2015, ce qui ne permet une comparaison entre résultats d'une même année.

Il est possible de comparer les résultats obtenus avec le Réseau de Suivi Anguilles et le modèle EDA de 2022 à l'échelle de l'ouest de l'Europe (Figure 24) ou le modèle EDA de 2015 à l'échelle Française (Figure 25).

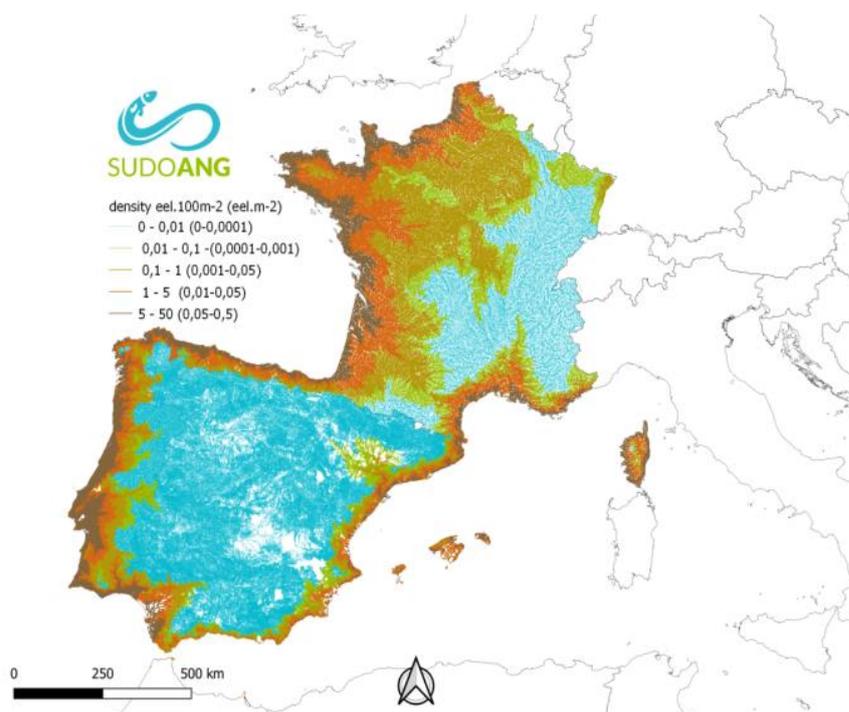


Figure 3.16: Eel density in France, Spain and Portugal according to the $\Delta\Gamma$ model responses.

Figure 24 : Carte de la densité moyenne d'anguilles jaunes en France, Espagne et Portugal (Briand et al, 2022)



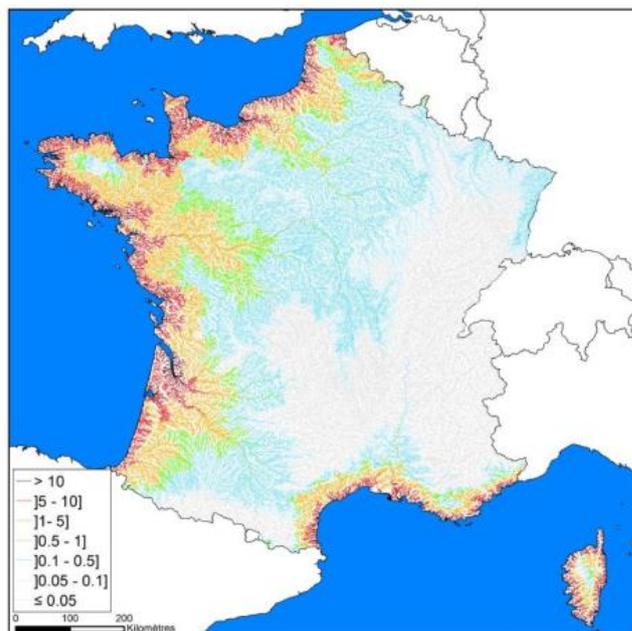


Figure 3.15 – Densities of yellow eels (in eel.100 m⁻²) predicted in France by the $\Delta\Gamma$ model in 2015.

Figure 25 : Carte de la densité moyenne d'anguilles jaunes en France en 2015 (Briand et al, 2018)

En comparant les résultats obtenus avec EDA et du RSA, les densités d'anguilles sont sensiblement plus importantes pour les données 2022. Il y aurait une plus forte densité d'anguilles en 2022 que ce que prévoyait EDA pour l'année 2015.

Il est difficile de dire plus de choses avec les données disponibles mais la mise à jour des données du modèle EDA pour la Loire est en cours avec les données de pêches de 2016, 2019 et 2022. Une fois cela réalisé, il sera possible d'effectuer une comparaison plus importante.

| 31

Analyse des effets de facteurs environnementaux et anthropiques sur l'abondance des anguilles

4.4.1. Corrélation des différents facteurs et sélection du modèle

Les tests de corrélations démontrent que plusieurs variables sont significativement corrélées (Figure 26). Les variables les plus corrélées sont : la largeur moyenne et l'ombrage ($r = -0,40$), la profondeur moyenne et l'ombrage ($r = -0,33$), le nombre cumulé d'obstacle et l'ombrage ($r = 0,35$).

- 🌀 L'ombrage est corrélé à la distance à la mer, le nombre d'obstacles, la profondeur moyenne et à la largeur moyenne du cours d'eau.
- 🌀 Le nombre d'obstacles est corrélé à la distance à la mer ($r = 0,20$), à l'ombrage ($r = 0,35$), à la profondeur ($r = -0,21$) et à la largeur moyennes ($r = -0,18$).
- 🌀 La profondeur et la largeur moyenne sont également corrélées ($r = 0,18$).

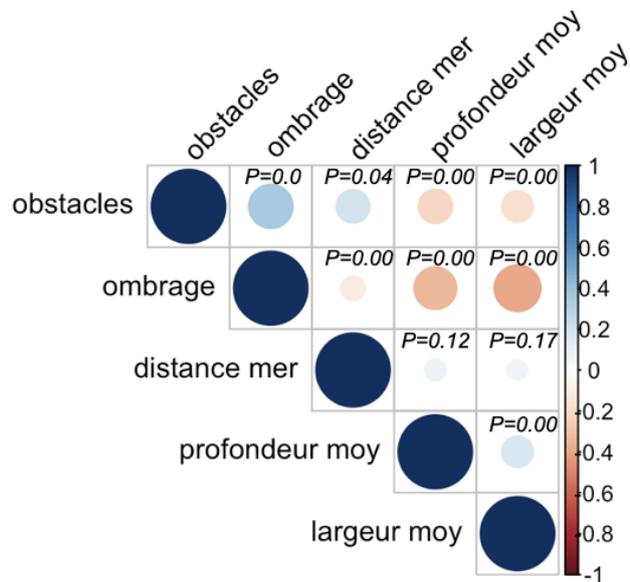


Figure 26 : Corrélogramme des variables explicatives. Le gradient bleu exprime une corrélation positive, le gradient rouge une corrélation négative. La taille des cercles est proportionnelle à la valeur du coefficient de corrélation ©LOGRAMI 2022

4.4.2. Facteurs significatifs et leurs effets

Notre modèle linéaire généralisé mixte a permis de voir que les variables permettant de prédire au mieux les abondances toutes classes de tailles confondues sont la distance à la mer, l'année, la profondeur et l'ombrage. Le meilleur modèle pour prédire les abondances toutes classes de taille confondues est un modèle glmm de forme : $\text{abondance_anguille} \sim \text{année} + \text{ombrage} + \text{profondeur_moy} + \text{dmer} + 1|\text{bassin} + \text{année:dmer}$

| 32

Les modèles les plus parcimonieux retenus diffèrent selon la variable réponse considérée (abondance des différentes classes de taille) (Tableau 3). Toutefois la distance à la mer et l'ombrage sont toutes deux présentes dans chacun des modèles individuels. La distance à la mer apparaît comme étant la plus significative (présentant les valeurs de P les plus faibles et les coefficients les plus grands). Par ailleurs aucun modèle n'a été sélectionné pour la classe d'anguilles de taille supérieure à 450 mm (tous les P des variables explicatives >0,05).

Tableau 3 : Modèle linéaire généralisé mixte retenu pour chaque variable réponse étudiée (abondance par classe de taille) ©LOGRAMI 2022

	Modèle retenu	AICc
Abondance totale	année + ombrage + profondeur_moy + dmer + 1 bassin + année:dmer	6372.8
Abondance 0-150 mm	année + largeur_moy + ombrage + profondeur_moy + dmer + 1 bassin + année:dmer	2943.8
Abondance 150-300 mm	année + ombrage + obstacles + dmer + 1 bassin + année:dmer	2553.4
Abondance 300-450 mm	année + ombrage + dmer + 1 bassin	1624.7
Abondance >450 mm	/	



4.5. Modélisation du front de colonisation

Le front de colonisation est la distance maximale depuis la mer où la probabilité de trouver une anguille est de 50% (D0,5). En 2022, le front de colonisation des anguilles de taille inférieure à 300 mm (âgée de ~6mois à 6 ans) atteignait 313 km sur l'axe Loire. Il a régressé de 19 km par rapport à 2019. Néanmoins, il demeure plus avancé qu'en 2013 et 2016 (Figure 27). Sur les affluents de la Loire, le front s'est relativement maintenu depuis 2019. Les fluctuations sur les bassins s'échelonnent entre ± 0 et 19 Km de la valeur de 2019.

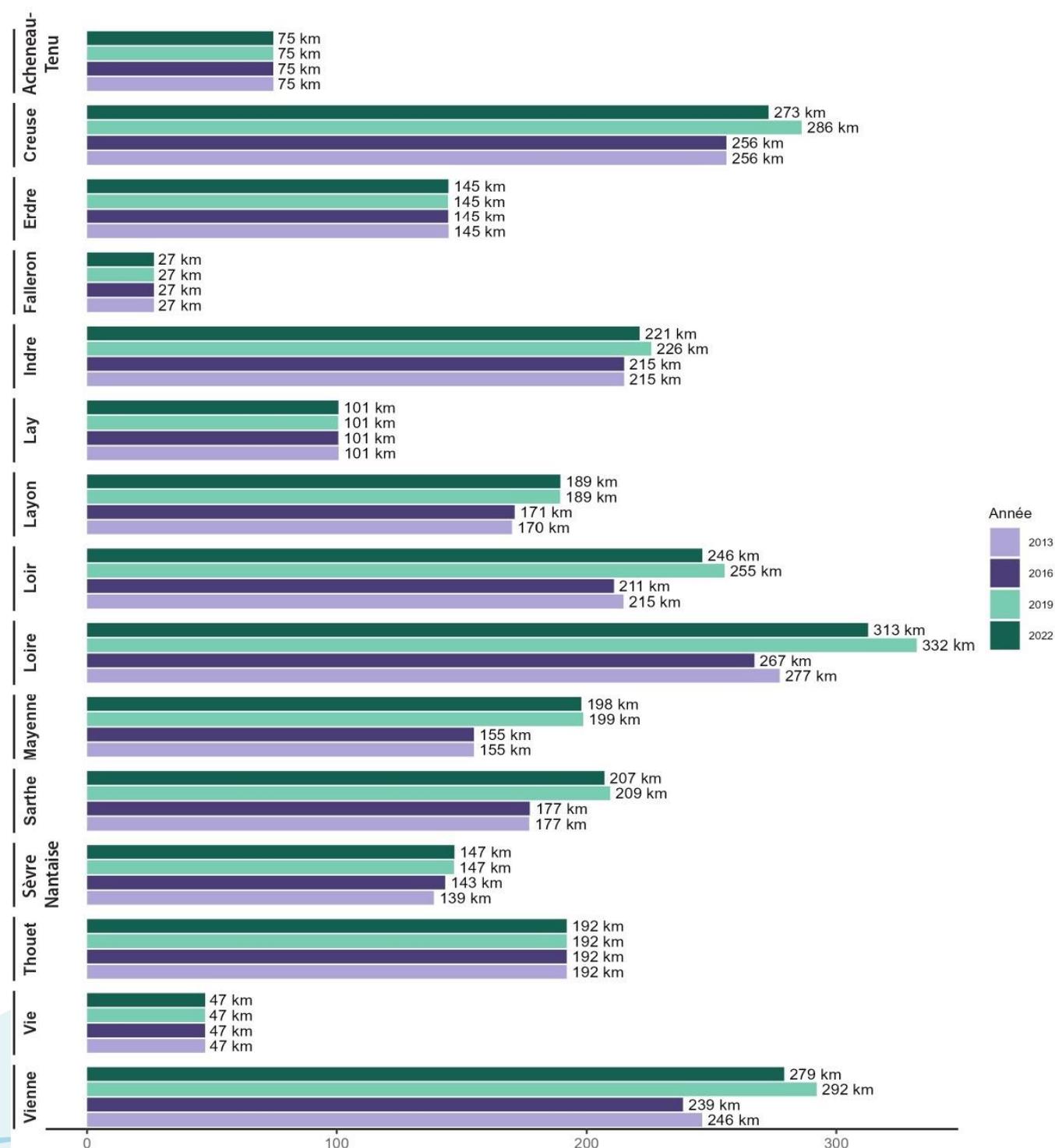


Figure 27 : Front de colonisation (en km) des anguilles jeunes (< 300 mm) par année et bassin versant ©LOGRAMI

5. Discussion

LOGRAMI met en œuvre depuis 2013 un suivi tri annuel des anguilles du bassin versant de la Loire. Le présent rapport porte sur les résultats de la campagne 2022. Cette dernière a été réalisée malgré des conditions hydrologiques difficiles (sècheresse précoce et pluie pendant les pêches) et a permis de mettre en lumière l'évolution des abondances et du front de colonisation des anguilles sur le bassin Loire.

5.1. Hausse des abondances

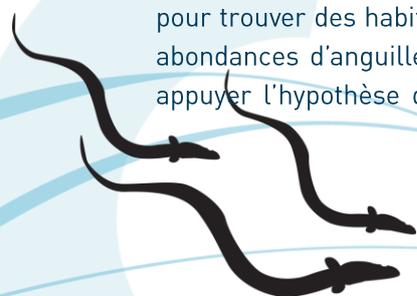
Nos analyses ont mis en avant des **abondances d'anguilles en nette hausse** dans le bassin de la Loire et dans les côtières vendéens, l'année 2022 représentant la **meilleure année en termes d'indice abondance anguille (IAA) depuis 2013**. La hausse nette abondances toutes classes de tailles confondues suggère que ces trois dernières années ont connu des recrutements importants confirmant les effectifs exceptionnels d'anguilles jaunes en migration observés sur l'axe Vienne en 2020 et 2021. L'augmentation des abondances de jeunes anguilles de taille <150mm va également dans le sens **d'une amélioration du recrutement fluvial**. Les observations sur l'Erdre viennent appuyer cette tendance, l'année 2022 constituant la deuxième meilleure année de recrutement (1.58 fois supérieur à la moyenne calculée entre 2016 et 2022) (Dury 2022). De même, des recrutements exceptionnels ont été notés en Gironde en 2022 (Dury, 2022). Cette tendance positive ne semble pour autant pas généralisable à toute la façade Atlantique. De très mauvais effectifs de civelles ont été observés sur la Vilaine (Bretagne) en 2021, et l'indice régional de recrutement d'anguilles est aussi très bas (4,11% de l'indice breton entre 1960 et 1980) (Bretagne Grands Migrateurs, 2022).

| 34

L'observation de l'augmentation de la présence de jeunes anguilles pourrait être liée aux actions et gestions menées depuis 10 -15 ans. Il faudra être vigilant lors des prochains suivis à observer l'évolution de l'abondance des différentes classes de taille pour confirmer un rajeunissement des populations. Un suivi des passes à civelles d'ici 2025 pourrait en partie confirmer ce qui a été observé à travers le suivi anguille de Loire en 2022.

5.2. Colonisation croissante en zone intermédiaire

Les abondances croissantes toutes tailles confondues de la zone intermédiaire (150 à 300 km de la mer) depuis 2013, associées au triplement de l'abondance des anguilles de taille 150-300 mm en zone aval et à son quadruplement en zone intermédiaire par rapport à 2013 reflètent **un vieillissement de la population et une potentielle sédentarisation en zone aval** des anguilles issues des modestes recrutements des années précédant 2019. En effet, les faibles densités en aval des années passées ont probablement permis aux anguilles d'y trouver des habitats favorables et libres, mais les forts recrutements connus depuis 2019 ont entraîné **une reprise de la migration des anguilles vers l'amont** pour trouver des habitats moins densément peuplés. En outre, le recul observé entre 2013 et 2019 des abondances d'anguilles de taille <150 mm dans la zone aval au profit de la zone intermédiaire vient appuyer l'hypothèse d'une **progression des anguilles liée à des comportements d'adaptation aux**



densités d'individus et aux capacités d'accueil des sites (Adam et al., 2008; Ibbotson et al., 2002; Lasne & Laffaille, 2008).

5.3. Stagnation du front de colonisation

Le front de colonisation n'a **pas significativement progressé en 2022**. Cela peut s'expliquer par la faiblesse des recrutements des années antérieures à 2019, et la récence des recrutements à la hausse. En effet, une **latence entre les forts recrutements et l'avancée du front de colonisation** pourrait expliquer ce résultat. Celle-ci serait liée à la vitesse de progression au sein du bassin qui varie en fonction des obstacles rencontrés (leur nombre et leur franchissabilité) mais aussi du **degré de saturation des zones aval** qui est encore aujourd'hui difficilement quantifiable (Acou et al., 2011). A cela s'ajoute une forte variabilité interindividuelle (Feunteun et al., 2003). Ainsi, l'influence du recrutement de 2022 pourrait se manifester et entraîner une progression du front de colonisation dans les années à venir. C'est déjà ce qui semble s'opérer avec la zone intermédiaire qui accueille de plus en plus d'anguilles jaunes.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces évolutions d'abondance et de répartition.

La stagnation du front de colonisation ne reflète pas l'amélioration du recrutement depuis 2019 mais ne la contredit pas non plus. En revanche, l'impact de l'augmentation du recrutement devrait pouvoir être perceptible sur le front de colonisation lors des prochains suivis en 2025 ou 2028.

| 35

5.4. Facteurs explicatifs

5.4.1. Distance à la mer

Nos analyses indiquent que parmi les variables testées, la **distance à la mer constitue le premier facteur permettant d'expliquer les abondances d'anguilles**. Ceci est conforme aux résultats des rapports précédents (Canal et al., 2013; Dicharry, 2019; Dufour, 2016). Divers auteurs ont également mis en avant la prévalence de cette variable pour expliquer les abondances d'anguilles du bassin versant du Frémur (Bretagne) (Feunteun et al., 2003), la probabilité de présence dans les rivières côtières suédoises (Degerman et al., 2019) ou encore l'échappement des anguilles argentées dans les rivières d'Europe (Briand et al. 2022).

Néanmoins la distance à la mer **ne permet pas dans notre étude d'expliquer les abondances d'anguilles les plus grandes (>450 mm)**. Cela pourrait être lié au design de l'étude qui ne vise pas les anguilles les plus grandes (donc plus âgées), souvent présentes dans des zones et habitats d'eau plus profondes, non échantillonnées ici. D'autre part, si les grands individus (>300 mm) sont pour la plupart territoriaux et sédentaires (Laffaille et al. 2005), certains demeurent nomades, et utilisent les différents sites accessibles (aval ou amont), ce qui peut expliquer l'absence de gradient aval-amont (Feunteun et al., 2003).

5.4.2. L'année

La variable année a été retenue dans la majorité de nos modèles. Elle constitue un proxy pour divers paramètres environnementaux et anthropiques listés ci-dessous.

Les facteurs océaniques et climatiques tels que les changements dans les forces des courants marins (notamment le Gulf Stream) ou la **température et disponibilité en nourriture** influent sur le recrutement estuarien (Adam et al., 2008).

Les conditions hydrologiques influencent le recrutement qui est corrélé positivement aux débits moyens mensuels en aval (Acou et al. 2009). Les **débits annuels moyens de 2022 ont été bien plus faibles qu'en 2013**. Toutefois le débit du mois de janvier 2022 a été très largement supérieur à ceux des deux études précédentes (2016 et 2019), et a été suivi d'un faible débit en février et de températures de l'eau comprises entre 9 et 10°C. Or, le déclenchement des mouvements migratoires au-delà de la limite tidale est lié à la température de l'eau (nage active à partir de 9 et 12°C), au débit fluvial et au coefficient de marée (Adam et al. 2008). Ainsi **le fort débit de janvier a pu engendrer un appel d'eau douce** qui a potentiellement attiré les civelles, qui ont ensuite progressé rapidement dans l'estuaire grâce au front de marée dynamique qui s'est rapidement propagé en l'absence de forts débits. Cela semble être confirmé par le **pic migration précoce enregistré en février 2022 sur la passe de Saint-Félix** (Dury 2022).

Les transferts de civelles ont potentiellement influencé nos observations, notamment concernant les abondances de jeunes anguilles. Le facteur transfert de civelles n'a pas été intégré à nos analyses en raison du **manque de connaissances sur l'effet réel de ces transferts et de la difficulté à identifier les individus issus des transferts**. En effet, si des suivis sont menés post-déversement, l'effet du repeuplement à l'échelle du bassin n'est pas encore quantifiable. Une étude récente (Delage et al. 2019) a montré que la survie des civelles de repeuplement était réduite d'environ 50 % par rapport aux civelles colonisant naturellement le bassin. Il serait donc intéressant d'intégrer cette variable dans les études à venir.

On constate cependant que passé la Varenne, un seul site dépasse un indice d'abondance de 1 individus de taille inférieure à 150mm par point d'échantillonnage alors que la moyenne des abondances sur les stations en amont de la Varenne est de 0.48 ind/point. Il s'agit du Bras des Rosiers qui est situé à 7km en aval du point de transfert 2022 de Gennes-Val-de-Loire. Il est probable que ces effectifs étonnant soient liés aux déversements. Il convient de garder à l'esprit que ceci aurait pour conséquence un déplacement artificiel du front de colonisation modélisé vers l'amont.

Les quotas de pêche à la civelle après avoir largement baissé jusqu'en 2013 ont augmenté à partir de 2015. Les captures réelles, bien que chaque année inférieures aux quotas, correspondent à des **taux d'exploitation supérieurs à la cible de gestion** (Comité scientifique chargé de déterminer le niveau de TAC, 2020), suggérant des recrutements surévalués et des prélèvements trop importants. Bien qu'en deçà des prélèvements du début des années 2000 les quotas sont encore élevés. Ceux-ci sont de l'ordre de 60 à 70 t alors que des quotas de 30 à 40 t auraient permis de se conformer à l'objectif de gestion (Comité scientifique chargé de déterminer le niveau de TAC, 2020). Ces prélèvements entravent probablement la progression du front de colonisation générant des fortes baisses de densités localement. Ils interviennent en effet exclusivement à l'aval, dans des zones capitales du cycle migratoire des anguilles

5.4.3. Effet obstacles

Le nombre d'obstacles à la migration n'a été retenu dans aucun de nos modèles. De nombreuses études soulignent pourtant **l'impact majeur des ouvrages qui perturbent la colonisation et la migration de reproduction** (Lafaille et al., 2007; Trancart et al., 2020). Ceci pourrait être lié au faible nombre



d'obstacles présents sur l'axe principal de la Loire, sur lequel se situent de nombreuses stations échantillonnées (27%). D'autre part, le design de l'étude tend à éviter au maximum les zones présentant des ouvrages pour ne pas enregistrer de surabondances en pieds d'ouvrage qui biaiserait les modèles. Enfin, en raison du manque de données disponibles au moment de l'étude, la variable « nombre d'obstacles » n'a pas été mise à jour pour chaque campagne d'échantillonnage et la transparence migratoire n'a pas été prise en compte. Une analyse plus fine pourrait prendre en compte cette évolution du nombre d'obstacles mais aussi les aménagements réalisés. L'OFB a d'ailleurs effectué **une évaluation des pressions exercées par les ouvrages sur les cours d'eau qui s'appuie sur le taux d'étagement** (impacts de type retenue), **le taux de fractionnement** (impacts de type barrière), et **la densité d'obstacles** (Vierron & Steinbach, 2020). Le taux de fractionnement a été réduit sur certains grands axes (Loire, Allier aval, Cher et Vienne), tandis qu'il reste important sur la Creuse, la Gartempe, le Thouet et la Sèvre Nantaise. Il reste encore 56% des ouvrages à traiter pour la montaison et 62% pour la dévalaison, dans le territoire du PLAGEPOMI.

5.5. Proposition pour le Réseau Anguille Loire 2025

5.5.1. Condition de pêche

A chaque campagne, certaines stations ont dû être déplacées ou abandonnées en raison de l'évolution des conditions de pêche. Le nombre de stations échantillonnées durant l'ensemble des campagnes baisse donc régulièrement et avec lui la robustesse des comparaisons interannuelles. Si pour l'heure une station correspond à un linéaire défini (environ 100m de long), peut-être serait-il intéressant d'élargir la station à une zone de pêche plus large afin de pouvoir déplacer légèrement le site d'échantillonnage si nécessaire tout en restant au sein de la même station. Cela éviterait les abandons ou les déplacements de stations (engendrant la création de nouvelles stations) qui réduisent le nombre de stations comparables d'une campagne à l'autre.

Bien que les débits aient été particulièrement faibles lors des pêches électriques, les niveaux observés étaient sensiblement identiques à ceux de 2016 et 2019, de même que la température de l'eau. L'effet de ces variables est donc probablement limité lors des comparaisons interannuelles.

5.5.2. Méthodes et outils utilisés

Le protocole d'étude a initialement été développé pour les échantillonnages ponctuels d'abondance (EPA) anguilles des fleuves côtiers bretons. En raison de la diversité des cours d'eau échantillonnés dans notre étude (axe principal de la Loire, ruisseaux de moins de 2m de large, bras-morts, etc.), le matériel et la procédure ne sont pas toujours adaptés, notamment sur l'aval dans les secteurs à très faible courant et visibilité. Il serait peut-être intéressant d'actualiser le protocole et matériel afin de mieux l'adapter au réseau hydrographique de l'étude.

6. Conclusion

Une hausse généralisée des effectifs et des abondances d'anguilles de toutes tailles est observable en 2022 sur le Bassin de la Loire et les côtières vendéens particulièrement en zone aval et intermédiaire. Ces **tendances à la hausse confirmant la qualité des recrutements des dernières années** ne concernent pas tous les indicateurs du tableau de bord anguille, qui pour beaucoup demeurent au rouge (population sédentaire très faible, potentiel de géniteurs très bas, etc.). Si les **abondances d'anguilles ont augmentés** et particulièrement dans la zone intermédiaires pour les anguilles de petites tailles, **le front de colonisation n'a lui pas progressé**. Cela peut être expliqué par les faibles recrutements en civelles avant 2019 mais depuis 2019 la situation semble s'améliorer et le front de migration pourrait alors à nouveau progresser. Les **résultats sont encourageants** mais reste insuffisant à l'échelle du bassin de la Loire et historiquement. En outre, d'autres bassins connaissent des situations inquiétantes (Charente, Bretagne, Rhône et côtières méditerranéens, etc.) reflétant un statut toujours critique de l'anguille à l'échelle nationale et européenne.

Les **mesures de gestion** portent depuis longtemps principalement sur le contrôle des pêches et les actions de repeuplement. Depuis une quinzaine d'années, l'écologie de la restauration s'attache de manière croissante à la **continuité écologique** (aménagement d'ouvrages, gestion des débits, etc.) et commence désormais à viser celle **des habitats**. Toutefois les effets des mesures en cours pour le rehaussement du lit de la Loire et la restauration de ses annexes ne sont pas encore quantifiables (travaux du programme de rééquilibrage démarrés en 2021). De même, les divers suivis de l'anguille permettent de suivre l'évolution des populations mais pas encore d'estimer de manière fiable la quantité d'anguilles argentées s'échappant vers la mer, ni d'évaluer la réduction de mortalité réelle émanant des mesures de gestion (MEDDE 2015).

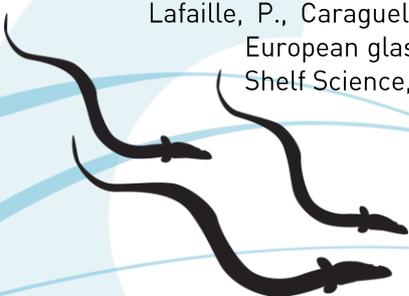
Enfin, un futur suivi de la population d'anguille européenne au sein de l'estuaire de la Loire, au travers de l'augmentation des connaissances autour de bouchons vaseux et des habitats disponibles, pourraient permettre de mieux comprendre certaines caractéristiques du recrutement fluvial et de mettre en place une gestion pour une diminution des pressions dans cette zone à forts enjeux.



7. | Bibliographie

- Acou, A., Rivot, E., Van Gils, J. A., Legault, A., Ysnel, F., & Feunteun, E. (2011). Habitat carrying capacity is reached for the European eel in a small coastal catchment: Evidence and implications for managing eel stocks. *Freshwater Biology*, 56(5), 952-968. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02540.x>
- Adam, G., Feunteun, E., Prouzet, P., & Rigaud, C. (2008). L'anguille européenne : Indicateurs d'abondance et de colonisation. Editions Quae. <http://books.google.com/books?id=DvjN21Hra6YC&hl=fr>
- Baisez, A. (2007). Tableau de Bord Anguille du bassin de la Loire, des Côtiers vendéens et de la Sèvre Niortaise, bilan de l'année de mise en place couvrant la période du 1er avril 2006 au 1er avril 2007. LOGRAMI.
- Baisez, A., & Laffaille, P. (2005). Un outil d'aide à la gestion de l'anguille : Le tableau de bord du bassin loire. *Bulletin Français Pêche et Pisciculture*, 378-379, 115-130.
- Besse, T., & Baisez, A. (2010). Poursuite du Tableau de Bord Anguille du bassin de la Loire, des Côtiers vendéens et de la Sèvre Niortaise, 2009-2010 (p. 31p.) [Rapport d'activité animation et coordination du 01/04/2009 au 31/03/2010]. LOGRAMI.
- Bevacqua, D., Melià, P., Gatto, M., & De Leo, G. A. (2015). A global viability assessment of the European eel. *Global Change Biology*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/gcb.12972>
- Bonhommeau, S. (2008). Effets environnementaux sur la survie larvaire de l'Anguille (*Anguilla anguilla*) et conséquences sur le recrutement. [Thèse présentée devant Agrocampus Rennes pour obtenir le titre de Docteur de l'Agrocampus Rennes mention : Halieutique]. Agrocampus Rennes.
- Bretagne Grands Migrateurs. (2022). Réseau de suivi du recrutement par pêche électrique en Bretagne. <https://www.observatoire-poissons-migrateurs-bretagne.fr/indicateurs-d-etat-de-pressions-et-de-reponse-de-l-a-population-d-anguilles-en-bretagne/etat-de-la-population-anguille/recrutement-estuarien-et-fluvial/suivi-du-recrutement-par-peche-electrique-en-bretagne>
- Briand, C., Chapon, P.-M., Beaulaton, L., Drouineau, H., & Lambert, P. (2018). Eel density analysis (EDA 2.2.1). Escapement of silver eels (*Anguilla anguilla*) from French rivers. 2018 report. EPTB Vilaine, AFB-INRA, IRSTEA. https://www.researchgate.net/publication/327792368_Eel_density_analysis_EDA_221_Escape ment_of_silver_eels_Anguilla_anguilla_from_French_rivers_2018_report
- Briand, C., Mateo, M., Beaulaton, L., Drouineau, H., Kora, M., & Diaz, E. (2021). Eel Density Analysis (EDA 2.3) Escapement of silver eels (*Anguilla anguilla*) from French, Spanish and Portuguese rivers (α 2.3; p. 119). AZTI, INRAe, OFB, EPTB Vilaine.
- Bruslé, J. (1990). The effects of heavy metals on eels, *anguilla* s.P. *Aquatic Living Resources*, P2134.
- Canal, J., Besse, T., Baisez, A., & Laffaille, P. (2013). Front de colonisation de l'Anguille européenne en Loire, année 2013 (p. 47) [Rapport d'Etude]. Association LOGRAMI, laboratoire Ecolab (Ecologie Fonctionnelle et Environnement) - UMR 5245 CNRS UPS INPT.
- Chancerel, F. (1994). Note technique : La répartition de l'anguille en France. *Bulletin Français Pêche et Pisciculture*, 335, 289-294.
- Charrier, F., Mazel, V., Caraguel, J.-M., Abdallah, Y., Le Gurun, L. L., Legault, A., & Laffaille, P. (2012). Escapement of silver-phase European eels, *Anguilla anguilla*, determined from fishing activities in a Mediterranean lagoon (Or, France). *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 69, 30-33.
- Comité scientifique chargé de déterminer le niveau de TAC. (2020). Estimations des possibilités de captures totales d'anguilles de moins de 12 cm pour la saison 2020-2021.

- Règlement (CE) n° 1100/2007 du conseil du 18 septembre 2007 instituant des mesures de reconstitution du stock d'anguilles européennes, Pub. L. No. 1100/2007, 248/23 L. 7 (2007).
- Degerman, E., Tamario, C., Watz, J., Nilsson, P. A., & Calles, O. (2019). Occurrence and habitat use of European eel (*Anguilla anguilla*) in running waters: Lessons for improved monitoring, habitat restoration and stocking. *Aquatic Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09714-3>
- Dekker, W. (2000). A Procrustean assessment of the European eel stock. *ICES Journal of Marine Science*, 57(4), 938-947.
- Dekker, W. (2003a). Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*? *Fisheries Management and Ecology*, 10(6), 365-376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2003.00352.x>
- Dekker, W. (2003b). On the distribution of the European eel (*Anguilla anguilla*) and its fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60(7), 787-799. <https://doi.org/10.1139/f03-066>
- Delage, N., Azam, D., & Beaulaton, L. (2019). ACOR – Apport de Connaissances aux Opérations de Repeuplement en anguille. Expérimentations in situ et ex situ (Synthèse bi Révision 1; p. 66). Pôle AFB-INRA Gest'Aqua, Agence Française pour la biodiversité, en partenariat avec le MNHN et Fish-Pass.
- Dicharry, P. (2019). Suivi de l'évolution de la population de l'anguille européenne et du peuplement piscicole au sein du Bassin Loire et des côtiers vendéens (p. 78) [Rapport de Master 2 « Sciences de l'Eau »]. LOGRAMI, Université Lumière Lyon 2.
- Dufour, G. (2016). Étude de la colonisation des bassins versants de la Loire et des côtiers vendéens par l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (p. 46) [Memoire de Master 2 Zones Humides Continentales et Littorales]. Université d'Angers, LOGRAMI.
- Dufour, G., & Besse, T. (2016). Suivi des populations et de la colonisation des bassins versants par l'anguille européenne par pêche électrique—Synthèse bibliographique. Tableau de bord Anguille LOGRAMI.
- Dury, M. (2022). Evaluation de la continuité écologique sur le bassin versant de l'Erdre au travers d'une espèce migratrice amphihaline, l'anguille européenne.
- Feunteun, E. (2002). Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. *Ecological Engineering*, 18(5), 575-591. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00021-6](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00021-6)
- Feunteun, E., Laffaille, P., Robinet, T., Briand, C., Baisez, A., Olivier, J.-M., & Acou, A. (2003). A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels: Toward a general theory. In K. Aida, K. Tsukamoto, & K. Yamauchi (Éds.), *Eel biology* (p. 181-190). Springer.
- Friedland, K. D., Miller, M. J., & Knights, B. (2007). Oceanic changes in the Sargasso Sea and declines in recruitment of the European eel. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 64(3), 519.
- Germis, G. (2016). Méthode de pêche électrique par échantillonnage par point au martin pêcheur « indice d'abondance anguille » (p. 19) [Protocole 2009 actualisé en avril 2016]. Bretagne Grands Migrateurs.
- Ginneken, V. J. T., & Maes, G. E. (2005). The European eel (*Anguilla anguilla*, Linnaeus), its Lifecycle, Evolution and Reproduction: A Literature Review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 15, 367-398. <https://doi.org/10.1007/s11160-006-0005-8>
- Ibbotson, A., Smith, J., Scarlett, P., & Aprhamian, M. (2002). Colonisation of freshwater habitats by the European eel *Anguilla anguilla*. *Freshwater Biology*, 47(9), 1696-1706. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00930.x>
- Lafaille, P., Caraguel, J.-M., & Legault, A. (2007). Temporal patterns in the upstream migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*) at the Couesnon estuarine dam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73(1-2), 81-90.



- Laffaille, P., Acou, A., & Guillouët, J. (2005). The yellow European eel (*Anguilla anguilla* L.) may adopt a sedentary lifestyle in inland freshwaters. *Ecology of Freshwater Fish*, 14(2), 191-196. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2005.00092.x>
- Laffaille, P., Briand, C., Fatin, D., Lafage, D., & Lasne, É. (2005). Point sampling the abundance of European eel (*Anguilla anguilla*) in freshwater areas. *Archiv für Hydrobiologie*, 162, 91-98. <https://doi.org/10.1127/0003-9136/2005/0162-0091>
- Laffaille, P., Lafage, D., Aubert, C., & Feunteun, E. (2003). Organisation spatiale et évaluation de l'état des stocks d'anguilles du bassin versant de l'aulne : Bilan de la première année d'investigation [Rapport d'Étude]. Fédération de pêche.
- Laffaille, P., Lasne, É., & Baisez, A. (2009). Effects of improving longitudinal connectivity on colonisation and distribution of European eel in the Loire catchment, France. *Ecology of Freshwater Fish*, 18, 610-619. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2009.00378.x>
- 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*, 17(4), 567-576. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2008.00307.x>
- Lasne, É., & Laffaille, P. (2008). Assessing the freshwater distribution of yellow eel. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 04, 390-391. <http://dx.doi.org/10.1051/kmae/2009004>
- Moriarty, C., & Dekker, W. (1997). Management of the European eel. *Fisheries bulletin* (Marine Institute Dublin), 15, 109 pp.
- Onema, [Office national de l'eau et des milieux aquatiques]. (2010). Plan de gestion anguille de la France—Volet national.
- Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eel (WGEEL) (p. 132). (2015).
- Trancart, T., Carpentier, A., Acou, A., Charrier, F., Mazel, V., Danet, V., & Feunteun, E. (2020). When “safe” dams kill: Analyzing combination of impacts of overflow dams on the migration of silver eels. *Ecological Engineering*, 145, 105741. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105741>
- Vierron, A., & Steinbach, P. (2020). Valorisation de la connaissance des obstacles à l'écoulement—Calcul de trois indicateurs hydromorphologiques complémentaires de pression sur les cours d'eau (p. 96). Office français de la biodiversité.

