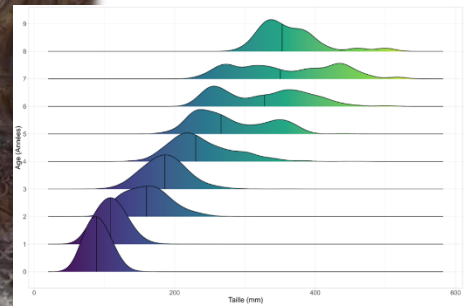
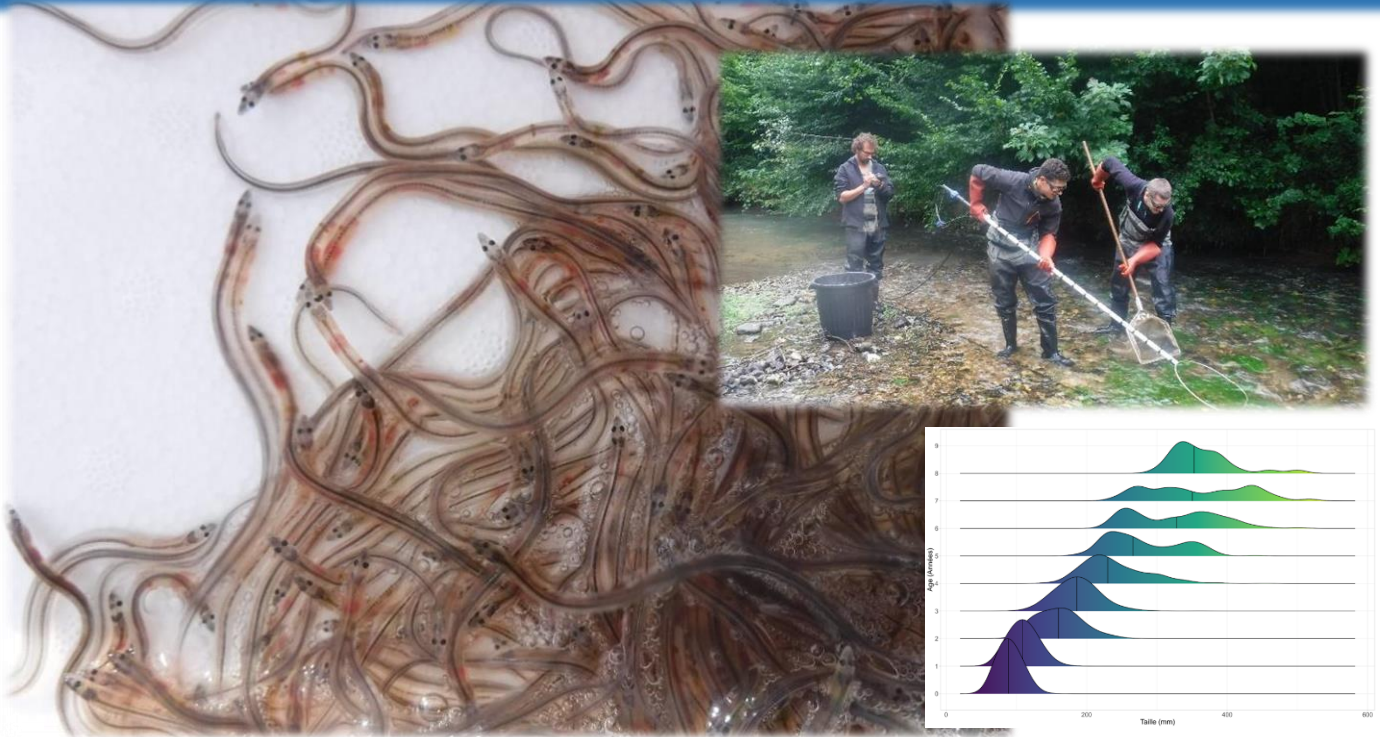


Etude ADRAF : Analyse des Données de 10 années de Repeuplement Anguille en France - 2011 / 2021



Avant-propos

Le projet ADRAF (Analyse des Données de Repeuplement Anguille en France) a été mené à la sollicitation de l'Association pour le Repeuplement de l'Anguille en France (ARA France), Maître d'Ouvrage et commanditaire de cette étude.

L'Association pour le Repeuplement de l'Anguille en France (ARA France), créée en 2010, sous le régime de la loi 1901, à l'initiative des pêcheurs professionnels de civelles et d'anguilles français, participe au financement des actions, assure la coordination du programme national et veille au respect du cahier des charges des programmes de repeuplement anguille. Elle constitue un relais entre les acteurs, réalise la synthèse annuelle des actions de repeuplement en France et propose des évolutions et adaptations du programme. En tant que partenaire technique de tous les projets de repeuplement en France depuis 2011, l'association s'implique également au niveau local lors de la réalisation des actions.

Cette analyse est issue d'un travail collaboratif de plusieurs structures dont nous remercions les membres pour leurs participations et notamment :

- Association ARA France : Déborah Gornet
- Muséum Nationale d'Histoire Naturelle (station marine de Dinard) : Bruno Serranito et Eric Feunteun
- Bureau d'études FISH-PASS : Yann Le Peru, Jean Marie Caraguel et Laura Béon

Etude ADRAF : Analyse des Données de 10 années de Repeuplement Anguille en France - 2011 / 2021

Éric Feunteun^{1,2}, Bruno Serranito¹, Yann Le Peru³

¹Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR BOREA (MNHN, CNRS, SU, IRD, UA, UCN), Station Marine de Dinard, CRESCO, France

²École Pratique des Hautes Études – Paris Sciences et Lettres, Centre de GéoEcologie Littorale, Dinard, France

³Bureau d'études FISH-PASS, Science et Ingénierie des Milieux Aquatiques, Laillé, France

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| Avant-propos..... | 1 |
| Sommaire | 2 |
| Table des figures | 4 |
| Table des tableaux..... | 6 |
| 1 Contexte | 7 |
| 2 Revue bibliographique..... | 8 |
| 2.1 Évaluer l'efficacité des programmes de repeuplement..... | 8 |
| 2.2 Survie et croissance des anguilles repeuplées | 8 |
| 2.3 Soutien au stock..... | 10 |
| 2.4 Apport de connaissance dans le cadre de l'étude | 11 |
| 3 Suivi du repeuplement..... | 13 |
| 3.1 Principes méthodologiques, un peu de théorie..... | 13 |
| 4 Présentation sommaire des projets..... | 15 |
| 4.1 Cartographie et principales caractéristiques environnementales des projets..... | 15 |
| 4.2 Quantités déversées..... | 16 |
| 5 Matériel et méthodes..... | 17 |
| 5.1 Les paramètres analysés | 17 |
| 5.2 Les variables environnementales..... | 18 |
| 5.3 Modèles linéaires..... | 18 |
| 5.4 Comparaison des projets..... | 19 |
| 6 Résultats | 20 |
| 6.1 Densités | 20 |
| 6.2 Analyse des spectres de taille..... | 22 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 6.3 | Analyse du taux de recapture | 28 |
| 8 | <u>Discussion</u> | 34 |
| 9 | <u>ANNEXE : Focus sur les résultats spécifiques à certains projets</u> | 36 |
| 9.1 | Comportement de dispersion et de colonisation des bassins versants par les anguilles repeuplées..... | 36 |
| 9.1.1 | Colonisation des lacs Landais : Exemple du projet CAZAUX 2018 | 36 |
| 9.1.2 | Colonisation des grands corridors fluviaux : Exemple du projet LOIRE AVAL 2021..... | 37 |
| 9.1.3 | Colonisation des petits cours d'eau salmonicoles : Exemple du projet LYS 2016..... | 39 |
| 9.1.4 | Colonisation des petits affluents : Exemple des projets ORNE 2018 et AA 2019..... | 40 |
| 9.2 | Recapture d'anguilles marquées au-delà des 3 ans de suivi | 41 |
| 9.2.1 | Recapture d'anguilles marquées jusqu'à + 6 ans pour les projets ERDRE | 41 |
| 9.2.2 | Recapture d'anguilles marquées jusqu'à + 9 ans pour le projet CREUSE 2013 | 42 |
| 9.3 | Taux de croissance et détermination des cohortes cible | 43 |
| 9.3.1 | Croissance lente : Exemple des projets LYS 2016 et SEVRE NANTAISE 2018 | 44 |
| 9.3.2 | Croissance forte : Exemple des projets ERDRE 2016 et ORNE 2018..... | 44 |
| 9.3.3 | Variabilité importante de distribution des tailles : Exemple des projets CREUSE 2013 ET BRETAGNE 2021 | 45 |
| | <u>Bibliographie.....</u> | 46 |

Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Schéma théorique présentant l'histoire de vie des civelles repeuplées (en vert à gauche) par rapport à celles ayant colonisé le bassin versant par leurs propres moyens (en bleu à droite). L'hypothèse est que le repeuplement est efficace s'il permet d'augmenter la production de géniteurs par rapport à une progression libre vers l'amont à partir de l'estuaire ($B_r > B_n$). Ce gain de production s'expliquant par une survie et un taux de croissance supérieurs pour les anguilles repeuplées ($S_r > S_n$; $G_{rr} > G_m$) et un âge à l'argenture inférieur pour les anguilles issues du repeuplement ($A_r < A_n$). | 14 |
| Figure 2 : Localisation des 70 opérations des translocations de civelles réalisées entre 2011 et 2021 dans le cadre du volet repeuplement du programme national de gestion des anguilles coordonné par le MTES. Les couleurs des points représentent les cours d'eau concernés. Les cours d'eau sont représentés par des traits gris fins. La limite des Unités de Gestion Anguilles (UGA) sont représentées par un trait noir épais | 15 |
| Figure 3 : Caractéristiques des opérations de repeuplement, pour chacune des UGA | 16 |
| Figure 4 : Quantités de civelles déversées lors des projets de repeuplement au cours de la période 2011-2021 au sein des différentes UGA | 16 |
| Figure 5 : Densités estimées par EPA au sein des différents bassins versants regroupés | 22 |
| Figure 6 : Densités de probabilité des tailles pour chaque âge déterminé par otolithométrie. | 23 |
| Figure 7 : Graphique de diagnostic du modèle du taux de croissance (relation âge-taille). On peut noter que l'ajustement est moins bon pour les individus les plus grands et également les plus petits. Ce problème d'ajustement est probablement relié au dimorphisme sexuel qui s'exprime particulièrement chez les individus plus âgés. | 25 |
| Figure 8 : Effet de la distance à la mer, de la largeur du cours d'eau, du nombre d'obstacles sur la taille (haut gauche), et de la semaine de la pêche sur la taille pour une classe d'âge donnée (haut droite), du bassin versant (bas gauche) et des densités estimées sur la relation taille âge (bas droite)..... | 26 |
| Figure 9 : Carte des anomalies de prédictions standardisées du taux de croissance. Les points rouges présentent des taux de croissance supérieurs à la moyenne tandis que les points bleus désignent l'inverse. Les étiquettes précisent les projets avec les taux de croissance les plus hauts (rouge ; top 10%) et les plus faibles (bleus ; bottom 10%) | 27 |
| Figure 10 : Variations temporelles du pourcentage d'individus marqués associés aux différents projets. Pour chaque sous graphique, la ligne noire en gras représente la tendance moyenne pour chaque UGA (Art_Pic: Artois Picardie, Bret: Bretagne, Ga_Do_Cha= Garonne Dordogne Charente, L_Vend_Sev: Loire Vendée Sèvre Niortaise, Sei_Norm: Seine Normandie). A $t=0$, le pourcentage correspond au pourcentage de civelles marquées lors du repeuplement. | 28 |
| Figure 11 : Carte des sites associés à des taux de recapture d'individus marqués supérieurs à 100% | 29 |
| Figure 12 : Graphique de diagnostic du modèle sélectionné pour la modélisation du taux de recapture. Ces graphiques précisent l'ajustement des résidus à une loi de distribution gaussienne, et une absence de patron linéaire particulier. | 31 |
| Figure 13 : Impact de la distance à la mer (haut gauche), la largeur du cours d'eau (haut droite), du nombre cumulé d'obstacles en aval (bas gauche), et du nombre de mois depuis le repeuplement (bas droite) sur le taux de recapture. Et impact modélisé des bassins versants sur le taux de recapture (bas), avec en rouge et bleu, les bassins versants qui tendent respectivement à améliorer ou limiter le taux de recapture. Les différents bassins versant ont été regroupés par UGA..... | 32 |
| Figure 14 : Carte des anomalies de prédictions standardisées des taux de recapture d'individus marqués. Les points rouges présentent les taux de recapture supérieurs à la moyenne tandis que les points bleus désignent l'inverse. Les étiquettes précisent les projets avec les taux de recapture les plus hauts (rouge ; top 10%) et les plus faibles (bleus ; bottom 10%). | 33 |

Table des tableaux

| | |
|--|----|
| Figure 15 : Localisation des points de repeuplements, des stations de suivis et des sites de recapture d'anguilles marquées pour le projet CAZAUX 2018 (CRPMEM Nouvelle-aquitaine)..... | 37 |
| Figure 16 : Localisation des points de repeuplements, des stations de suivis et des sites de recapture d'anguilles marquées pour le projet LOIRE 2021 et des stations de suivi du projet CREUSE/VIENNE 2019 (COREPEM – FDPPMA 37)..... | 38 |
| Figure 17 : Localisation des station suivis (FDPPMA 62 - Dir HdF OFB - CRPMEM HdF)..... | 40 |
| Figure 18 : Anguille marquée de 545 mm recapturée sur la Creuse en 2022 et provenant du repeuplement 2013 (COREPEM) 43 | |
| Figure 19 : Distribution des classes de tailles des anguilles marquées à 3 ans sur la Creuse pour le projet 2013 (CRPMEM) ... | 45 |
| Figure 20 : Distribution des classes de tailles des anguilles marquées à 1 an sur le canal de Nantes à Brest pour le projet 2021 (CRPMEM) | 45 |

Table des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Top 5 des modèles des densités estimées d'anguilles. Le meilleur modèle présente la valeur d'AIC la plus faible (delta=0). "+" indique que le prédicteur est inclus dans le modèle, avec "Suivi" le temps depuis le déversement de civelles, "n_civ" le nombre de civelles déversées, "Année": l'année de la pêche de suivi, "Bassin": la nature du bassin versant, "Height_D": la hauteur cumulée des obstacles, "Dist": distance à la mer, "Marq": marquage de l'individu, "R_larg": largeur du cours d'eau, et "S": semaine de la pêche. | 21 |
| Tableau 2 : Résumé du meilleur modèle associé aux densités d'anguilles | 21 |
| Tableau 3 : Top 5 des modèles testés pour l'étude de la relation taille-âge avec pour variable réponse la taille. Le meilleur modèle présente la valeur d'AIC la plus faible (delta=0). "+" indique que le prédicteur est inclus dans le modèle, avec "Année": l'année de la pêche de suivi, "Bassin": la nature du bassin versant, "CumD": hauteur cumulée des obstacles, "Dist": distance à la mer, "Marq": marquage de l'individu, "R_larg": largeur du cours d'eau, "Size": taille des individus, "P": type de pêche, et "S": semaine de la pêche..... | 24 |
| Tableau 4 : Résumé du GAM portant sur le taux de croissance (taille ~âge)..... | 24 |
| Tableau 5 : Top 5 des modèles testés relatifs au taux de recapture des anguilles. Le meilleur modèle présente la valeur d'AIC la plus faible (delta=0). "+" indique que le prédicteur est inclus dans le modèle, avec "Année": l'année de la pêche de suivi, "Suivi": le nombre de mois depuis le repeuplement, "Bassin": la nature du bassin versant, "Cum_D": nombre de d'obstacles situés en aval, "Dist": distance à la mer, "R_larg": largeur du cours d'eau, et "S": semaine de la pêche. | 30 |
| Tableau 6 : Résumé du meilleur modèle du taux de recapture..... | 30 |
| Tableau 7 : Résultat des captures d'anguilles sur la station RCS « 01053000 » de l'OFB (Dir HdF OFB)..... | 40 |
| Tableau 8 : Résultat des taux de recaptures d'anguilles marquées lors des suivis sur l'Erdre (COREPEM) | 42 |
| Tableau 9 : Résultat des taux de recaptures d'anguilles marquées provenant du projet CREUSE 2013 (COREPEM)..... | 43 |
| Tableau 10 : Résultat des taux de croissances pour des projets à « croissance faible » (CRPMEM)..... | 44 |
| Tableau 11 : Résultat des taux de croissances pour des projets à « croissance importante » (CRPMEM)..... | 44 |

1 Contexte

Pour faire face au déclin de l'anguille européenne, l'Europe a décidé de mettre en place un plan de gestion européen pour l'anguille, dont l'objectif est de permettre l'échappement d'au moins 40% des anguilles argentées (les anguilles candidates à la reproduction). Ces anguilles argentées débutent leur migration de reproduction à l'issue de leur croissance dans les habitats sous juridiction des états membres comprenant, les zones côtières, les zones de transition tels les estuaires et les lagunes, ainsi que les habitats aquatiques continentaux tels les cours d'eau, lacs, marais et étangs. À cet objectif de quantité s'ajoute un objectif de qualité qui vise la production d'anguilles dans un état de santé et un niveau de contamination permettant la migration transocéanique et la reproduction.

Le plan de gestion anguille de la France a été promulgué en 2011. Il comprend de nombreux volets tels que la diminution de l'effort de pêche, le repeuplement, la restauration de la continuité écologique entre la mer et les habitats aquatiques continentaux, la restauration des habitats et la qualité des cours d'eau.

Le présent rapport présente une analyse de l'intérêt du programme français de repeuplement en anguilles sur la période 2011-2021. L'analyse porte sur les données de repeuplement concernant 48 opérations de repeuplement, ayant permis la translocation de 29 tonnes de civelles dans des zones plus ou moins dépeuplées en anguille. Elle s'appuie sur les suivis des populations d'anguilles réalisées suivant le protocole défini par l'OFB-MNHN, 6 mois, 12 mois et 36 mois après la translocation. Ces données ont été analysées pour estimer la proportion des anguilles provenant du repeuplement (notamment grâce à la recherche de marques d'alizarine dans l'otolithe) et la croissance des anguilles. Depuis 2011, 14 tonnes de civelles ont été marquées à l'alizarine dans le cadre des projets de repeuplement Français.

A partir de ces données, des modèles empiriques ont été développés, pour analyser les liens entre paramètres environnementaux (distance à la mer, caractéristiques des habitats, densité de la population d'anguilles en place) et la proportion d'anguilles jaunes issues du marquage, ainsi que leur croissance.

Par ailleurs, nous avons le projet de développer des modèles empiriques de production en anguilles argentées, faisant l'hypothèse que les civelles issues du repeuplement avaient une croissance et une survie améliorées par rapport à si elles avaient dû coloniser le bassin versant naturellement, par leur propre moyen. Ces modèles ne sont pas présentés dans le présent rapport.

2 Revue bibliographique

2.1 Évaluer l'efficacité des programmes de repeuplement

Des repeuplements en anguilles ont eu lieu depuis le XIX^{ème} siècle dans plusieurs pays d'Europe. La bibliographie est riche sur ces opérations, mais ces programmes et l'évaluation de leur efficacité n'est pas toujours abordée du point de vue de la conservation de l'espèce. En effet, de nombreux programmes de repeuplement ont historiquement eu lieu dans le but de soutenir une activité halieutique et leurs résultats sont attendus en termes de rendement économique pour la filière. L'efficacité des programmes de repeuplement plus récents dont l'objectif est de participer à la reconstitution des stocks semblent présenter des résultats contrastés, avec des réussites localement mais des questions qui demeurent dans d'autres contextes sur la survie, la croissance et la participation réelle des anguilles repeuplées pour le renouvellement du stock de géniteurs.

G. Cowx (1999) avait mis en avant que de nombreux programmes de repeuplement d'espèces piscicoles sont réalisés sans réelle définition d'objectifs ou d'évaluation de l'efficacité. Il préconisait également une approche stratégique des repeuplements pour maximiser les gains écologiques, en portant une attention notamment à l'origine des poissons, les densités repeuplées, l'âge et la taille des individus et les méthodes de repeuplements. A ce sujet, un guide Britannique pour le développement des bonnes pratiques dans le cadre des repeuplements en anguille a par exemple été publié par **Marine and Fisheries Agency (CEFAS ; 2009)** afin d'appuyer la prise de décisions en matière de repeuplement pour améliorer leur efficacité. Ce guide dressait déjà un état des lieux des revues scientifiques disponibles sur l'efficacité des repeuplements en civelles et constatait que la plupart des informations dans la littérature provenaient de milieux plutôt lacustres et de modèles d'entrées-sorties empiriques, c'est-à-dire où les stratégies et les taux de repeuplement sont comparés aux retours de prises grâce à la présence de pêcheries.

2.2 Survie et croissance des anguilles repeuplées

Plusieurs études s'accordent pour conclure que dans leurs nouveaux environnements d'eau douce, les jeunes anguilles repeuplées peuvent survivre, grandir, se développer et devenir des anguilles argentées qui affichent un comportement de migration vers la mer, similaire à celui des anguilles sauvages (**Shiao et al., 2006 ; Ovidio et al., 2015 ; Kullmann et Thiel, 2018 ; Matondo et al., 2019**). Des évaluations post-repeuplement d'anguillettes ont cependant permis d'observer des disparitions importantes d'anguilles repeuplées jusqu'à 4 ans après l'opération (**Pedersen, 2009**). Les hypothèses avancées pour expliquer les faibles taux de recaptures sont la mortalité naturelle, la dispersion des poissons et des conditions de température et d'habitat peu favorables pour les anguilles repeuplées dans les deux bassins étudiés. L'effet comparatif de la survie et de la croissance sur des anguilles a aussi été étudié dès 1991 dans la rivière Giber au Danemark (**Bisgaard & Petersen, 1991**) par Capture-Marquage-

Recapture. Les résultats montraient un taux de survie plus important des anguilles naturellement présentes dans le cours d'eau comparativement aux anguilles issues de ferme de grossissement. Le taux de croissance restait en revanche comparable entre les deux populations et conforme aux ordres de grandeur attendus. Les anguilles repeuplées provenaient de ferme de grossissement et n'ont pas été déversées au stade civelle. Des études comparatives (**Simon, 2014**) suggèrent que le repeuplement dans des lacs isolés de jeunes anguilles issues de fermes de grossissement ne présente aucun avantage en termes de croissance et de survie par rapport au repeuplement de civelles.

En Belgique, un bilan complet de l'anguille européenne après 8 ans de repeuplement dans une rivière de montagne (**Nzau Matondo, Delrez, Bardonnnet & al., 2022**) a permis de constater que les anguilles repeuplées présentaient de bonnes performances de croissance ; de plus, les stocks étaient dominés par les femelles, présentaient un bon facteur de condition de Fulton (K) et de bonnes réserves de lipides, et avaient une probabilité de survie en mer élevée. Cette étude souligne le rôle potentiel joué par les écosystèmes aquatiques des hautes terres dans l'amélioration de la production fluviale d'anguilles argentées et précise que pour réussir, le repeuplement doit s'accompagner d'une amélioration de la qualité des écosystèmes et des voies de migration des anguilles dans les eaux douces intérieures.

Dans le cadre du plan de Gestion Français de l'Anguille, une analyse menée sur les 3 premières années de repeuplement Français (2011/2013) par un groupement d'experts (**Rigaud, et al., 2015 ; Josset, 2015**) constatait une variabilité dans la survie apparente des civelles, la proportion d'anguilles déjà présentes sur le site de déversement, la densité initiale et la qualité des civelles déversées expliquant partiellement ces différences. Cette expertise soulignait en premier lieu la nécessité d'une bonne maîtrise des actions entre capture et déversement (qualité des individus et bon taux de survie) et d'une réflexion importante quant au choix des sites de déversement. La survie des individus déversés et donc l'efficacité des transferts semblant liées à la qualité des civelles déversées, le comité recommandait l'optimisation de la pêche (période de prélèvements et méthodes de pêche) et du stockage des civelles (durée et condition de stockage) en vue notamment de diminuer l'occurrence des lésions. La maîtrise des protocoles standardisés entre la capture et le déversement ainsi que les méthodes de pêche ont évolué positivement de façon notable depuis les premiers projets réalisés en 2011 (**Simon, Charrier, Dekker et Belhamiti, 2022**) mais aucun nouveau bilan n'a été réalisé depuis sur le repeuplement Français. Par ailleurs, le projet ACOR (Apport de Connaissance aux Opérations de Repeuplement en anguille) a, entre autres, étudié l'impact du repeuplement sur la survie et la croissance des civelles jusqu'au stade anguillette, soit pendant environ trois mois, dans l'Oir, affluent de la Sélune (**Delage et al., 2019**). L'analyse des différentes expérimentations comparatives menées par Capture-Marquage-Recapture de civelles issues de recrutement naturel et de pêche commerciale suggère que la survie des civelles de repeuplement est réduite par rapport aux civelles ayant été recrutées de manière naturelle. Cependant, la méthode de déversement des civelles analysées différait selon leur origine. Les civelles des différentes origines ne

montrent en revanche aucune différence en termes de dispersion. Enfin la croissance a été trop faible pour mettre en évidence de quelconques différences.

2.3 Soutien au stock

En 2016, **Dekker & Beaulaton** s'intéressent à l'historique des repeuplements en Europe, pratiqué depuis le XIX^{ème} siècle. L'évolution historique est analysée et les réalisations sont comparées aux objectifs. L'analyse indique que le repeuplement a probablement ajouté une quantité relativement faible à la production naturelle, même si le repeuplement a été un succès dans certaines régions, il n'a en effet pas modifié de façon marquée les tendances générales ni interrompu le déclin des stocks et des pêches. Des repeuplements ont débuté dès 1959 en Irlande, notamment pour compenser l'impact des barrages hydroélectriques et pour soutenir la pêche. Une analyse des années 1980 de l'évolution des stocks et des captures (**Moriarty, 1982**) aboutit à la conclusion que le transport des civelles permet de multiplier par 10 les rendements. Notamment dans le Shannon, le transport des civelles à un rythme connu pour donner d'excellents résultats a été mené pendant 16 ans et les prises ont doublé au cours de cette période, mais semblent être bien en deçà de leur valeur potentielle. En Autriche, des repeuplements d'anguilles ont aussi eu lieu pendant 34 ans entre 1954 et 1987 dans des lacs Alpains où l'anguille n'a jamais été présente, afin de favoriser une activité de pêche. L'analyse de ces opérations (**Essl, Gassner et al., 2014**) indique que 25 ans plus tard, 56% (N=22) des lacs montraient encore la présence d'anguilles, dont la taille moyenne atteignait 66 cm. Un pic de recapture a eu lieu dans les années 80 mais globalement les captures sont restées trop faibles pour le développement d'une activité de pêche rentable.

Une analyse bibliographique (**Dekker, 2004**) indique que le repeuplement en civelles dans des plans d'eau en particulier, a un effet positif sur la qualité de l'eau et sur le rendement quelques années plus tard. Cela a été démontré par des études expérimentales (**Klein Breteler et al. 1990**) et dans des études d'évaluation de programmes de repeuplement à grande échelle en Pologne (**Moriarty et al. 1990**). On ne sait pas en revanche si les repeuplements contribuent réellement au stock de géniteurs. Toujours en plan d'eau, l'analyse des résultats de 2 opérations de repeuplement effectuées en 1980 sur 2 lacs Suédois presque exempts d'anguilles (**Wickström et al. 1996**) a permis la recapture de 5 900 anguilles principalement sous forme d'anguilles argentées en migration jusqu'en 1994, soit environ 2 600 kg. Les résultats sont contrastés entre les deux lacs, avec des taux de recapture de 1,7% et 11%. Plusieurs paramètres sont discutés pour expliquer ces différences de rendement (productivité du lac, taux de croissance, rapports sexuels...).

Le succès et les limites des repeuplements en anguille est aussi récemment proposée dans le cadre d'un article sur la situation préoccupante des poissons migrateurs (**Podda et al., 2021**). L'analyse bibliographique affirme que le repeuplement permet de soutenir efficacement la production locale d'anguilles (**Wickström et al., 1996 ; Pedersen, 2000 ; Psuty et Draganik, 2008**). En outre, parmi les

mesures de conservation conçues pour les eaux intérieures éloignées de la mer, le repeuplement est la seule solution qui améliore les stocks locaux (**Simon et al., 2014 ; Ovidio et al., 2015 ; Matondo et al., 2019**).

En termes de production d'anguilles argentées issues de repeuplement de civelles, une étude menée sur l'Elbe, grand fleuve de plaine Allemand, a utilisé diverses approches méthodiques (**Brämick et al., 2016**) pour étudier la dévalaison annuelle d'anguilles argentées majoritairement issues des repeuplements (très faible recrutement naturel). Les modèles et les études de Capture-Marquage-Recapture ont permis d'estimer des échappements importants d'anguilles argentées et concluent que les cibles d'échappement en anguille argentées établies dans le Plan de Gestion Anguille n'auraient pu être atteintes sans les opérations de repeuplement effectués dans le bassin.

Néanmoins, il reste encore à démontrer si le repeuplement est une mesure efficace pour restaurer les stocks d'anguilles et pour produire de nouveaux individus matures qui pourraient contribuer aux stocks de reproducteurs successifs (**Prigge et al., 2013 ; Westerberg et al., 2014**). Une étude d'anguilles argentées repeuplées au stade civelles dans un ruisseau et un lac conduisant à la mer Baltique (**Westin, 2003**) a par exemple suggéré que les anguilles repeuplées n'ont pas eu l'occasion d'imprimer les repères directionnels nécessaires à la migration ; c'est-à-dire qu'elles n'ont pas été capables de reconnaître le cours d'eau de sortie comme point de départ de la migration et n'ont pas eu le mécanisme d'orientation nécessaire pour localiser la sortie vers la mer Baltique. Il est conclu que les anguilles repeuplées ne contribuent pas à la reproduction et donc au recrutement ultérieur de civelles. Cependant, la translocation des civelles (plusieurs centaines voir milliers de kilomètres) depuis leurs estuaires d'origine a aussi pu impacter ces mécanismes d'imprégnation.

Une étude de mesure de l'efficacité des repeuplements et de sa viabilité a aussi été menée dans le Sud de la France (**Desprez et al. 2013**). Les paramètres démographiques d'une population d'anguilles françaises repeuplées ont été étudiés à l'aide d'un modèle de Marquage-Capture-Recapture multi-états. Il a été constaté que le stade auquel les anguilles étaient repeuplées n'influe pas sur leur survie future et que le nombre maximal d'anguilles argentées était rapidement atteint, après trois ans de repeuplements successifs. Cette étude conclut que les expériences de repeuplement dans la région méditerranéenne sont efficaces pour la production rapide de géniteurs.

2.4 Apport de connaissance dans le cadre de l'étude

La synthèse bibliographique (non exhaustive) de l'évaluation des programmes de repeuplement en anguille montre des résultats contrastés et parfois incomplets. Ces programmes sont souvent menés à partir de civelles provenant d'estuaires situés à plusieurs centaines voir plusieurs milliers de km, après des procédures lourdes de pêches/stabulation/transport à travers l'Europe et aussi souvent à partir d'anguillettes issues de fermes de grossissement.

L'objectif de la présente étude est de se concentrer sur les repeuplements Français mis en place depuis 2011. Ces repeuplements sont effectués à partir de civelles pêchées dans la même Unité de Gestion Anguilles (cohérence hydrologique), en respectant des protocoles standardisés depuis la pêche jusqu'au déversement permettant de réduire au maximum les mortalités et le stress résultant des différentes manipulations. De plus, le choix du site, la période et les densités déversées sont étudiés et validés pour chaque opération en se référant au protocole MNHN-OFB, afin de maximiser les gains écologiques attendus. Enfin les suivis à 6 mois, 1 an et 3 ans sont conduits en respectant un protocole standardisé permettant d'analyser les résultats sur une période de 10 années de repeuplement entre 2011 et 2021.

Ces éléments de contexte propres aux programmes de repeuplement Français n'ont pas fait l'objet d'analyse globale ces dernières années, ainsi la présente étude a pour objectif de combler certaines lacunes dans les données et les analyses disponibles pour l'évaluation de l'efficacité de ces programmes de repeuplement en anguille.

3 Suivi du repeuplement

3.1 Principes méthodologiques, un peu de théorie

Le plan de gestion de l'anguille française a été mis en œuvre en 2011. Il impose que 60% des captures de civelles soient réservées au repeuplement en Europe. Depuis lors, 5 à 10 % du quota de pêche réservée au repeuplement est destinée au programme de repeuplement français.

Ce volet du plan de gestion vise à reconstituer des stocks d'anguilles dans des zones amont des cours d'eau favorables pour l'espèce, d'où les densités anciennement importantes ont décliné faute de connectivité et/ou de recrutement suffisant. Les habitats éligibles au repeuplement sont définis par les COGEPOMI suivant des critères établis par un rapport méthodologique produit conjointement par le MNHN et l'OFB. Les transferts se font obligatoirement à partir de civelles pêchées au sein d'une UGA (unité de gestion des anguilles). En déplaçant les civelles de l'estuaire vers l'amont d'un cours d'eau, on minimise l'énergie liée au déplacement et les risques de prédation et de mortalité au niveau des obstacles physiques (barrages et autres ouvrages) et chimiques (bouchons vaseux estuariens, zones urbaines polluées, ...). Les civelles accèdent ainsi directement à des habitats de bonne qualité, où la plus faible densité en anguilles limite la compétition intraspécifique et les processus densité-dépendants qui en découlent. Ainsi, la croissance et la survie sont supérieurs dans les zones de faible densité de l'amont que dans les habitats de forte densité de l'aval. Cependant, il est à noter qu'au fil des années, les sites sélectionnés pour les projets n'ont pas toujours été localisés selon ces préconisations de translocation vers l'amont des bassins versants.

La Figure 1 résume les principes énoncés ci-dessus. Les civelles arrivant du plateau continental à l'issue de leur migration océanique auront deux avenir possibles : soit elles poursuivent naturellement leur route vers l'amont de l'estuaire puis dans les cours d'eau ; soit elles sont pêchées puis transférées vers l'amont lors d'une opération de repeuplement. L'opération de repeuplement est réputée efficace si la biomasse féconde, celle des anguilles argentées, issues du repeuplement est supérieure par rapport à un recrutement naturel.

Suivi du repeuplement

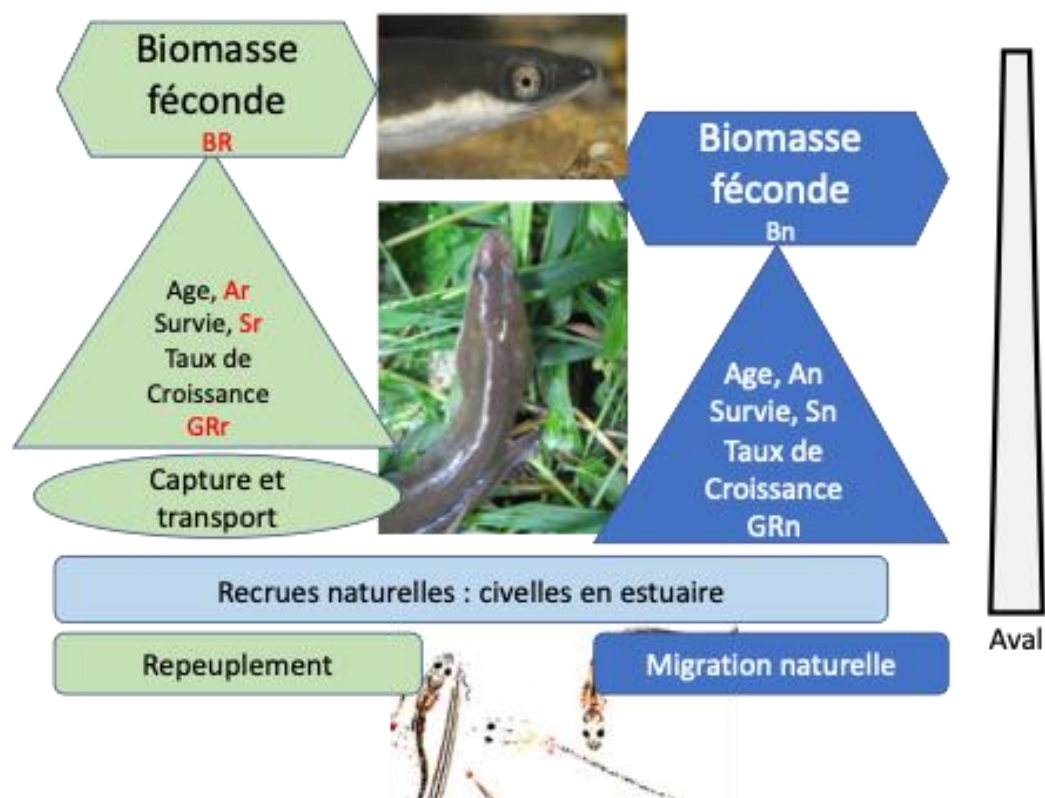


Figure 1 : Schéma théorique présentant l'histoire de vie des civelles repeuplées (en vert à gauche) par rapport à celles ayant colonisé le bassin versant par leurs propres moyens (en bleu à droite). L'hypothèse est que le repeuplement est efficace s'il permet d'augmenter la production de géniteurs par rapport à une progression libre vers l'amont à partir de l'estuaire ($BR > Bn$). Ce gain de production s'expliquant par une survie et un taux de croissance supérieurs pour les anguilles repeuplées ($Sr > Sn$; $Grr > Grn$) et un âge à l'argenture inférieur pour les anguilles issues du repeuplement ($Ar < An$).

Chaque année l'appel à projet, émanant du Ministère de la Transition Ecologique, permet aux pétitionnaires de proposer une ou plusieurs opérations de repeuplement. Le budget alloué au repeuplement s'établit à 2 millions d'euros par an. Chaque projet doit réserver une partie de son budget à une analyse sanitaire (absence de virus evex en particulier) et à des opérations de suivi de la population 6 mois, 12 mois et 36 mois après l'opération de repeuplement. Tout ou partie (au minimum 30 %) des civelles déversées sont marquées à l'alizarine S (**Carguel JM., Charrier F., Mazel V. et Feunteun E. 2014**). Lors des opérations de suivi, les marques d'alizarine sont recherchées dans les otolithes d'un échantillon d'anguilles prélevées (maximum 50) et sacrifiées à cet effet. L'information obtenue permet d'estimer le taux de croissance.

4 Présentation sommaire des projets

4.1 Cartographie et principales caractéristiques environnementales des projets.

Au total, 70 opérations de repeuplement ont été réalisées entre 2011 et 2021. Elles sont réparties dans tout l'ouest de la France et dans toutes les UGA (Figure 2). En fonction des UGA, entre 3 (Seine Normandie) et 26 opérations (Loire Côtiers Vendéens, Sèvre) ont été réalisées (Figure 3). Les opérations sont réalisées à des distances comprises entre 7 et 263 km de la mer. Les distances les plus importantes sont réalisées sur la Loire (263 km) et la Vilaine (UGA Bretagne) à 131 km de la mer. Le nombre d'obstacles à l'aval est compris entre 1 et 75 ; leur hauteur cumulée est comprise entre 0 et 87 m.

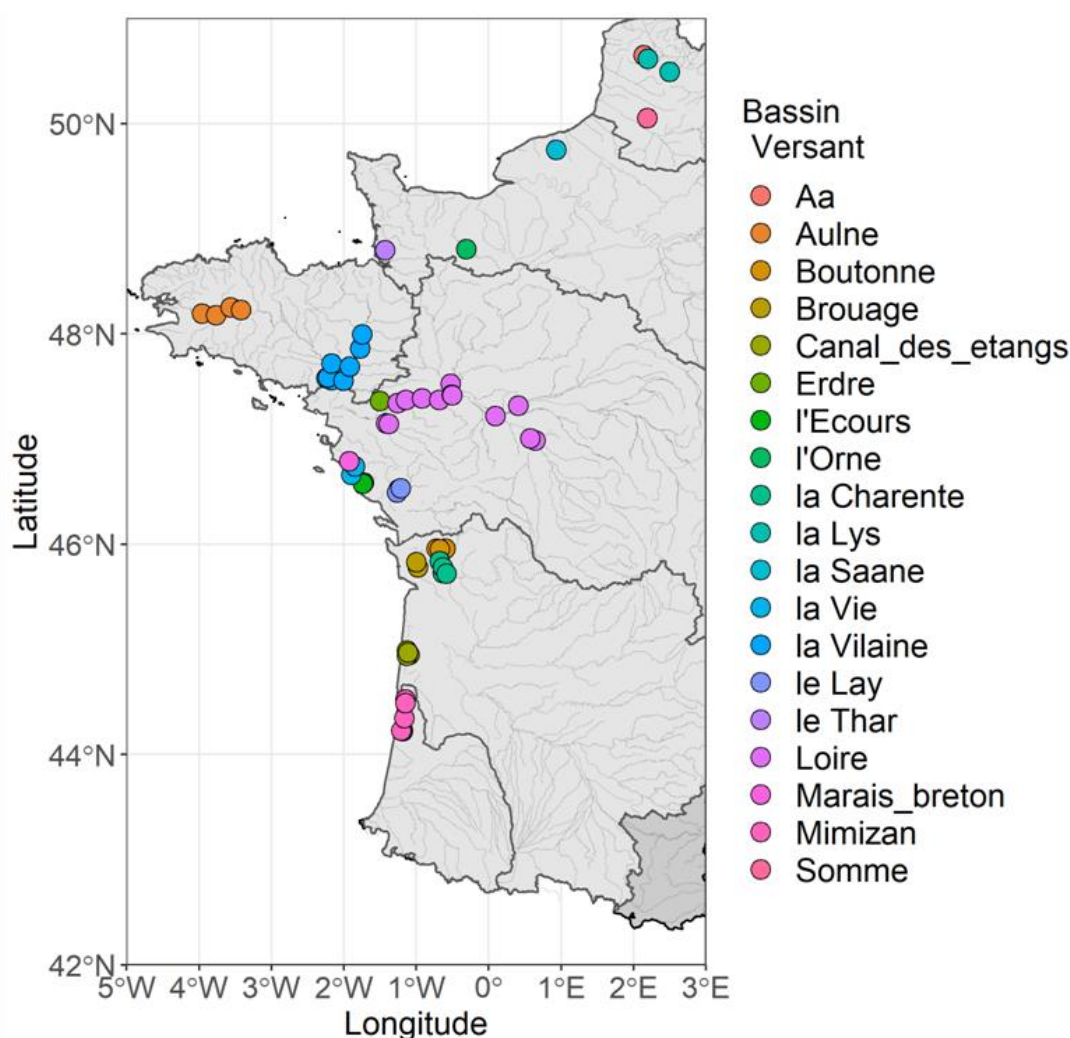


Figure 2 : Localisation des 70 opérations des translocations de civelles réalisées entre 2011 et 2021 dans le cadre du volet repeuplement du programme national de gestion des anguilles coordonné par le MTES. Les couleurs des points représentent les cours d'eau concernés. Les cours d'eau sont représentés par des traits gris fins. La limite des Unités de Gestion Anguilles (UGA) sont représentées par un trait noir épais

Présentation sommaire des projets

| UGA | Nb Projets | Distance de l'embouchure (km) | | Hauteur cumulée d'obstacles (m) | | Nb d'obstacles depuis l'aval | |
|----------------------|------------|-------------------------------|-------------|---------------------------------|----------|------------------------------|----------|
| | | max | min | Max | Min | Max | Min |
| Adour | 12 | 48,75 | 10,54 | 12,94 | 6,7 | 9 | 4 |
| Art_Pic | 2 | 63,36 | 53,95 | 86,64 | 11,67 | 75 | 13 |
| Bret | 12 | 131,54 | 19,59 | 65,89 | 2,1 | 34 | 1 |
| Ga_Do_Cha | 16 | 84,64 | 18,24 | 1,25 | 0 | 16 | 4 |
| L_Vend_Sev | 25 | 263,42 | 6,82 | 8 | 0 | 18 | 1 |
| Sei_Norm | 3 | 91,12 | 17,1 | 30,6 | 6,61 | 37 | 7 |
| Total général | 70 | 263,42 | 6,82 | 86,64 | 0 | 75 | 1 |

Figure 3 : Caractéristiques des opérations de repeuplement, pour chacune des UGA

4.2 Quantités déversées

L'ensemble des opérations a permis le déversement d'environ 28 tonnes de civelles depuis 2011 (Figure 4). Le poids moyen des civelles d'anguilles européennes s'établit à environ 0,3 g, ce qui représente environ 88 millions d'individus. Les quantités de civelles déversées sont comprises entre moins de 500 kg en 2011 et près de 6 tonnes en 2014.

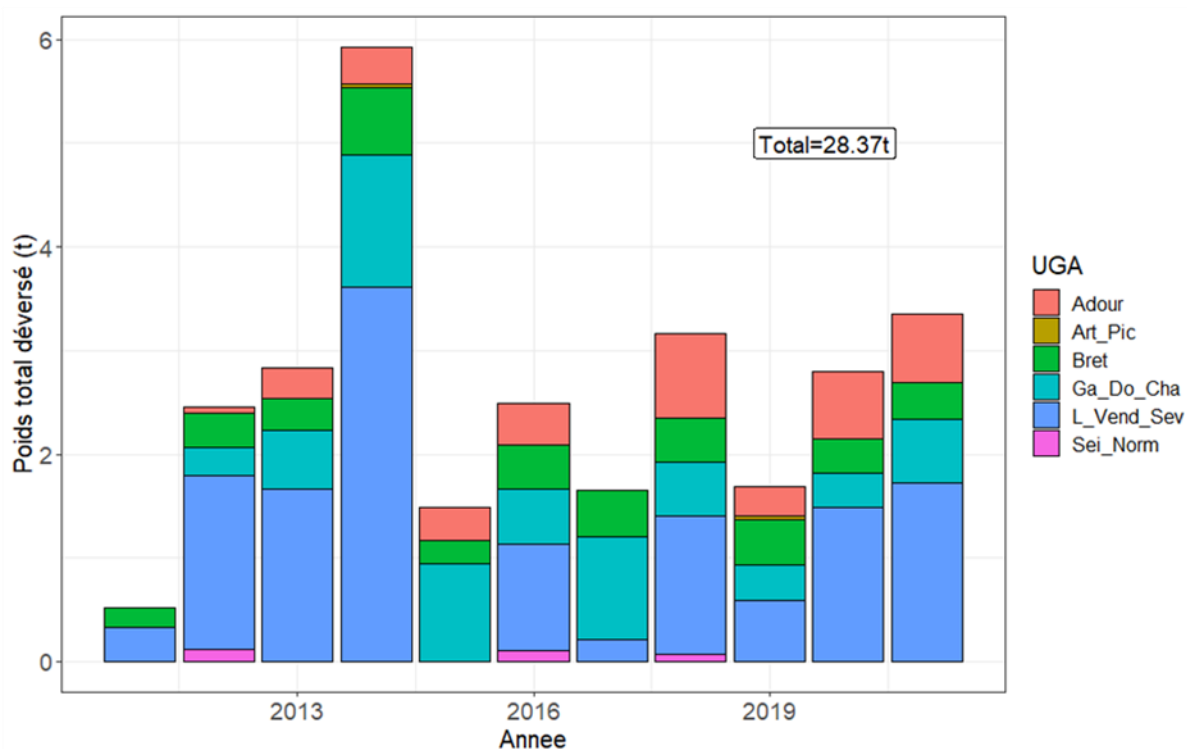


Figure 4 : Quantités de civelles déversées lors des projets de repeuplement au cours de la période 2011-2021 au sein des différentes UGA

5 Matériel et méthodes

5.1 Les paramètres analysés

Les pêches scientifiques ont été réalisées suivant les protocoles proposés par l'appel à projet, soit en pêche électrique soit à l'aide de verveux. Ces pêches visent à établir les paramètres suivants :

- **Le Marquage des civelles à l'AlizarineS.** Avant le déversement, 30% à 100% des civelles étaient marquées à l'AlizarineS, suivant un protocole mis au point spécifiquement pour les civelles (Caraguel et al. 2014). Ce marquage par baignade des civelles permet de marquer les pièces sclérifiées (squelette et otolithes) des poissons. Une marque fluorescente est conservée dans l'otolithe tout au long de la vie du poisson. Cette marque est recherchée dans le centre de l'otolithe, des anguilles d'une gamme de taille donnée susceptible d'avoir été marquée, 6 mois, 12 mois et 36 mois après le marquage.
- **Le taux de recapture** est estimé, lors de pêches scientifiques, à partir de l'estimation du pourcentage d'individus d'une taille ciblée marqués à l'AlizarineS. Cette estimation est fournie par la recherche de marques fluorescentes dans les otolithes. Le taux de recapture est corrigé à partir du pourcentage d'individus marqués initialement pour chaque opération de repeuplement. Le taux de recapture renseigne sur le devenir des civelles déversées et leur contribution relative (en pourcentage) à la population d'anguilles en place. Un fort recrutement et/ou une forte mortalité des civelles conduisent à un faible taux de recapture.
 - Un taux de recapture de 1 correspond à une population dont toutes les anguilles sont issues du repeuplement et, inversement, un taux de recapture de 0 signifie qu'aucune anguille capturée n'est issue du repeuplement, soit parce que les civelles déversées sont mortes, soit parce qu'elles sont sorties de la zone d'étude.
 - Le suivi à 6 mois fournit une approximation de la situation initiale, ceux à 12 et 36 mois mesurent de l'évolution temporelle du taux de recapture.
 - Une baisse du pourcentage d'individus marqués au sein d'une cohorte indique soit un départ de la zone, soit une mortalité. Il peut également indiquer un fort recrutement naturel. Si une baisse du taux d'individus marqués est associée à une baisse de l'abondance, alors on peut suspecter une mauvaise capacité d'accueil du milieu.
 - A l'inverse, si elle est associée à une augmentation de l'abondance, alors on peut l'interpréter par une arrivée de recrues naturelles.

- Une augmentation du taux de recapture peut paraître suspecte car elle indiquerait que les anguilles marquées survivent mieux ou sont plus sédentaires que les anguilles provenant du recrutement naturel ou que celles qui n'ont pas été marquées.
- **La croissance** des anguilles. Elle est estimée par la mesure de la longueur des poissons, et de l'estimation de l'âge des poissons par le suivi d'une cohorte (analyse de la structure en taille de la population capturée) et/ou par l'examen des otolithes d'un sous-échantillon de poissons. Le suivi des croissances des anguilles marquées fournit une validation des valeurs estimées par le suivi de l'ensemble d'une cohorte. Près de 8000 otolithes ont été collectés et analysés. Une fois poncés jusqu'au centre, ils permettent d'évaluer l'âge de chaque anguille par le comptage des stries annuelles d'arrêt de croissance. Le taux de croissance est évalué pour chaque anguille comme le ratio entre la taille et l'âge estimé. Le taux de croissance fournit un indicateur de la qualité du milieu.
- **L'abondance** de la population est évaluée seulement en pêche électrique par échantillonnage ponctuel d'abondance (EPA) qui fournit une capture par unité d'effort (nombre d'anguilles par EPA) et une approximation de la densité. L'estimation des densités (N ind./100m²) a été réalisée en utilisant la formule proposée par (Belliard et al., 2012) :

$$N = 100 * (n / (Nepa / 12.5))$$

avec n : nombre d'individus pêchés, $Nepa$: nombre d'EPA effectués

5.2 Les variables environnementales

Pour évaluer la présence de patrons de viabilité spatiaux-temporels au sein de chaque composante, un jeu de variables dites "explicatives" a été compilé pour chaque site de repeuplement (associé à chaque projet). Ce jeu de données regroupe à la fois des données temporelles (date du déversement, date de la pêche), environnementales (*River attributes*) et topologiques (*River topology*) produites par le groupe de travail SUDOANG (Mateo et al., 2021). La technique de pêche (Electrique, Flottang ou Verveux) et l'effet du marquage des individus ont également été inclus dans certains modèles comme effets aléatoires pour considérer leurs potentiels impacts sur la variable réponse analysée.

5.3 Modèles linéaires

Les analyses des densités ont été réalisées en utilisant des modèles de régression, permettant d'identifier les relations entre les variables réponses et les variables explicatives (prédicteurs). Dans certains cas, l'usage de modèles additifs généralisés mixtes (GAMM), utilisant des fonctions de lissage ont été utilisés lorsque la relation entre les prédicteurs et la réponse était supposée non linéaires.

La sélection des prédicteurs représente une étape critique pour les performances des modèles et leur interprétabilité. Pour limiter les effets de la colinéarité des variables qui a pour conséquence de biaiser l'estimation des paramètres, une mesure de corrélation de Pearson a été réalisée. N'ont été conservées que les variables présentant une corrélation < 0.7 .

La sélection des variables à inclure au sein des modèles a été réalisée en comparant les valeurs de l'Akaike Criterion (AIC) obtenues à partir de différents modèles candidats. Pour chaque composante, les variables à retenir, étaient incluses au sein du modèle présentant la valeur d'AIC la plus faible.

Pour chaque modèle, la conformité des résidus à la loi de distribution utilisée (normale), a été visuellement évaluée en utilisant la méthode des diagrammes quantile-quantile. La représentation de la déviance des résidus a également permis d'attester une absence de patrons de variation au sein des résidus au sein de chaque modèle.

5.4 Comparaison des projets

A l'issue des travaux de modélisation, une évaluation critique des différents projets de repeuplement a été conduite. Cette évaluation a reposé sur la caractérisation de la variabilité spatiale des composantes analysées. Pour ce faire, des prédictions ont été produites à partir des modèles sélectionnés, en retirant les effets associés aux variations temporelles (annuelles et interannuelles). Pour chaque composante, l'écart standardisé (anomalies standardisées) à la moyenne correspondant à l'écart entre les valeurs prédites et la valeur moyenne de l'ensemble des sites a été calculé :

$$Ec_i = (m_i - M) / sd$$

Avec m_i la valeur prédite du projet i , M la valeur moyenne de l'ensemble des projets et sd l'écart à la moyenne.

Une cartographie de cette valeur d'anomalie précise ainsi les sites ayant permis d'optimiser les différentes composantes analysées.

6 Résultats

6.1 Densités

Au terme du processus de sélection des variables utilisant l'AIC, 4 modalités de modèles ont présenté un score équivalent (Tableau 1). La nature du bassin versant (*Bassin*), la hauteur cumulée d'obstacles (*height_D*), la largeur du segment de cours d'eau (*R_larg*), la semaine de l'année (*S*) et le nombre de civelles déversées (*n_civ*) figurent parmi les variables communes au 4 modèles. Toutefois, les résultats du modèle précisent que seule la nature du bassin versant et, dans une moindre mesure, le nombre cumulé d'obstacles présentent un impact significatif sur les densités en anguilles estimées (Tableau 2). Ces résultats surprenants indiquent que les densités estimées sont, en premier lieu, et quasiment uniquement conditionnées par le site de repeuplement. Le modèle ainsi produit permet d'expliquer 67.1% de la variance totale. Globalement les densités estimées par pêches électriques oscillent en moyenne entre 7.7(pour le bassin de la Vie) et 55.9 ind. pour 100m² retrouvées dans le bassin de l'Erdre et jusqu'à 162.3 ind. pour 100m² dans le cas du projet Loire 2011 (Figure 5).

Dès lors, les données de densités ne décrivent pas de tendance le long de gradients environnementaux attendus tels que la distance à la mer, ni ne présentent de relation avec le repeuplement de civelles (nombre de civelles ou temps depuis le repeuplement). Cette absence de relation ne concorde pas avec la littérature et peut-être expliqué par les caractéristiques associées à chaque site (profondeur, morphologie du cours d'eau, turbidité ...) ou reposer sur un biais du protocole d'échantillonnage . De plus, de nombreux projets ayant fait l'objet des opérations de repeuplement ont été sélectionnées sur des critères de faibles densités initiales de population.

Résultats

Tableau 1: Top 5 des modèles des densités estimées d'anguilles. Le meilleur modèle présente la valeur d'AIC la plus faible (delta=0). "+" indique que le prédicteur est inclus dans le modèle, avec "Suivi" le temps depuis le déversement de civelles, "n_civ" le nombre de civelles déversées, "Année": l'année de la pêche de suivi, "Bassin": la nature du bassin versant, "Height_D": la hauteur cumulée des obstacles, "Dist": distance à la mer, "Marq": marquage de l'individu, "R_larg": largeur du cours d'eau, et "S": semaine de la pêche.

| Intercept | Suivi | n_civ | Annee | Bassin | Height_D | Dist | R_larg | UGA | S | df | logLik | AIC | delta | W |
|-----------|-------|-------|-------|--------|----------|------|--------|-----|---|----|--------|--------|-------|------|
| 5,40 | - | + | + | + | + | - | + | + | + | 30 | -64,84 | 187,25 | 0,00 | 0.05 |
| 5,40 | - | + | - | + | + | - | + | + | + | 30 | -64,84 | 187,25 | 0,00 | 0.05 |
| 5,40 | - | + | + | + | + | - | + | - | + | 30 | -64,84 | 187,25 | 0,00 | 0.05 |
| 5,40 | - | + | - | + | + | - | + | - | + | 30 | -64,84 | 187,44 | 0,00 | 0.05 |
| 5,36 | - | + | + | + | + | - | - | + | + | 30 | -67,11 | 187,44 | 0,20 | 0.05 |
| 5,36 | - | - | - | + | + | - | - | - | + | 30 | -67,11 | 187,44 | 0,20 | 0,05 |

Tableau 2 : Résumé du meilleur modèle associé aux densités d'anguilles

| Coefficient paramétrique | Terme | Estimates | SE | t-value | pval |
|--------------------------|-----------|-----------|--------|---------|--------|
| | intercept | 5.45 | 0.17 | 33 | |
| termes lissés | Terme | edf | Ref.df | F-value | pval |
| | nb_civ | 1 | 1 | 0.57 | 0.45 |
| | Dist | 1.88 | 2.20 | 1.11 | 0.36 |
| | Height_D | 1 | 1 | 5.72 | 0.02 * |
| | R_larg | 1 | 1 | 3.97 | 0.05 |
| | Bassin | 11.74 | 14 | 8.46 | *** |
| | Annee | 0 | 10 | 0 | 0.89 |
| | UGA | 0 | 5 | 0 | 0.85 |

*** pval<0.01, * pval<0.05

Rsquared=0.67 Deviance explained=0.73: n=132

Résultats

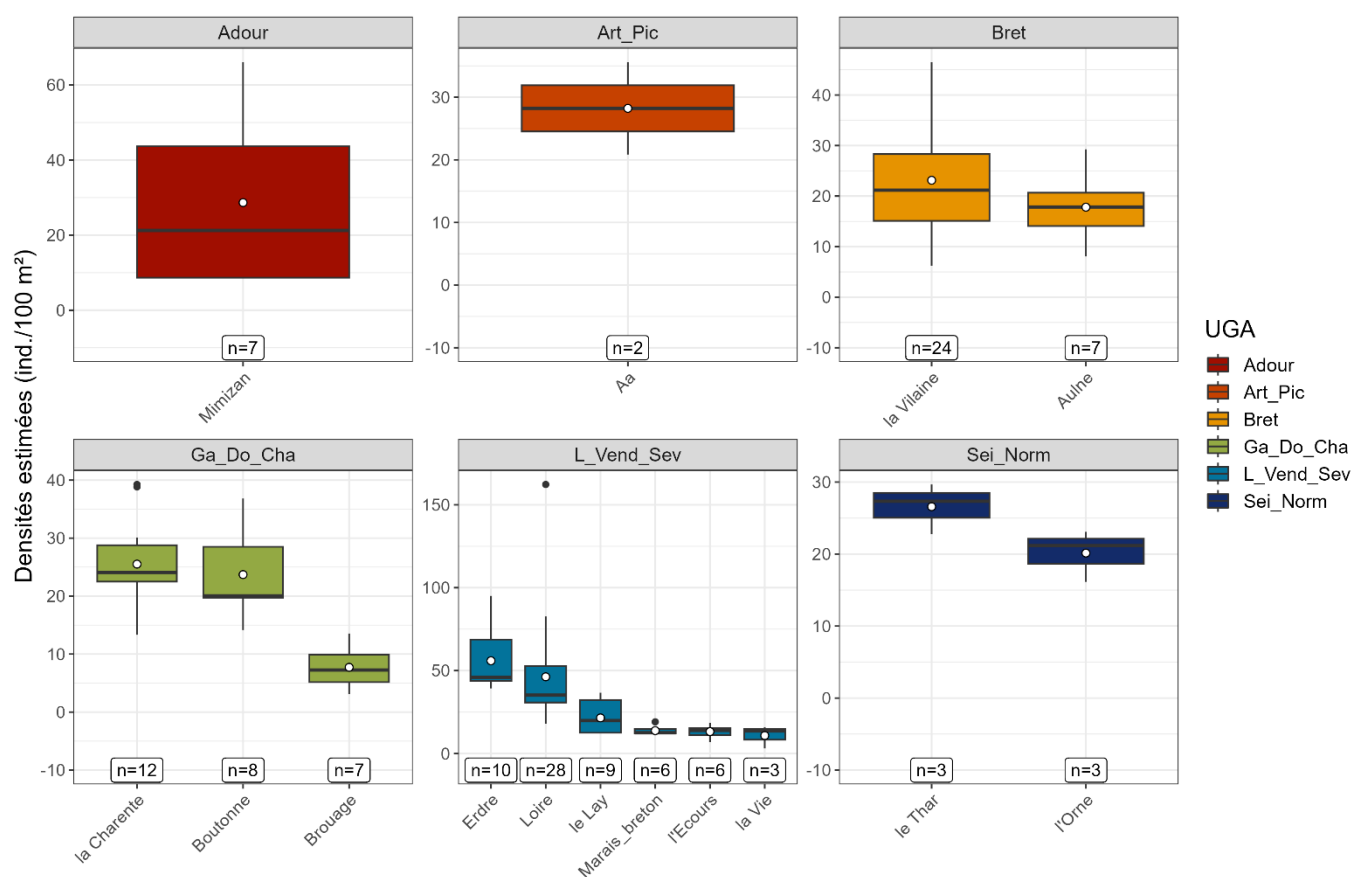


Figure 5 : Densités estimées (ind./100m²) au sein des différents bassins versants regroupés par UGA. Pour chaque bassin, le point blanc central précise la valeur moyenne estimée, et l'étiquette sous chaque boxplot indique le nombre de pêches utilisées pour cette estimation.

6.2 Analyse des spectres de taille

Le taux de croissance moyen a été évalué au cours des années de suivi fournissant les indications suivantes. Il s'établit à 2 – 5 cm par an jusqu'à 3 ans. Puis on observe l'apparition de deux classes de tailles à partir de la 4ème année (Figure 6). La première classe de taille correspond à des individus à croissance faible (2 cm par an) et la seconde correspond à des individus à fort taux de croissance (tête de cohorte), individus que l'on retrouve jusqu'à la 9ème année de suivi. Une forte dispersion des taux de croissance est observée et conforme à la bibliographie. Cette bimodalité observée chez les individus les plus âgés est à relier à l'important dimorphisme sexuel exprimé chez les adultes. Les anguilles de plus de 45 cm sont toutes des femelles, tandis que celles <45cm peuvent être des mâles ou des femelles n'ayant pas encore atteint l'argenture. Pour limiter l'influence de ce dimorphisme (non considéré dans l'échantillonnage), seuls les individus de moins de 9 ans ont été inclus au sein des modèles.

Résultats

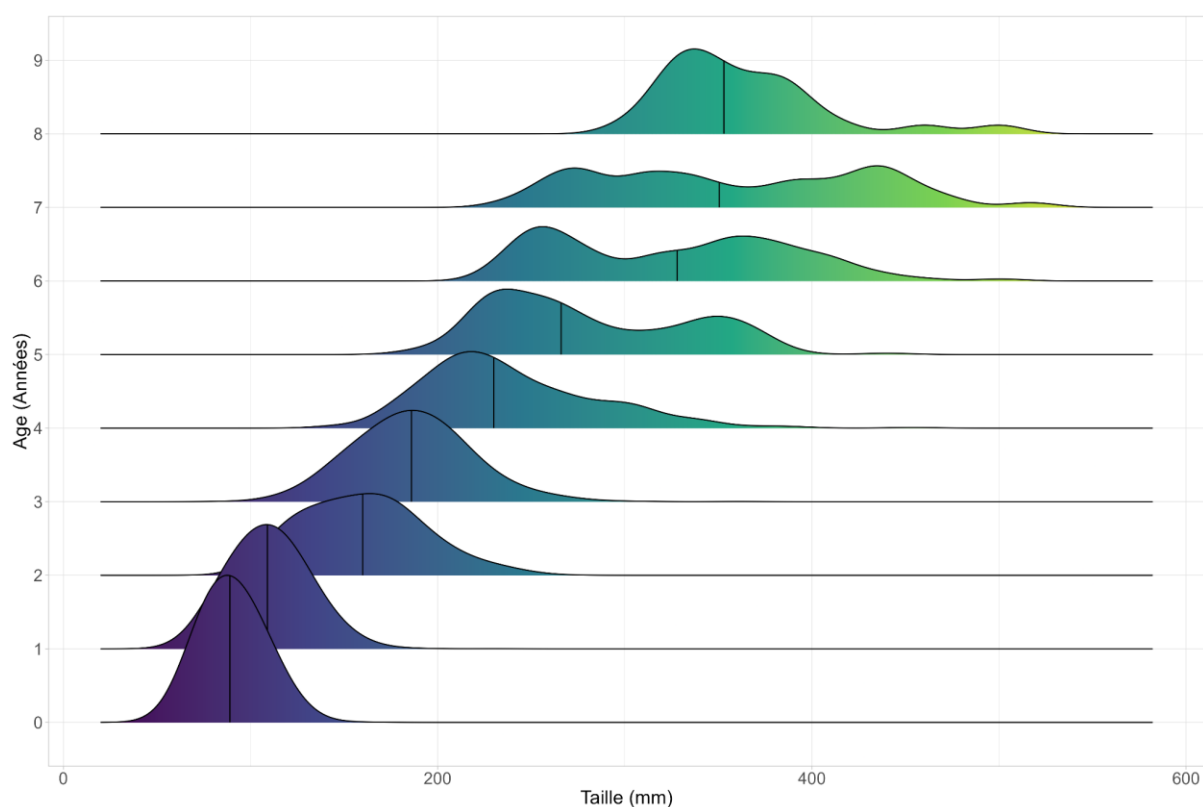


Figure 6 : Densités de probabilité des tailles pour chaque âge déterminé par otolithométrie.

L'influence des différentes variables sur le taux de croissance a été évaluée en mesurant leur effet à la fois au sein d'un modèle expliquant l'âge en fonction de la taille et au sein d'un second modèle prédisant la taille en fonction de l'âge (Tableau 3). Pour faciliter l'interprétation des résultats, seuls les diagrammes de réponse associés au modèle taille ~ âge ont été représentés. A l'issue de la phase de sélection des variables, le meilleur modèle a inclus l'année de la pêche (Année), la nature du bassin (Bassin), le nombre cumulé d'obstacle (CumD), la distance à la mer (Dist), la semaine de l'année (S)

Tableau 4). Ce modèle présente un bon pouvoir explicatif de notre relation taille-âge ($R^2=0.92$) et ses résidus montrent un bon ajustement à une loi normale, bien qu'un écart s'observe pour les résidus correspondant aux grandes taille (Figure 7). Ce problème d'ajustement peut être relié au dimorphisme sexuel, non considéré dans l'analyse et qui est particulièrement marqué pour les individus de plus de 7 ans.

Résultats

Tableau 3 : Top 5 des modèles testés pour l'étude de la relation taille-âge avec pour variable réponse la taille. Le meilleur modèle présente la valeur d'AIC la plus faible (delta=0). "+" indique que le prédicteur est inclus dans le modèle, avec "Année": l'année de la pêche de suivi, "Bassin": la nature du bassin versant, "CumD": hauteur cumulée des obstacles, "Dist": distance à la mer, "Marq": marquage de l'individu, "R_larg": largeur du cours d'eau, "Size": taille des individus, "P": type de pêche, et "S": semaine de la pêche.

| Intercept | Age | Annee | Bassin | CumD | Dist | R_larg | Marq | P | UGA | S | df | logLik | AIC | delta | weight |
|-----------|-----|-------|--------|------|------|--------|------|---|-----|---|----|--------|----------|-------|-----------|
| 69,90082 | + | + | + | + | + | + | - | + | - | + | 60 | -28038 | 56198,62 | 1,02 | 0,37 |
| 74,49298 | + | + | + | + | + | + | + | - | + | + | 58 | -28057 | 56232,42 | 34,83 | 1,70.10-8 |
| 75,49209 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | 60 | -28056 | 56233,92 | 36,33 | 8,08.10-9 |
| 71,26275 | + | + | + | + | + | + | - | - | - | + | 58 | -28060 | 56237,27 | 39,68 | 1,50.10-9 |
| 71,25739 | + | + | + | + | + | + | - | - | + | + | 58 | -28060 | 56237,3 | 39,71 | 1,49.10-9 |

Tableau 4 : Résumé du GAM portant sur le taux de croissance (taille ~âge).

| Coefficient paramétrique | Terme | Estimates | SE | t-value | pval |
|--------------------------|-----------|-----------|--------|---------|------|
| | intercept | 144.77 | 5.80 | 24.96 | |
| termes lissés | Terme | edf | Ref.df | F-value | pval |
| | Âge | 6.64 | 6.94 | 3212.27 | *** |
| | Bassin | 16.48 | 17 | 1122.62 | *** |
| | Dist | 1.57 | 1.80 | 69.18 | *** |
| | R_larg | 1.98 | 2 | 52.14 | *** |
| | Annee | 7.68 | 8 | 992.93 | *** |
| | Type_P | 0.66 | 2 | 65.21 | 0.17 |
| | CumD | 1 | 1 | 12.4 | *** |
| | S | 24.16 | 26 | 1346.33 | *** |

*** pval<0.01

Rsquared=0.89 Deviance explained=0.89: n=6200

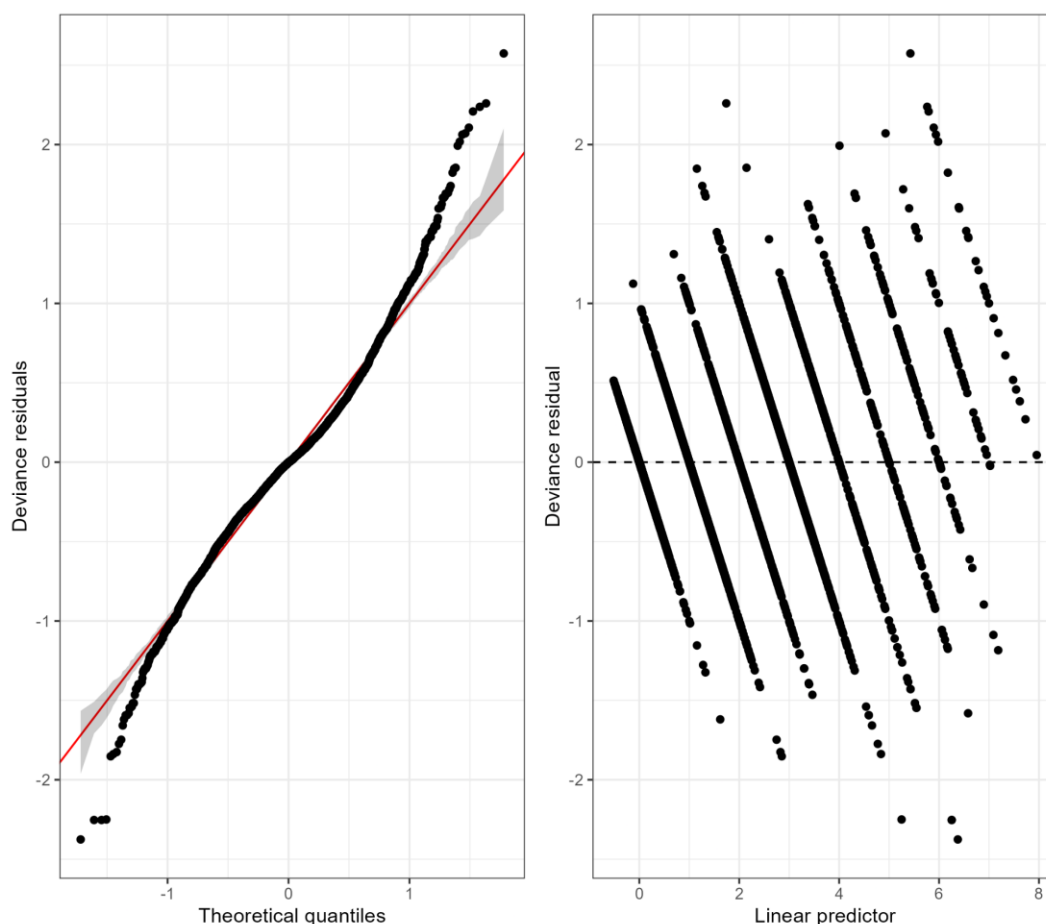


Figure 7 : Graphique de diagnostic du modèle du taux de croissance (relation âge-taille). On peut noter que l’ajustement est moins bon pour les individus les plus grands et également les plus petits. Ce problème d’ajustement est probablement relié au dimorphisme sexuel qui s’exprime particulièrement chez les individus plus âgés.

Le résumé du meilleur modèle indique qu’à l’exception du type de pêche, chacune des variables explicatives présentent un effet significatif sur la relation taille-âge (Tableau 4). La distance à la mer, le nombre cumulé d’obstacles en aval et dans une moindre mesure la largeur du cours d’eau tend à favoriser des individus de grandes tailles (Figure 8, haut gauche). Les variables temporelles (semaine et l’année de la pêche) présentent également un effet qui doit être considéré pour correctement évaluer la variabilité spatiale du taux de croissance. En particulier, l’influence de la semaine de la pêche permet de préciser le moment d’apparition de la marque (autour de la 14^{ème} semaine de l’année) sur les otolithes permettant d’attester le passage à une nouvelle année (Figure 8, haut droite). Un important effet du bassin sur le taux de croissance des individus a également été souligné. Les bassins de l’Erdre, de Brouage et du canal des étangs sont associés à des individus plus grands tandis que les bassins du nord de la France (l’Aa et la Somme) induisent une plus faible croissance (Figure 8, bas gauche). Il est à noter que l’effet “bassin versant” intègre de nombreux processus confondus tels que l’influence de la latitude, de la qualité des eaux (dont la présence de contaminants organiques et métalliques), la productivité du milieu et ne permet pas à lui seul de statuer sur la qualité du milieu.

Résultats

Bien que non disponible pour l'ensemble des projets de repeuplement, l'influence des densités estimées sur la relation taille-âge a également fait l'objet d'une analyse au sein d'un second modèle dédié. Ce second modèle a permis d'identifier un effet négatif significatif des densités estimées sur la taille pour une classe d'âge donnée (Figure 8, bas droite). Toutefois, en raison de l'absence de données liée à l'impossibilité d'estimation des densités pour plusieurs projets, l'effet n'a pas été intégré au modèle final.

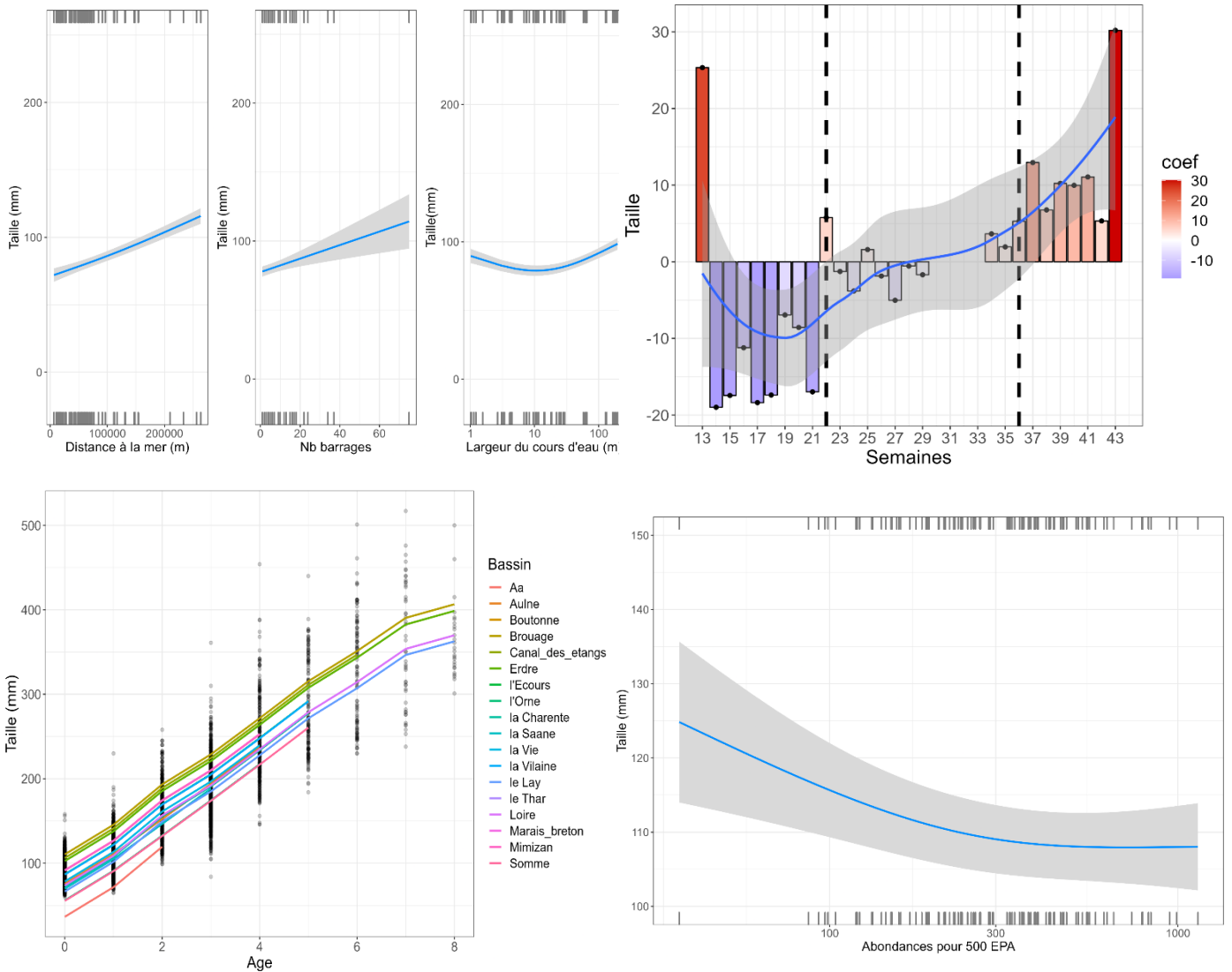


Figure 8 : Effet de la distance à la mer, de la largeur du cours d'eau, du nombre d'obstacles sur la taille (haut gauche), et de la semaine de la pêche sur la taille pour une classe d'âge donnée (haut droite), du bassin versant (bas gauche) et des densités estimées sur la relation taille âge (bas droite).

Résultats

La prise en compte de l'ensemble de ces influences a permis d'évaluer la variabilité spatiale du taux de croissance reposant sur les anomalies standardisées de la relation taille-âge (Figure 9). Les sites optimisant le taux de croissance sont situés en amont des fleuves et en particulier la Loire (Loire amont 2021, Creuse et Vienne 2013 et 2019), l'amont de l'Aulne et l'Erdre. A l'inverse les projets conduits dans le nord de la France (en particulier Aa 2019, Nièvre 2014 et Saane 2016) ainsi que ceux associés au marais Breton, au Jaunay et au Lay (Vie 2016, Jaunay 2012 et Lay 2013, 2016) ont produit des taux de croissance plus faibles. Cette variabilité spatiale du taux de croissance est probablement multifactorielle et conditionnée par la température de l'eau, la qualité écologique et trophique du milieu...

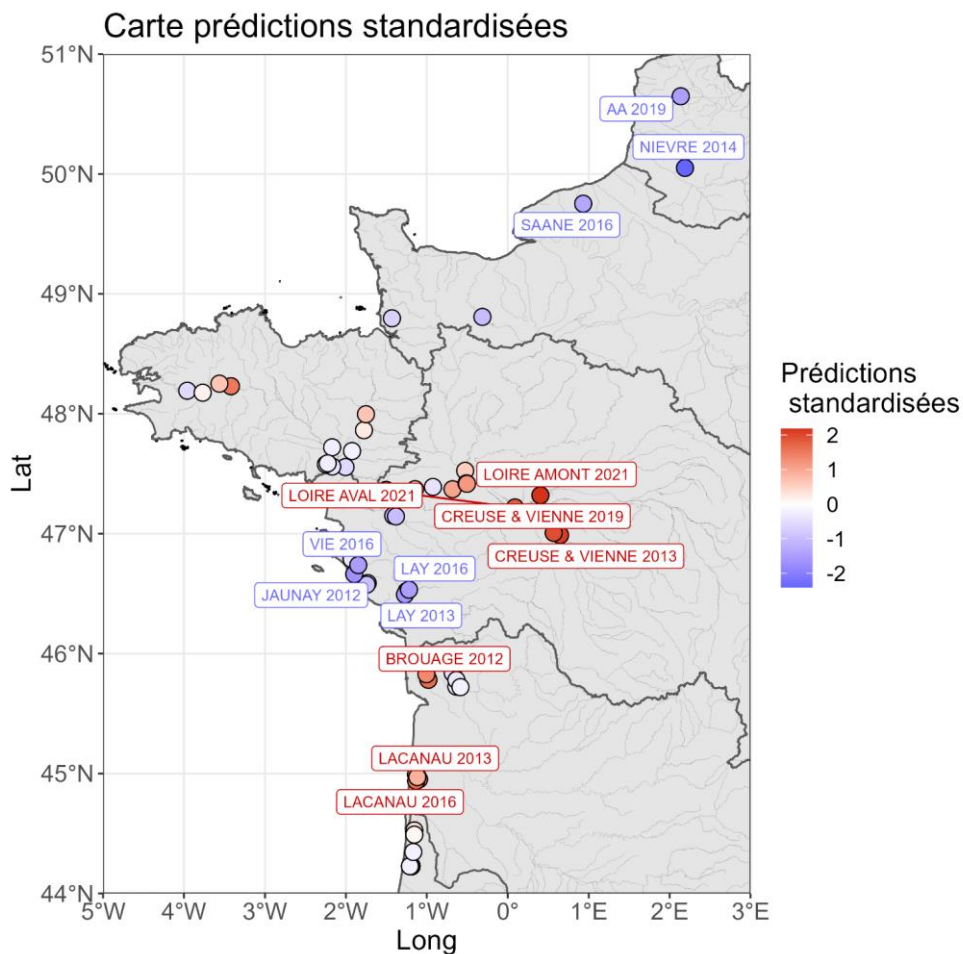


Figure 9 : Carte des anomalies de prédictions standardisées du taux de croissance. Les points rouges présentent des taux de croissance supérieurs à la moyenne tandis que les points bleus désignent l'inverse. Les étiquettes précisent les projets avec les taux de croissance les plus hauts (rouge ; top 10%) et les plus faibles (bleus ; bottom 10%)

6.3 Analyse du taux de recapture

Le taux de recapture correspond au pourcentage d'individus marqués repêchés au cours des pêches successives par rapport au pourcentage de civelles marquées lors du repeuplement.

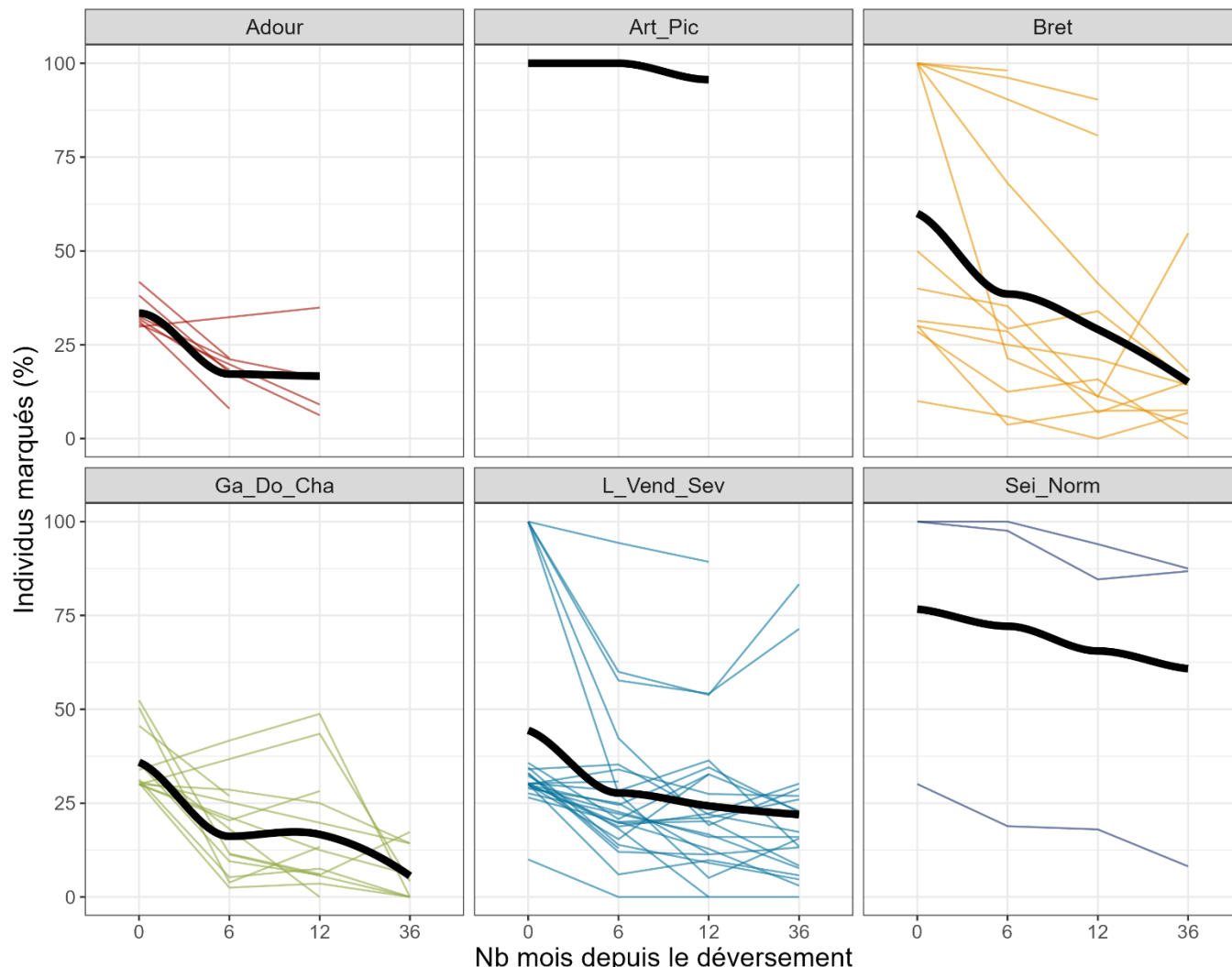


Figure 10 : Variations temporelles du pourcentage d'individus marqués associés aux différents projets. Pour chaque sous graphique, la ligne noire en gras représente la tendance moyenne pour chaque UGA (Art_Pic: Artois Picardie, Bret: Bretagne, Ga_Do_Cha= Garonne Dordogne Charente, L_Vend_Sev: Loire Vendée Sèvre Niortaise, Sei_Norm: Seine Normandie). A t=0, le pourcentage correspond au pourcentage de civelles marquées lors du repeuplement.

Le taux de recapture est très variable en fonction des sites. Il varie en fonction des opérations de 0% (aucune recapture d'individus marqués) à 100% (le pourcentage d'anguilles marquées est égal au pourcentage de civelles marquées repeuplées) (Figure 10).

De manière inattendue, certaines pêches ont toutefois présenté des taux de recapture d'individus marqués supérieurs à 100%. Certains projets, à l'instar de LOIRE AVAL 2021 ou LOIRE 2014 montrent des taux proches de 100% tandis que d'autres, en particulier les projets CAZAUX 2021 et LACANAU 2015, sont caractérisés par des taux avoisinants les 150% (Figure 10). Ces anomalies reflètent la

Résultats

présence d'un processus local inconnu conduisant à une concentration des individus marqués. Les pêches associées à ces inattendus taux de recapture ont par conséquent ont été écartées de l'analyse des taux de recaptures.

Également, pour limiter les biais liés à une mauvaise estimation du taux de recapture, les échantillonnages de moins de 10 individus ont été écartés de l'analyse.

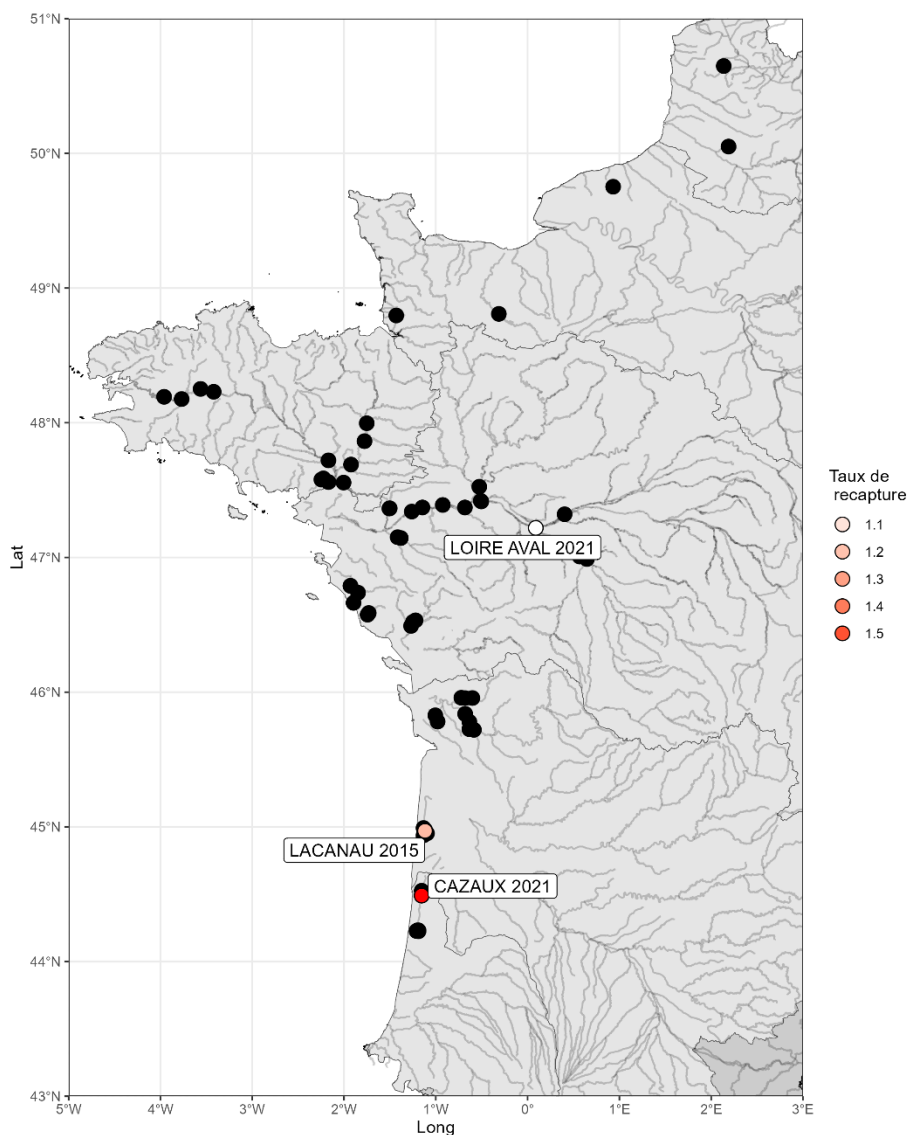


Figure 11 : Carte des sites associés à des taux de recapture d'individus marqués supérieurs à 100%

A la suite de la phase de sélection des variables, le nombre de mois depuis le repeuplement (Suivi), la nature du bassin (Bassin), la distance à la mer (Dist), le nombre cumulé d'obstacles (CumD) ainsi que la largeur du cours d'eau (R_larg) ont été inclus dans le modèle sélectionné (Tableau 5). Il est à noter, l'absence d'influence notable des variables temporelles (Années et semaine de la pêche) (Tableau 6). Ce meilleur modèle a permis d'expliquer une part substantielle de la variance totale ($R^2=0.57$) et a présenté un bon ajustement à la loi normale, ainsi qu'une absence de tendance notable au sein des résidus (Figure 12).

Résultats

Tableau 5 : Top 5 des modèles testés relatifs au taux de recapture des anguilles. Le meilleur modèle présente la valeur d'AIC la plus faible (delta=0). “+” indique que le prédicteur est inclus dans le modèle, avec “Année”: l’année de la pêche de suivi, “Suivi”: le nombre de mois depuis le repeuplement, “Bassin”: la nature du bassin versant, Cum_D”: nombre de d’obstacles situés en aval, “Dist”: distance à la mer, “R_larg”: largeur du cours d’eau, et “S”: semaine de la pêche.

| Inter | Annee | Suivi | Bassin | Dist | CumD | R_larg | UGA | S | df | logLik | AIC | delta | weight |
|-------|-------|-------|--------|------|------|--------|-----|---|----|--------|--------|-------|--------|
| 0,52 | - | + | + | + | + | + | - | - | 25 | 39,52 | -27,17 | 0,00 | 0,13 |
| 0,52 | - | + | + | + | + | + | + | - | 25 | 39,52 | -27,17 | 0,00 | 0,13 |
| 0,52 | - | + | + | + | + | + | - | + | 25 | 39,52 | -27,17 | 0,00 | 0,13 |
| 0,52 | - | + | + | + | + | + | + | + | 25 | 39,52 | -27,17 | 0,00 | 0,13 |
| 0,53 | + | + | + | + | + | + | + | - | 26 | 40,25 | -26,93 | 0,24 | 0,11 |
| 0,53 | + | + | + | + | + | + | - | - | 26 | 40,25 | -26,93 | 0,24 | 0,11 |

Tableau 6 : Résumé du meilleur modèle du taux de recapture

| Coefficients param | Terme | Estimate | SE | tvalue | pval |
|--------------------|-----------|----------|----------|---------|------|
| | intercept | 0.37 | 0.06 | 6.2 | |
| | Dist | 2.9.10-5 | 4.9.10-6 | 5.9 | *** |
| | R_larg | -1.10-3 | 1.10-3 | -2.5 | * |
| termes lissés | Terme | edf | Ref.df | F-value | pval |
| | Suivi | 1 | 1 | 17.1 | *** |
| | CumD | 4.47 | 5.18 | 5 | *** |
| | Bas | 11.69 | 16 | 3.5 | *** |

*** pval<0.01, * pval<0.05

Rsquared=0.57 Deviance explained=0.62; n=141

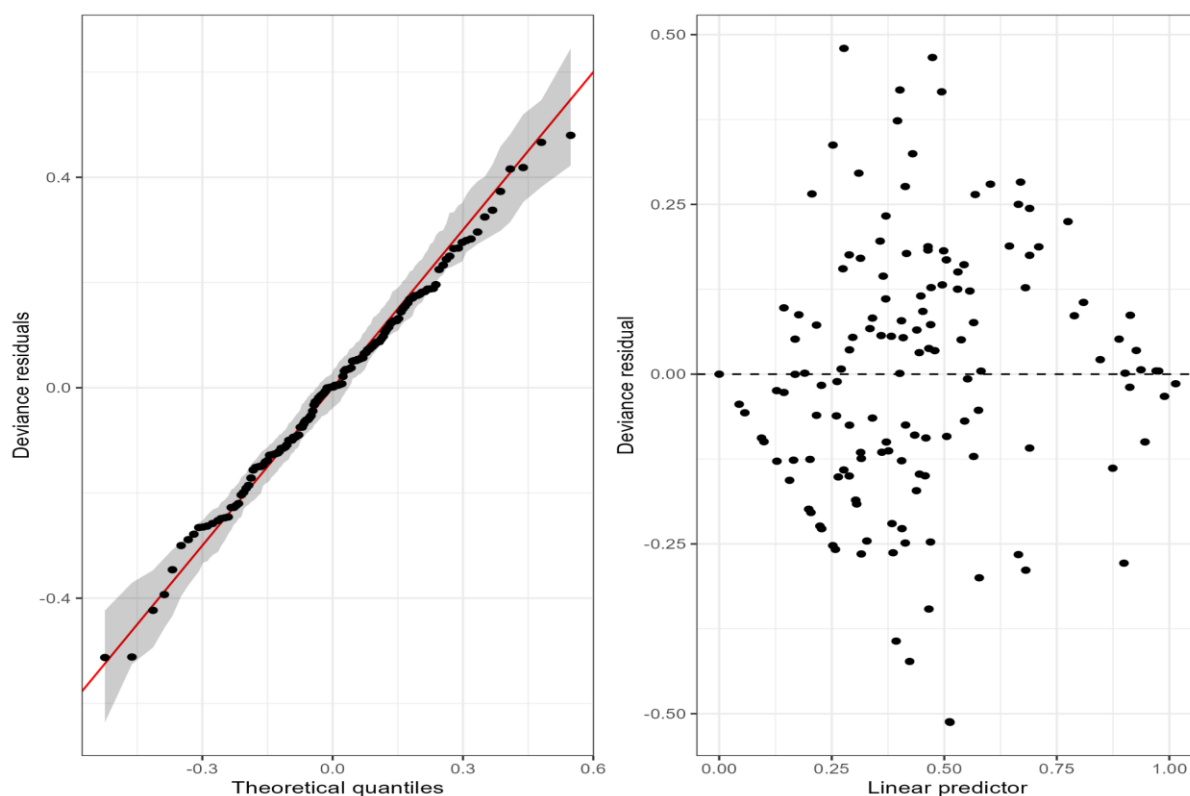


Figure 12 : Graphique de diagnostic du modèle sélectionné pour la modélisation du taux de recapture. Ces graphiques précisent l'ajustement des résidus à une loi de distribution gaussienne, et une absence de patron linéaire particulier.

De manière attendue, tandis que la distance à la mer et le nombre cumulé d'obstacles font augmenter le taux de recapture d'individus marqués, la largeur du cours d'eau et le temps depuis le repeuplement tendent à réduire le nombre de recapture issue du repeuplement (Figure 13). Ce dernier effet s'explique en grande partie par la mobilité des individus qui vont avoir tendance à coloniser de nouveaux territoires. Une grande influence de la nature du bassin versant sur le taux de recapture d'individus marqués a également été identifiée par le modèle. On retrouve ainsi une influence positive sur le taux de recapture au sein des bassins du nord (Saane et le thar) et au sein des marais de Brouage et du marais Breton où le recrutement naturel s'avère inexistant. A l'inverse, les sites situés sur la Charente et également l'Aulne aval tendent à faire diminuer de manière importante le taux de recapture.

Résultats

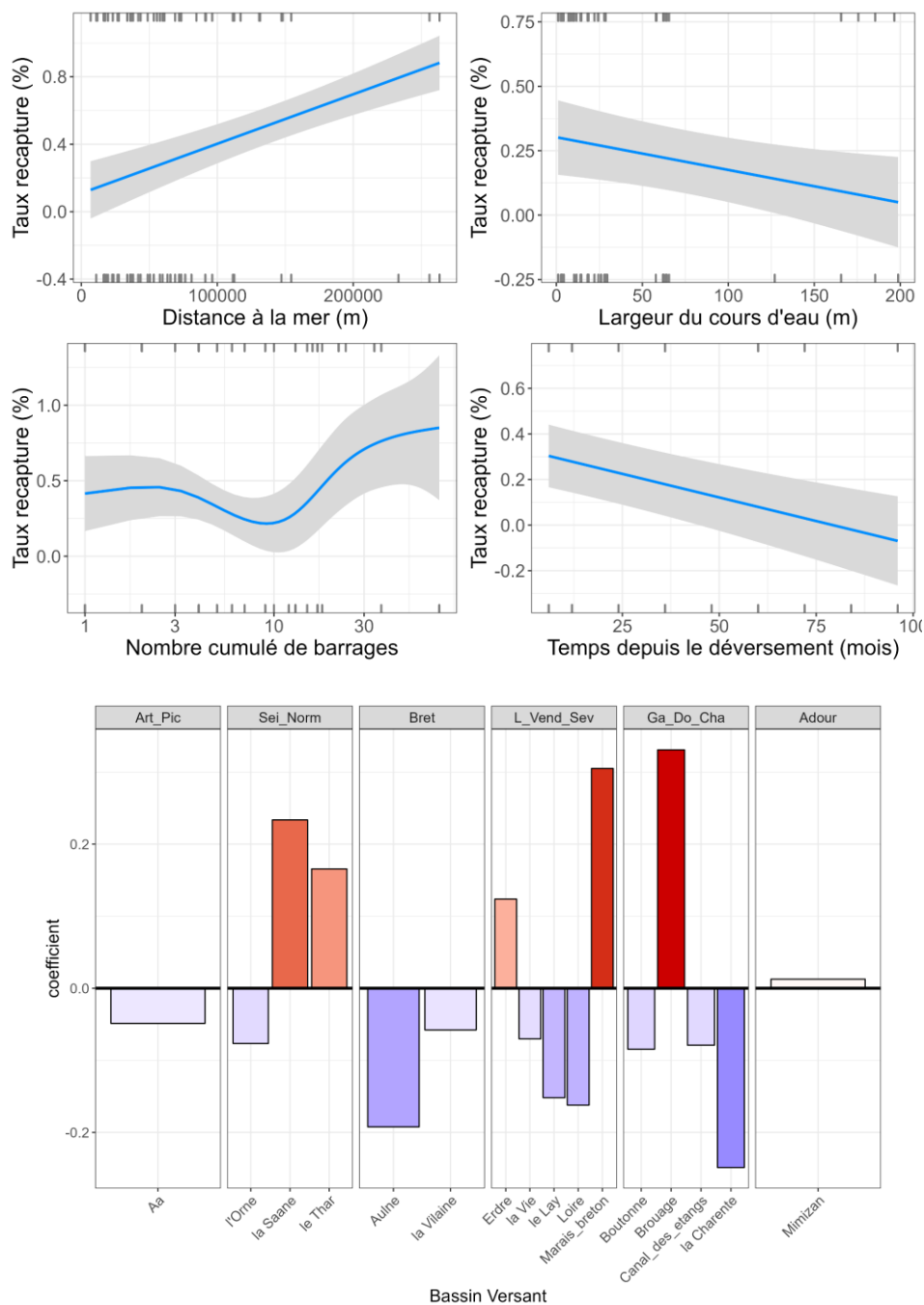


Figure 13 : Impact de la distance à la mer (haut gauche), la largeur du cours d'eau (haut droite), du nombre cumulé d'obstacles en aval (bas gauche), et du nombre de mois depuis le repeuplement (bas droite) sur le taux de recapture. Et impact modélisé des bassins versants sur le taux de recapture (bas), avec en rouge et bleu, les bassins versants qui tendent respectivement à améliorer ou limiter le taux de recapture. Les différents bassins versant ont été regroupés par UGA.

Reposant sur ce modèle, la production d'une carte d'anomalies des prédictions permet de mieux apprécier la variabilité spatiale du taux de recapture d'individus (Figure 14). Les sites à fort taux de recaptures, sont ainsi situés davantage en amont des grands fleuves (Hyère 2020, Canal de Nantes à Brest 2021, Creuse et Vienne 2019) et au sein des fleuves du nord de la France (Aa 2019, Saône 2016, Orne 2018). Inversement, les sites avec les taux de recapture les plus bas se retrouvent en majorité en aval des fleuves (Aulne 2018, Loire 2021), et également sur la Charente (Charente 2015, 2016, 2019 et 2020).

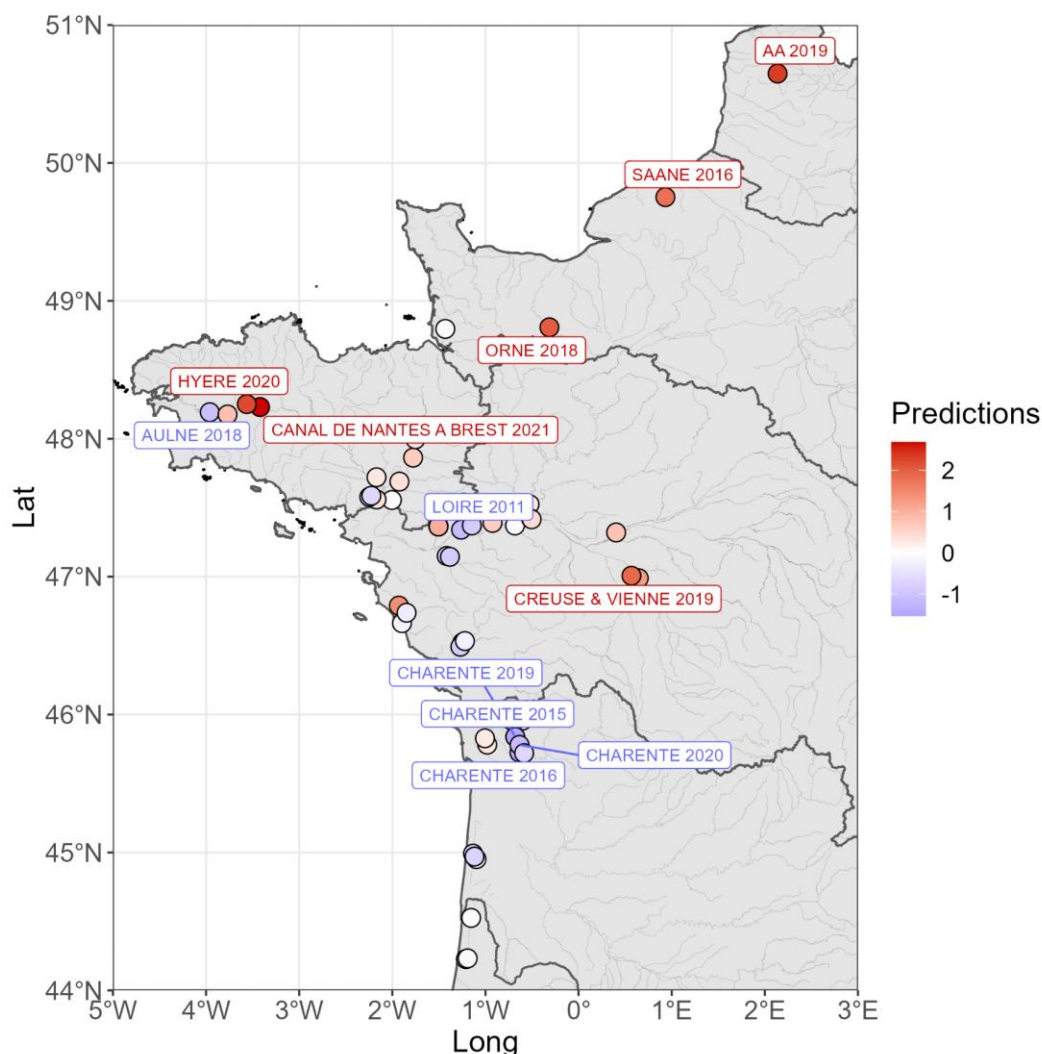


Figure 14 : Carte des anomalies de prédictions standardisées des taux de recapture d'individus marqués. Les points rouges présentent les taux de recapture supérieurs à la moyenne tandis que les points bleus désignent l'inverse. Les étiquettes précisent les projets avec les taux de recapture les plus hauts (rouge ; top 10%) et les plus faibles (bleus ; bottom 10%).

8 Discussion

Cette étude permet de tirer des enseignements inédits sur l'efficacité du repeuplement en France pour la gestion du stock d'anguilles européennes. Les points saillants de cette étude sont les suivants :

- Le taux de croissance des anguilles transférées augmente avec la distance à la mer et le nombre d'obstacles (barrages) en aval du site de repeuplement. Cela indique que les croissances sont favorisées par certaines opérations de repeuplement. Les taux de croissance sont également contrôlés par les bassins versants. Cela indique que les conditions environnementales propres à chaque bassin versant déterminent la qualité et la quantité de nourriture disponible, la quantité de polluants organiques et métalliques susceptibles de contaminer les anguilles qui contrôlent le taux de croissance. Enfin, un gradient Nord-Sud a également été identifié, soulignant l'impact de la température sur le métabolisme et par conséquent la croissance des anguilles.
- La contribution relative des anguilles transférées à la population d'anguilles en place varie entre 10 et 90% des effectifs. Elle augmente globalement avec la distance à la mer et le nombre d'obstacles en aval du point de déversement. Cela confirme que la densité en anguilles et le recrutement naturel diminue globalement avec la distance à la mer et le nombre d'obstacles à l'aval. Ce résultat suggère que les actions de repeuplement permettent de repeupler efficacement des portions de cours d'eau où les anguilles ne sont plus présentes. Il permet en outre l'identification de sites moins propices au repeuplement (fort recrutement).
- L'analyse des densités mesurées lors du suivi post repeuplement n'a pas permis d'identifier des patrons spatiaux ou temporels particuliers concernant les densités estimées d'anguilles au sein des différents sites de suivi du repeuplement. Aucune relation n'a été mise en évidence entre les paramètres de l'environnement retenus (distance à la mer, nombre d'obstacles) et la densité estimée par les campagnes post repeuplement. Ce résultat tranche avec les patrons de distribution des populations d'anguilles, habituellement décrits dans la littérature, dont la densité décroît avec la distance à la mer. Cette différence peut tenir à plusieurs explications :
 - Les sites de déversement sont théoriquement retenus parce qu'ils présentent une faible densité d'anguilles, quelle que soit la distance de l'estuaire. Aussi, les schémas habituels de diminution de l'abondance avec la distance à la mer sont estompés.

Discussion

- La méthode d'échantillonnage (pêche électrique par échantillonnage ponctuel d'abondance) a une efficacité variable en fonction des habitats présents et l'efficacité de la pêche (c'est à dire du pourcentage de poissons présents dans le milieu naturel, capturés lors de la pêche) diminue notamment avec la profondeur, la turbidité et la largeur du cours d'eau.
- Les pêches ont lieu sur les sites de déversement de civelles, dont l'objectif est précisément d'augmenter l'abondance d'anguilles notamment dans des secteurs où l'abondance est basse. Et donc les comportements de migration densité dépendants s'expriment peu conduisant à une densité plus forte qu'attendue.

Ainsi, cette étude montre que le programme de repeuplement en anguilles constitue une mesure efficace pour introduire les anguilles dans des sections de cours d'eau où elle n'est pas présente. Les taux de croissances mesurés augmentent avec la distance à la mer, notamment dans les grands cours d'eau, ce qui suggère l'intérêt de sélectionner les sections amont de certains cours d'eau.

Le protocole mis en œuvre ne fournit pas d'information sur la survie des anguilles. Toutefois, étant donné que la survie est largement décrite dans la littérature pour être densité dépendante, une amélioration de la survie moyenne dans les zones amont des fleuves peut être supposée. Cette idée est corroborée par les plus importants taux de croissance retrouvée au sein de ces zones, proxy d'une amélioration de la survie des individus. Ainsi, le déversement des anguilles dans des zones de faible densité, localisée en amont des cours d'eau et au sein de certains bassins pourrait conduire *in fine* à une augmentation de la production d'anguilles argentées.

La poursuite de l'analyse de l'efficacité du programme de repeuplement français sur la période d'étude consisterait à estimer la quantité (nombre et biomasse) des géniteurs produits par le transfert des 28 tonnes de civelles entre 2011 et 2021 par rapport à ce qu'elles auraient produit si elles avaient colonisé les bassins versants par leurs propres moyens. Des premières analyses non présentées dans cette étude indiquent que le programme français de repeuplement permettrait un gain substantiel de production en anguilles argentées. Toutefois, il est indispensable de réaliser une recherche approfondie, collective et consensuelle pour paramétrer un modèle intégrant des paramètres tel le gain de survie, de taux de croissance, de détermination sexuelle, de taille et d'âge à l'argenteure. Ces paramètres devraient également s'appuyer sur une analyse des proportions d'anguilles argentées issues du repeuplement (marquées à l'AlizarineS) à l'échelle des bassins versants. Les premières anguilles argentées issues du repeuplement ont commencé à dévaler en 2018 en Loire et des études en cours indiquent qu'elles pourraient contribuer à 5 à 10 % du flux d'anguilles argentées.

9 ANNEXE : Focus sur les résultats spécifiques à certains projets

Au fil des suivis scientifiques menés dans le cadre des repeuplements anguille depuis 2011, certaines campagnes ont permis d'observer des résultats spécifiques sur certains projets en termes de taux de croissance, de dispersion et de colonisation, de taux de recapture, qui n'auraient pas été possible à obtenir en se limitant aux données accumulées dans le cas d'une application stricte du protocole de suivi préconisé dans le cadre de l'Appel à Projet repeuplement. Des données complémentaires (inventaires effectués dans le cadre de réseau de suivi par des partenaires externes) a également permis de compléter les données de recaptures pour certains projets.

Nous présentons donc ici un focus (non exhaustif) sur des exemples de projets qui ont permis d'une part d'enrichir l'appréciation de l'efficacité des repeuplements et d'autre part, qui illustre les limites du protocole de suivi préconisé dans le cadre de l'Appel à Projet repeuplement pour l'évaluation complète du devenir des civelles déversées dans le cadre de ces opérations.

9.1 Comportement de dispersion et de colonisation des bassins versants par les anguilles repeuplées

L'Appel à Projet repeuplement anguille prévoit dans le cadre des suivis scientifiques à + 6 mois, + 1 an et + 3 ans de « Procéder à 25 stations d'échantillonnage situées entre 1 km en aval et 1 km en amont du site de déversement ». La localisation des stations jusqu'à 1 km au-delà de la zone de déversement doit permettre d'apprécier la dispersion des civelles repeuplées dans les bassins versants.

Cependant au fil des suivis, pour certains projets, des stations ont été localisées de plus en plus loin des sites de déversement, notamment en amont, que ce soit directement sur l'axe principal du cours d'eau concerné mais aussi dans ses affluents. Ces échantillonnages moins restreints à la seule zone du déversement ont permis d'observer un comportement marqué de dispersion des anguilles pour certains projets. Ces résultats démontrent donc une colonisation naturelle des bassins versants par une partie du contingent d'anguilles repeuplées, et ce parfois dès les premiers mois suivant le repeuplement. Les suivis scientifiques des opérations occultent donc un contingent difficilement quantifiable mais potentiellement important des anguilles repeuplées.

9.1.1 Colonisation des lacs Landais : Exemple du projet CAZAUX 2018

Les zones de repeuplement sur le projet Cazaux 2018 sont cantonnées à une partie du lac seulement, étant donné sa surface importante. Les 25 stations de suivi par pêche électriques qui ont été réalisées dans le cadre des suivis ont été réparties sur les berges du lac, en dépassent largement la limite recommandée au maximum de 1 km de distance des points de déversement (impossibilité de concentrer

les stations et présence d'une zone militaire). L'analyse des résultats des suivis à + 6 mois et + 1 an montre que le positionnement des stations bien au-delà de la zone de repeuplement et des 1 km recommandés a permis la recapture de la majorité des anguilles marquées recapturées (jusqu'à 5,7 km du point de déversement le plus proche dès 6 mois, de l'autre côté du lac).

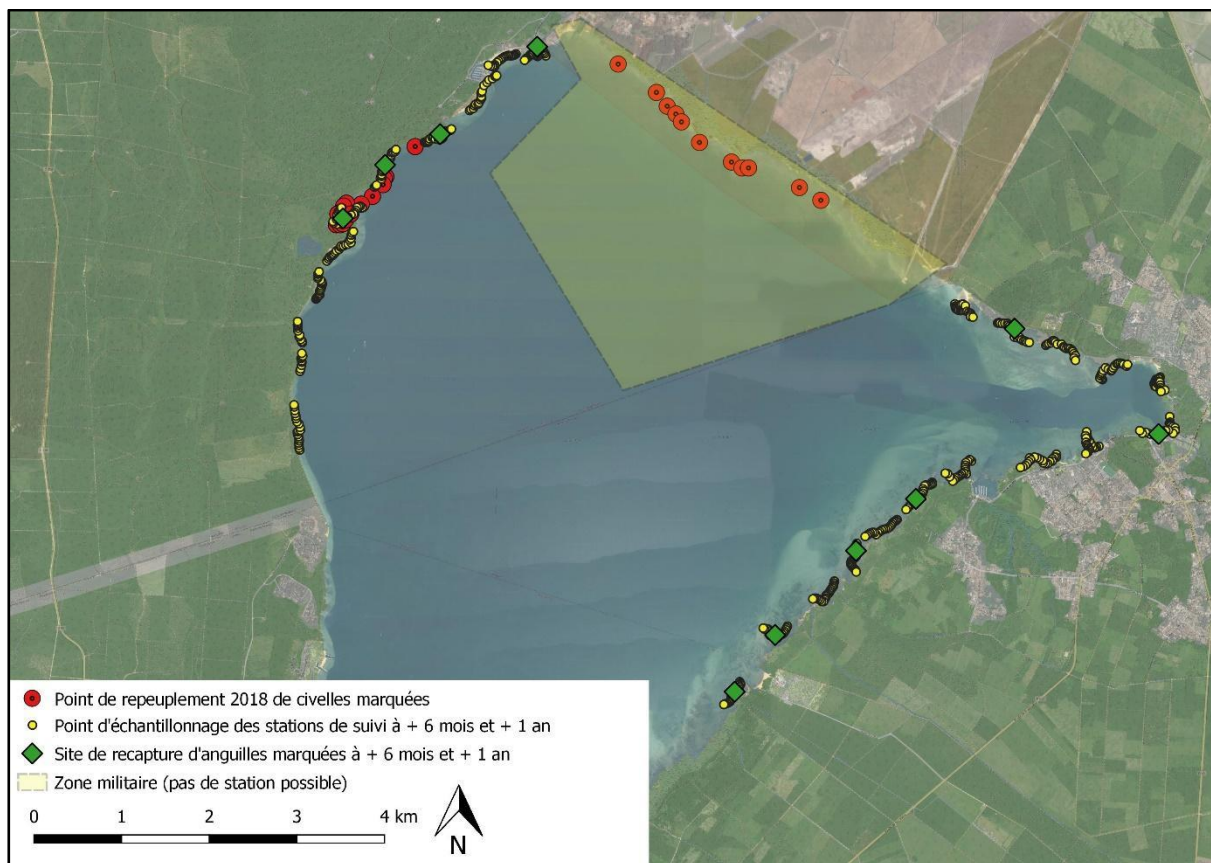


Figure 15 : Localisation des points de repeuplements, des stations de suivis et des sites de recapture d'anguilles marquées pour le projet CAZAUX 2018 (CRPMEM Nouvelle-aquitaine).

Ces observations indiquent une colonisation importante du milieu dès les premiers mois suivant le repeuplement. On occulte donc une part non négligeable du contingent en ciblant uniquement les suivis scientifiques à proximité immédiate de la zone de déversement, comme c'est généralement le cas.

9.1.2 Colonisation des grands corridors fluviaux : Exemple du projet LOIRE AVAL 2021

Le projet de repeuplement Loire 2021 est localisé sur l'axe Loire, au niveau de la confluence de la Vienne et en aval de la confluence de l'Indre, affluents majeurs en rive gauche de la Loire. Des stations de suivi ont volontairement été positionnées sur l'axe Vienne (jusqu'à 3,2 km du point de repeuplement de civelles marquées le plus proche) au-delà des 1 km recommandés par le protocole de suivi, afin d'apprécier une éventuelle colonisation de cet axe de migration.

Dès le suivi à + 6 mois, des recaptures d'anguilles marquées ont été observées sur les stations positionnées sur l'axe Vienne. Ces recaptures se sont reconfirmées lors du suivi à + 1 an.

De plus, une station de suivi spécifique anguille de la Fédération d'Indre-et-Loire pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique situé sur l'Indre a permis la capture d'une anguillette marquée moins de 3 mois après le repeuplement, à 14 km du point de déversement le plus proche.

Enfin, dans le cadre du projet Creuse & Vienne 2019, lors du suivi à 3 ans, des petites anguilles ont été capturées sur les stations d'échantillonnages. Certaines ont été conservées pour un examen otolithométrique, dans l'hypothèse où elles pourraient provenir du projet 2021 réalisé sur la Loire plus en aval. Il s'est avéré qu'effectivement des anguillettes analysées étaient marquées et provenaient donc du projet Loire 2021, à plus de 50 km du point de repeuplement le plus proche, 1 an après l'opération.

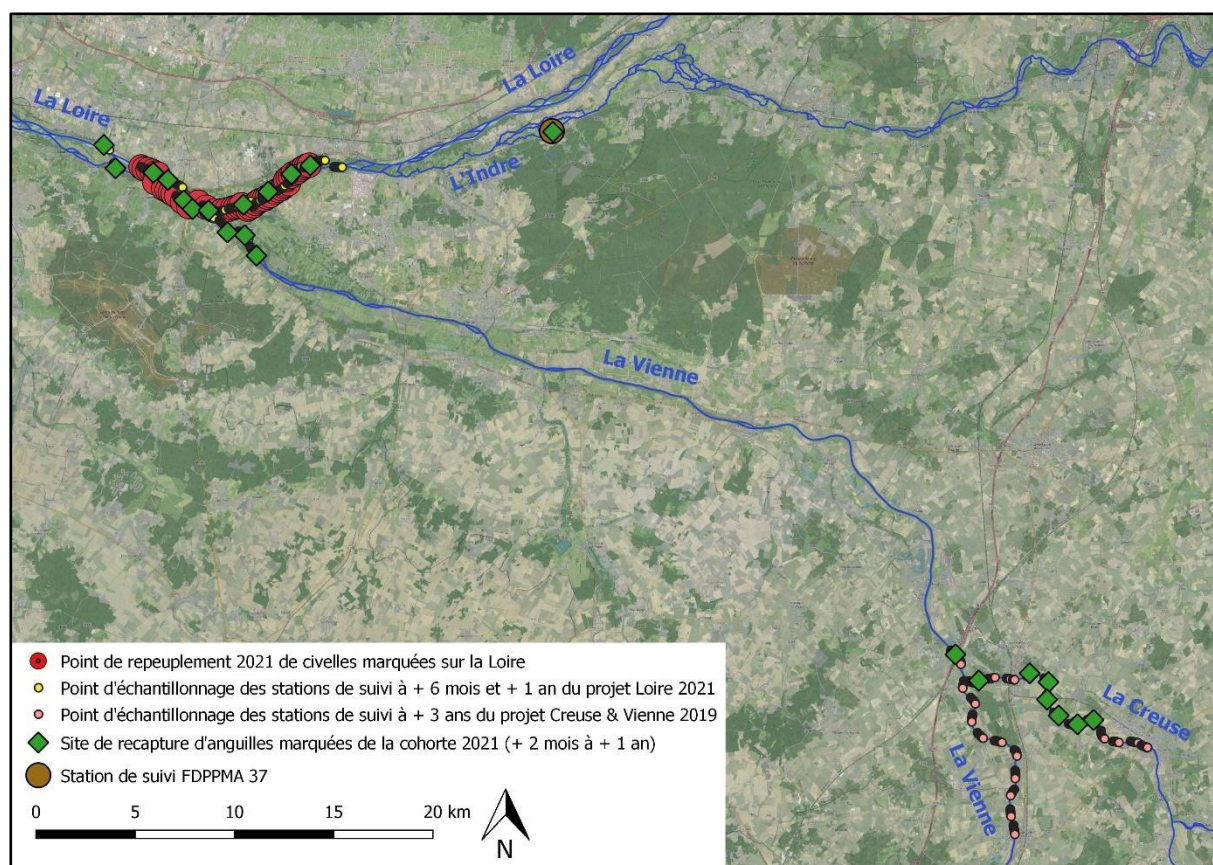


Figure 16 : Localisation des points de repeuplements, des stations de suivis et des sites de recapture d'anguilles marquées pour le projet LOIRE 2021 et des stations de suivi du projet CREUSE/VIENNE 2019 (COREPEM – FDPPMA 37).

Le cas du projet Loire 2021 illustre bien le comportement de dispersion d'une partie du contingent issue de l'opération de repeuplement. Dès 2 mois après le repeuplement, des anguillettes ont déjà colonisées les affluents. 1 an après l'opération, on retrouve des anguilles issues du projet à plus de 50 km des points de déversement. Sans l'existence d'un projet 2019 sur la Creuse et la Vienne plus en amont,

ce résultat n'aurait pas été obtenu. On constate ici l'importance d'envisager des suivis à des échelles plus larges, considérant qu'une partie importante du contingent reprend son comportement migratoire et de colonisation des bassins versants à la suite de l'opération de repeuplement.

9.1.3 Colonisation des petits cours d'eau salmonicoles : Exemple du projet LYS 2016

Le bassin de la Lys est situé dans le Pas-de-Calais et caractérisé par une population naturelle d'anguille très vieillissante. En effet, l'accès au bassin versant est rendu très difficilement accessible pour les anguilles en phase de colonisation active. Les jeunes anguilles doivent emprunter, non sans difficultés migratoires, le canal de l'Aa puis celui de la Lys (et leurs écluses), avant de pouvoir espérer atteindre la Lys « rivière », sur laquelle la présence de seuils de moulins réduit encore les chances de colonisation. Par conséquent, la population d'anguille était considérée comme relictuelle sur le bassin avant le projet de repeuplement, avec l'unique présence d'anguilles de taille importante et en densité assez faible (aucune anguille échantillonnée de moins de 300 mm dans le cadre des suivis effectués par la Fédération Départementale du Pas-de-Calais pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique avant le repeuplement 2016).

Le repeuplement 2016 sur la Lys rivière de 38 kg de civelles (environ 131 000 poissons) réparties sur 3 points n'a donc pas nécessité de marquage par balnéation, la simple recapture de jeunes anguilles permettant de déterminer leur origine dans le cadre des suivis scientifiques.

Seulement 3 stations ont été retenues pour le suivi scientifique à + 6 mois, + 1 an et + 3 ans dans le cadre de ce projet. Les stations ont été localisées directement au niveau des points de déversement. Les résultats des suivis ont permis la recapture de 10 anguilles de la cohorte cible lors du suivi à 6 mois en 2016, 11 anguilles de la cohorte cible lors du suivi à 1 an en 2017 et 8 anguilles de la cohorte cible lors du suivi à 3 ans en 2019. Avec seulement ces données disponibles, difficile d'apprécier l'efficacité et la plus-value de ce projet.

Cependant, des données complémentaires externes sont venues enrichir cette appréciation. En effet, sur la Lys rivière un suivi est réalisé par la FDPPMA 62 dans le cadre de son « Monitoring Anguille ». La campagne 2021 a permis la capture de jeunes anguilles de moins de 300 mm pour la première fois sur une station localisée 1,1 km du point de déversement le plus proche. Au vu de la distribution des tailles et de la croissance très faible des anguilles observées sur la Lys, ces poissons proviennent avec un fort degré de certitude de l'opération de repeuplement 2016. De même, une station de suivi dans le cadre du Réseau de Contrôle et de Surveillance de l'OFB est située à 1,4 km du point de déversement le plus proche. Cette station échantillonnée en 2018, 2020 puis 2022 sur le même linéaire (pêche complète à 1 passage sur environ 170 m linéaire) a permis la capture croissante au cours du temps d'anguilles issues de l'opération de repeuplement.

ANNEXE : Focus sur les résultats spécifiques à certains projets

Tableau 7 : Résultat des captures d'anguilles sur la station RCS « 01053000 » de l'OFB (Dir HdF OFB)

| | 2018 (+ 2 ans) | 2020 (+ 4 ans) | 2022 (+ 6 ans) |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| Surface en eau échantillonnée | 1303 m ² | 1275 m ² | 1319 m ² |
| Effectif total d'anguilles capturées | 32 | 40 | 85 |
| Effectif d'anguilles de la cohorte cible du repeuplement 2016 | 21 | 34 | 73 |

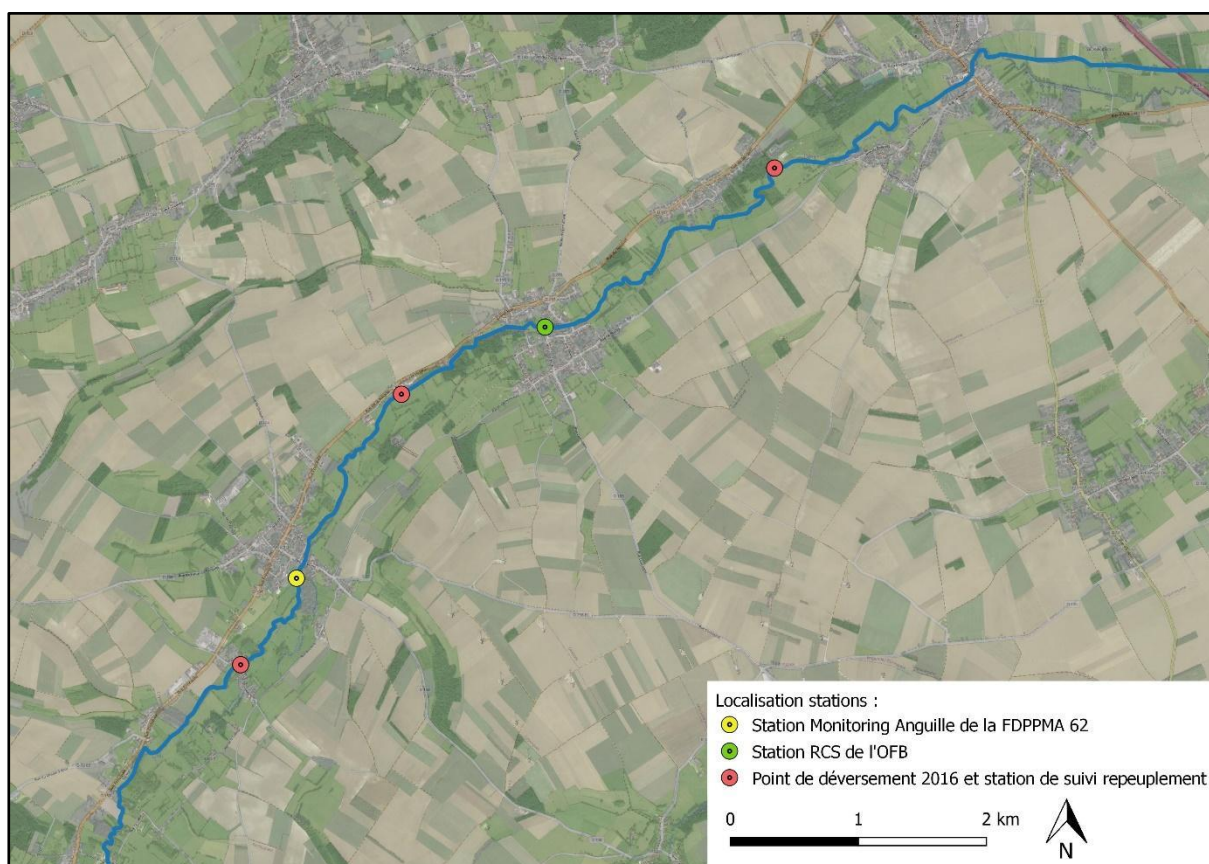


Figure 17 : Localisation des station suivis (FDPPMA 62 - Dir HdF OFB - CRPMEM HdF)

Le cas de la Lys illustre bien que la limitation du nombre de stations de suivi et leur durée dans le temps, peut conduire à une vision très incomplète pour juger de l'efficacité d'un projet. Aussi, l'opportunité d'effectuer certaines stations de référence en « pêche complète » à un ou plusieurs passages sur des petits cours d'eau comme la Lys, permettrait d'acquérir des données complémentaires sur des densités d'anguilles repeuplées (estimation de la dispersion, des taux de survie etc...).

9.1.4 Colonisation des petits affluents : Exemple des projets ORNE 2018 et AA 2019

Ces dernières années, des stations sont de plus en plus systématiquement positionnées dans des petits affluents aux axes principaux concernés par les projets de repeuplement. C'est par exemple le cas

pour le projet sur l'Orne en 2018 (positionnement de stations sur le ruisseau aux Hérons) ou pour le projet sur l'Aa en 2019 (positionnement d'une station sur le Bléquin).

Lors des suivis à + 3 ans, des anguilles marquées ont été recapturés sur les stations localisées sur les affluents pour ces projets (à plus de 4 km des points de repeuplement les plus proches). Ici encore, on observe une colonisation efficace des anguilles repeuplées et on note l'intérêt de suivre les cohortes cibles à l'échelle du bassin versant en ne se limitant pas à la seule zone de repeuplement.

9.2 Recapture d'anguilles marquées au-delà des 3 ans de suivi

Le suivi des cohortes et l'analyse des taux d'anguilles marquées recapturées est prévu jusqu'à 3 ans par l'Appel à projet : « Réaliser trois campagnes d'échantillonnage, soit 6 mois, 1 an et 3 ans après le déversement ». Aucune campagne spécifique au-delà des 3 ans n'est donc réalisée pour les projets de repeuplement Français. Cependant, certains projets sont localisés sur des bassins versants qui avaient déjà fait l'objet de projet de repeuplement par le passé. Lors des suivis à + 6 mois, + 1 an ou + 3 ans, il est alors arrivé de conserver des poissons de la cohorte cible des anciens projets afin de vérifier les taux de recaptures et les taux de croissances.

9.2.1 Recapture d'anguilles marquées jusqu'à + 6 ans pour les projets ERDRE

Sur l'Erdre, trois projets de repeuplement ont été effectués, en 2014, en 2016, puis en 2020. Lors du suivi à 3 ans du projet 2016 (donc en 2019), des anguilles âgées de 5 ans (provenant donc potentiellement du projet 2014) ont été conservées pour une analyse otolithométrique. Lors du suivi à 6 mois du projet 2020 (donc en 2020), des anguilles âgées de 4 ans (provenant donc potentiellement du projet 2016) et des anguilles âgées de 6 ans (provenant donc potentiellement du projet 2014) ont été conservées pour une analyse otolithométrique.

Dans ces 3 cas, des anguilles marquées des anciens projets ont été recapturées (Tableau 8).

Tableau 8 : Résultat des taux de recaptures d'anguilles marquées lors des suivis sur l'Erdre (COREPEM)

| | PROJET 2014 | PROJET 2016 | PROJET 2020 |
|--|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Taux d'anguilles marquées lors du repeuplement | 30 % | 36 % | 29 % |
| Taux de recapture d'anguilles marquées à + 6 mois | 28,3 % 15 ang / 53 étudiées | 22,4 % 11 ang / 49 étudiées | 26 % 13 ang / 50 étudiées |
| Taux de recapture d'anguilles marquées à + 1 an | 36,4 % 20 ang / 55 étudiées | 37 % 17 ang / 46 étudiées | 13 % 6 ang / 46 étudiées |
| Taux de recapture d'anguilles marquées à + 3 ans | 20 % 7 ang / 35 étudiées | 34,4 % 11 ang / 32 étudiées | / |
| Taux de recapture d'anguilles marquées à + 4 ans | / | 23,1 % 9 ang / 39 étudiées | / |
| Taux de recapture d'anguilles marquées à + 5 ans | 4,7 % 2 ang / 43 étudiées | / | / |
| Taux de recapture d'anguilles marquées à + 6 ans | 27,3 % 9 ang / 33 étudiées | / | / |

La recapture d'anguilles marquées au-delà des 3 ans de suivi a permis de constater que les taux de recapture restent du même ordre. Cette observation indique donc une faible dilution de la population d'anguilles en place et qui provient du repeuplement, avec des anguilles potentiellement issues d'un recrutement naturel. La poursuite de certains suivis au-delà de 3 ans permettrait de constater que la population en place serait fortement impactée en l'absence de repeuplement.

9.2.2 Recapture d'anguilles marquées jusqu'à + 9 ans pour le projet CREUSE 2013

Sur la Creuse, deux projets ont été effectués, l'un en 2013 et l'autre en 2019. Lors du suivi à 1 an du projet 2019 (donc en 2020), des anguilles âgées de 7 ans (provenant donc potentiellement du projet 2013) ont été conservées pour une analyse otolithométrique. Lors du suivi à 3 ans du projet 2019 (donc en 2022), des anguilles âgées de 9 ans (provenant donc potentiellement du projet 2013) ont été conservées pour une analyse otolithométrique.

Dans ces deux cas, des anguilles marquées du projet 2013 ont été recapturées

(Tableau 9).

Tableau 9 : Résultat des taux de recaptures d’anguilles marquées provenant du projet CREUSE 2013 (COREPEM)

| | PROJET 2013 |
|--|--------------------------------|
| Taux d’anguilles marquées lors du repeuplement | 30 % |
| Taux de recapture d’anguilles marquées à + 6 mois | 18,8 % 9 ang / 48 étudiées |
| Taux de recapture d’anguilles marquées à + 1 an | 22,2 % 12 ang / 54 étudiées |
| Taux de recapture d’anguilles marquées à + 3 ans | 47 % 16 ang / 34 étudiées |
| Taux de recapture d’anguilles marquées à + 7 ans | 21,4 % 3 ang / 14 étudiées |
| Taux de recapture d’anguilles marquées à + 9 ans | 33,3 % 2 ang / 6 étudiées |



Figure 18 : Anguille marquée de 545 mm recapturée sur la Creuse en 2022 et provenant du repeuplement 2013 (COREPEM)

Bien qu’il ne s’agisse que de 2 anguilles, la recapture d’anguilles marquées de 9 ans sur la Creuse a permis de confirmer l’apport du repeuplement 2013 à la densité d’anguilles en place sur la Creuse. En effet, au vu des taux de recaptures d’anguilles marquées à + 7 ans et + 9 ans, la dilution avec des anguilles de la cohorte 2013 issues d’un recrutement naturel apparait faible pour l’aval de la Creuse, pourtant accessible depuis l’estuaire de la Loire sans obstacle migratoire.

9.3 Taux de croissance et détermination des cohortes cible

Il est difficile de cibler précisément les cohortes d’âge chez l’Anguille européenne. En effet, les taux de croissance varient fortement à l’échelle interindividuelle et populationnelle. La température (liée à la situation géographique, aux caractéristiques hydro-morphologiques et à la saison), la disponibilité alimentaire, le stress et la qualité du milieu interagissent fortement sur la croissance.

Ainsi, bien que l’Appel à projet préconise des tailles cibles « individus inférieurs ou égal de 110 mm à 6 mois, individus de 110 à 150 mm à un an et 190 à 240 mm à trois ans », l’évolution des cohortes

étudiées au fil des projets démontre la très grande variabilité des taux de croissances en fonction des individus et des bassins versants.

9.3.1 Croissance lente : Exemple des projets LYS 2016 et SEVRE NANTAISE 2018

Pour certains projets, des croissances particulièrement lentes ont été observées.

Tableau 10 : Résultat des taux de croissances pour des projets à « croissance faible » (CRPMEM)

| | Taille MIN | Taille MOY | Taille MAX |
|---|------------|------------|------------|
| Anguilles 1+ du projet SEVRE NANTAISE 2018 (9 anguilles) | 82 mm | 97 mm | 106 mm |
| Anguilles 3+ du projet LYS 2016 (8 anguilles) | 113 mm | 129 mm | 153 mm |

Dans le cas de la sèvre Nantaise, on observe une taille des anguilles à 1 an comprise entre 82 mm et 106 mm, soit 97 mm en moyenne, en dessous des tailles cibles à rechercher (> 110 mm).

Pour la Lys, on retrouve une taille moyenne à 3 ans de 129 mm, avec des anguilles de taille comprise entre 113 mm et 153 mm. Ici aussi, on est bien en dessous de la cohorte cible théorique recommandée (190 mm / 240 mm).

9.3.2 Croissance forte : Exemple des projets ERDRE 2016 et ORNE 2018

Les croissances observées sur d'autres projets sont plutôt importantes.

Tableau 11 : Résultat des taux de croissances pour des projets à « croissance importante » (CRPMEM)

| | Taille MIN | Taille MOY | Taille MAX |
|---|------------|------------|------------|
| Anguilles 0+ du projet ORNE 2018 (40 anguilles) | 79 mm | 105 mm | 128 mm |
| Anguilles 3+ du projet ERDRE 2016 (11 anguilles) | 189 mm | 230 mm | 270 mm |

Pour l'Orne, sur 40 anguilles marquées recapturées à 6 mois, 14 soit 35 % ont une taille supérieure à 110 mm. On occulte donc une partie importante des anguilles repeuplées en ne s'intéressant qu'aux poissons de taille inférieure à 110 mm. Dès le suivi à 6 mois, on peut donc avoir une vision erronée et limitée sur l'appréciation de l'efficacité d'un projet.

Dans le cas de l'Erdre, on observe une taille moyenne des anguilles marquées à 3 ans proche de la limite haute (240 mm) et surtout, plusieurs anguilles dépassent cette taille. Il est possible qu'en ayant conservé des anguilles de taille encore plus importante, certaines auraient aussi été marquées.

9.3.3 Variabilité importante de distribution des tailles : Exemple des projets CREUSE 2013 ET BRETAGNE 2021

La variabilité des croissances entre individus d'un même projet s'illustre parfaitement en s'intéressant à la distribution en taille des anguilles marquées recapturées, grâce aux données accumulées dans le cadre des projets ou les cohortes ciblées ont été plus larges.

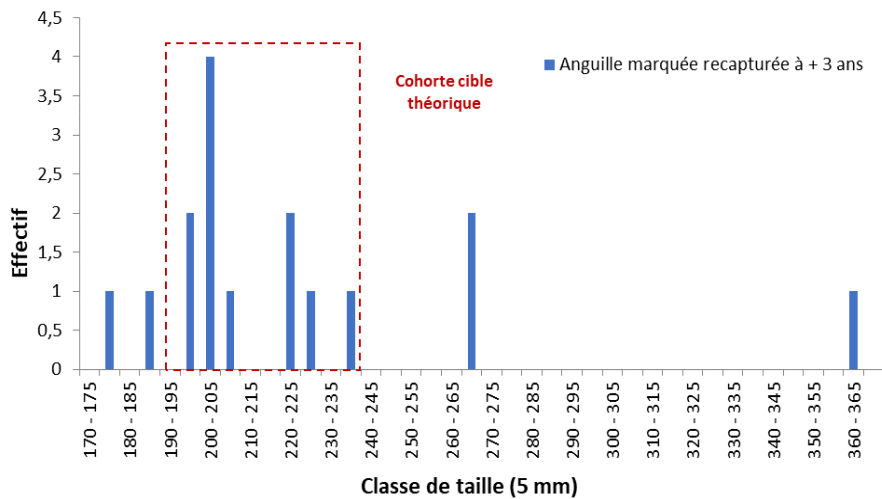


Figure 19 : Distribution des classes de tailles des anguilles marquées à 3 ans sur la Creuse pour le projet 2013 (CRPMEM)

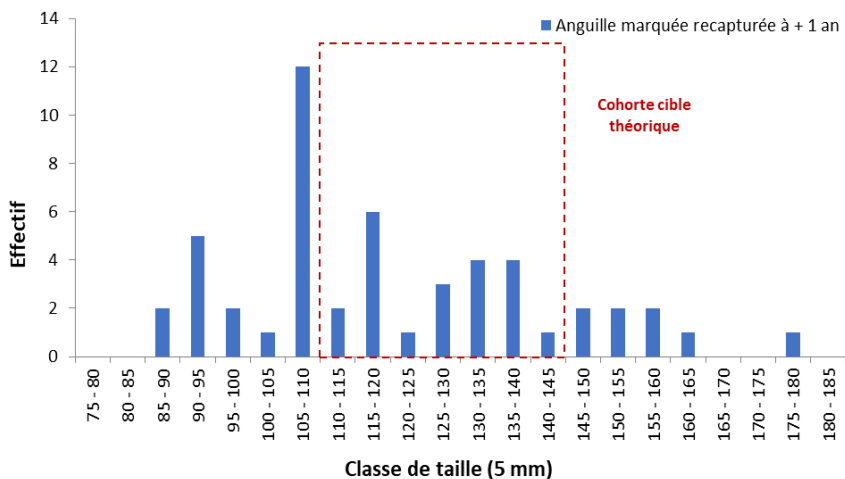


Figure 20 : Distribution des classes de tailles des anguilles marquées à 1 an sur le canal de Nantes à Brest pour le projet 2021 (CRPMEM)

Ces deux exemples illustrent bien la forte variabilité des taux de croissance observée. La recherche d'anguilles d'une cohorte « cible » afin d'évaluer l'efficacité des opérations de repeuplement induit indéniablement une recherche sélective des individus, avec de fortes probabilités d'exclure du champ d'analyse une partie du contingent provenant de l'opération.

Bibliographie

- ADAM G., FEUNTEUN E., PROUZET P., RIGAUD C., 2008. L'anguille européenne, Indicateurs d'abondance et de colonisation, éditions Quae, 393 p.
- BEAULATON, L., & BRIAND, C. 2007. Effect of management measures on glass eel escapement. ICES Journal of Marine Science, 64(7): 1402-1413.
- BELLIARD, J., DITCH, J.M., ROSET, N., DEMBSKI, S. 2012. GUIDE PRATIQUE DE MISE EN OEUVRE DES OPERATIONS DE PECHE A L'ELECTRIQUE. Dans le cadre de reseaux de suivi des peuplements de poissons. ONEMA
- BERG, S., & JORGENSEN, J. 1994. Stocking experiments with 0+ eel (*Anguilla anguilla*) in Danish streams: post-stocking movements, densities and mortality. In I. G. Cowx. Blackwell Scientific (Ed.), Rehabilitation of Freshwater Fisheries: 314-325. Oxford.
- BISGAARD J., et PEDERSEN, M., 1991. Mortality and growth of wild and introduced cultured eels (*Anguilla anguilla* (L.)) in a Danish stream, with special reference to a new tagging technique. Dana, 9: 57-69.
- BOURILLON B., BODIN M., ACOU A., VIRAG LS., TRANCART., BOISNEAU., FEUNTEUN E., 2022. Suivi et estimation du flux d'échappement des anguilles argentées de la Loire fluviale de 2017 à 2019 et retour d'expériences sur le repeuplement. [Rapport de recherche] Museum National d'Histoire Naturelle, station de Dinard, France. 2021, pp.135.
- BRAMICK U., FLADUNG E., et SIMON J., 2016. Stocking is essential to meet the silver eel escapement target in a river system with currently low natural recruitment. ICES Journal of Marine Science, Volume 73, Issue 1, Pages 91–100.
- BRETELER JGP. Et DEKKER W., 1990. Growth and Production of Yellow Eels and Glass Eels in Ponds. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie. Volume 75, Issue 2, Pages 189-205.
- BRIAND C., BARDONNET, A., & RIGAUD, C. 2008. Connaissances et recommandations scientifiques du Groupe anguille du Groupement d'Intérêt Scientifique sur les Poissons Amphihalins (GIS GRISAM) pour la mise en œuvre française du règlement européen visant à restaurer le stock d'anguille, GRISAM : 57p.
- BRIAND C., SAUVAGET B., BEAULATON L., GIRARD P., VERON V., FATIN D., 2008. Les tamis poussés sont responsables de blessures et de mortalités chez la civelle (*Anguilla anguilla*). 16p.
- CARAGUEL J.M., CHARRIER F., MAZEL V. et FEUNTEUN E. 2014. Mass marking of stocked European glass eels (*Anguilla anguilla*) with alizarin red S. Ecology of Freshwater Fish. doi : 10.1111/eff.12158.
- COWX I.G., 1999. An appraisal of stocking strategies in the light of developing country constraints. Fisheries Management and Ecology, 6:21-34.

Bibliographie

- DEKKER W., 2003a. Status of the European eel stock and fisheries. In: Aida K., Tsukamoto K. and Yamauchi K. (eds.), Eel Biology, Tokyo, Springer-Verlag, 237–254.
- DEKKER W. 2004. Slipping Through Our Hands – Population Dynamics of the European Eel. PhD thesis of Faculty of Science (FNWI) in Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics (IBED).
- DEKKER W., et BEAULATON L., 2016. Faire Mieux Que La Nature? the History of Eel Restocking in Europe. *Environment and History* 22(2):255-300.
- DELAGE N., AZAM D. et BEAULATON L., 2019. ACOR – Apport de Connaissances aux Opérations de Repeuplement en anguille. Rapport de recherche INRA-AFB n°2018_037_03.
- DESPREZ M., CRIVELLI AJ., LEBEL I. MASSEZ G. et GIMENEZ O., 2016. Demographic assessment of a stocking experiment in European eels. *Ecology of Freshwater Fish*. Pages 17-26.
- ESSL K., GASSNER H., SCHABETSBERGER R., JAGSCH A. et KAISER R. 2014. The development of stocked eels (*Anguilla anguilla*) in previously eel-free Austrian Alpine lakes. *Ecology of Freshwater Fish*. Volume 25, Issue 1, Pages 17-26.
- FELIX PM., COSTA JL., MONTEIRO R. et al. 2020. Can a restocking event with European (glass) eels cause early changes in local biological communities and its ecological status? *Global Ecology and Conservation*. Volume 21, e00884.
- JOSSET Q., 2014. Le programme de repeuplement de l'anguille : bilan de trois années de suivi. *Sciences agricoles* 2014.
- KULLMANN B., et THIEL R., 2018. Bigger is better in eel stocking measures? Comparison of growth performance, body condition, and benefit-cost ratio of simultaneously stocked glass and farmed eels in a brackish fjord. *Fish. Res.* 205:132-140.
- LAMBERT, P. 2008. Évaluation des effets possibles de différents niveaux de réduction des impacts sur le temps de restauration du stock d'anguille européenne, Cemagref: 15p.
- MATONDO NB., DELREZ N., BARDONNET A. et VANDERPLASSCHEN A., 2022. A complete check-up of European eel after eight years of restocking in an upland river: Trends in growth, lipid content, sex ratio and health status. *Science of The Total Environment* 807:151020.
- MATONDO NB., SELECK E., DIERCKX A., BENITEZ JP., ROLLIN X. et OVIDIO M., 2019. What happens to glass eels after restocking in upland rivers? A long-term study on their dispersal and behavioural traits. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 29:374-388.
- MORIARTY C. 1982. Stock enhancement in the Irish eel fishery (Documents presented at the symposium on stock enhancement in the management of freshwater fish). Tenu à Budapest du 31 mai au 2 juin 1982 à l'occasion de la douzième session de la CECPI.
- OVIDIO M., TARRAGO-BES F., MATONDO BN., 2015. Short-term responses of glass eels transported from UK to small Belgian streams. *Ann. Limnol. Int. J. Limnol.* 51:219-226.
- PEDERSEN MI., 2009. Does Stocking of Danish Lowland Streams with Elvers Increase European Eel Populations? *American Fisheries Society Symposium* 58:149–156.

Bibliographie

- PLAN DE GESTION ANGUIILLE DE LA FRANCE. Application du règlement R(CE) n°1100/2007 du 18 septembre 2007 : Volet National.
- PODDA C., SABATINI A., PALMAS F. et PUSCEDDU A., 2021. Hard times for catadromous fish: the case of the European eel *Anguilla anguilla* (L. 1758). *Advances in Oceanography and Limnology*, 12(2). doi: 10.4081.
- PRIGGE E., MAROHN L. et HANEL R., 2013. Tracking the migratory success of stocked European eels *Anguilla anguilla* in the Baltic Sea. *Journal of Fish Biology* 82(2):686-99.
- PSUTY I. et DRAGANIK B., 2008. The effectiveness of glass eel stocking in the Vistula Lagoon, Poland. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria* 38(2):103-111.
- RIGAUD C., BEAULATON L., BRIAND C., CHARRIER F., FEUTEUN E. et al., 2015. Le programme français de repeuplement en civelles : bilan des trois premières années de transferts. [Rapport de recherche] Irstea. pp.229.hal-02602580.
- SHIAO JC., LOZYS L., LIZUKA Y. et TZENG WN., 2006. Migratory patterns and contribution of stocking to the population of European eel in Lithuanian waters as indicated by otolith Sr:Ca ratios. *Journal of Fish Biology*, 69:749-769.
- SIMON J. et DORNER H., 2014. Survival and growth of European eels stocked as glass- and farm-sourced eels in five lakes in the first years after stocking *Ecol. Freshw. Fish* 23:40-48.
- WALKER A. et al., 2009. Developing Guidelines for Best Practice in Stocking Eel For Enhancement Purposes. Marine and Fisheries Agency, 63p.
- WESTIN L., 2003. Migration failure in stocked eels *Anguilla Anguilla*. *Marine Ecology Progress Series* 254:307-311.
- WICKSTROM H., WESTIN L. et CLEVESTAM P. 1996. The biological and economic yield from a long-term eel-stocking experiment. *Ecology of Freshwater Fish*. Volume5, Issue3, Pages 140-147.