



HAL
open science

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population du mulot porc (Chelon ramada)

Thibault Dindart, Laurent Beaulaton, Cédric Briand, Jean-Dominique Durand,
Nicolas Jeannot, Eric Rochard

► **To cite this version:**

Thibault Dindart, Laurent Beaulaton, Cédric Briand, Jean-Dominique Durand, Nicolas Jeannot, et al.. Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population du mulot porc (Chelon ramada). INRAE - EABX; MIAME. 2024. <hal-05376581>

HAL Id: hal-05376581

<https://hal.science/hal-05376581v1>

Submitted on 21 Nov 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population du mulet porc (*Chelon ramada*)

Rapport final

Thibault DINDART ^{1,3}

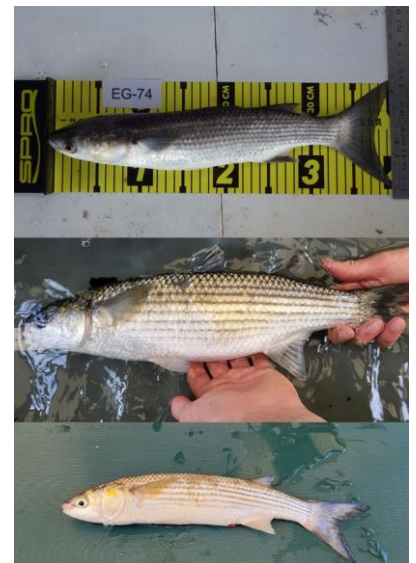
Laurent BEAULATON ^{2,3}

Cédric BRIAND ⁴

Jean-Dominique DURAND ⁵

Nicolas JEANNOT ^{3,6}

Eric ROCHARD ^{1,3}



**1 INRAE, UR Ecosystèmes Aquatiques et Changements
Globaux (EABX) Cestas, France**

**2 Service Conservation et gestion durables des espèces
exploitées, Direction de la recherche et de l'appui
scientifique, OFB, U3E Rennes, France**

**3 Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur
Environnement, OFB, INRAE, Institut Agro, UNIV PAU &
PAYS ADOUR/E2S UPPA**

4 Eaux et Vilaine. La Roche-Bernard, France

**5 UMR Marine Biodiversity, exploitation & Conservation
(MARBEC), Montpellier, France**

**6 INRAE, Unité expérimentale d'écologie et
d'écotoxicologie aquatique (U3E), site atelier du Scorff,
Pont Scorff, OFB, France**

(Décembre – 2024)

- **AUTEURS**

Thibault DINDART, ingénieur contractuel, INRAE UR EABX Cestas, France, pôle OFB, INRAE, Institut Agro, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA MIAME
thibault.dindart@inrae.fr

Laurent BEULATON chef du pôle MIAME, Service Conservation et gestion durables des espèces exploitées, Direction de la recherche et de l'appui scientifique, OFB, U3E Rennes, France

Cédric BRIAND, Eaux et Vilaine. La Roche-Bernard, France, pôle OFB

Jean-Dominique DURAND, directeur de recherches IRD, UMR MARBEC, Montpellier, France

Nicolas JEANNOT, ingénieur d'études INRAE, UE, U3E, Pont Scorff, OFB, France, pôle OFB, INRAE, Institut Agro, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPAMIAME,

Éric ROCHARD, directeur de recherches INRAE, UR EABX Cestas, France, pôle OFB, INRAE, Institut Agro, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPAMIAME
eric.rochard@inrae.fr

Droits d'usage : [Accès libre]

Niveau géographique : [National]

Couverture géographique : [France]

Niveau de lecture : [Experts]

Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population du mulot porc (*Chelon ramada*) 2/74

- **IDENTIFICATION ET DISTRIBUTION DES MUGILIDES DE FRANCE ET DYNAMIQUE DE POPULATION DU MULET PORC (*Chelon ramada*), THIBAUT DINDART, LAURENT BEULATON, CEDRIC BRIAND, JEAN-DOMINIQUE DURAND, NICOLAS JEANNOT, ÉRIC ROCHARD**

- **RESUME**

En France métropolitaine, six espèces de mugilidés sont actuellement recensées, dont le mulot porc (*Chelon ramada*). Toutefois, les connaissances sur l'écologie de cette famille demeurent limitées, elles compliquent ainsi la mise en place de mesures de gestion durable adaptées. Dans le cadre de la seconde phase du projet "MULET", ce rapport aborde trois problématiques prioritaires : l'identification taxonomique, la distribution géographique et le fonctionnement des populations de mulot porc.

Les résultats mettent en évidence les limites des clés morphologiques actuelles, révélant la nécessité d'intégrer des outils génétiques et des critères morphologiques affinés pour une identification fiable des espèces. L'étude de la répartition géographique montre une grande variabilité régionale, mais soulève également des incohérences, notamment pour le mulot porc, renforçant l'importance de poursuivre les investigations avec des prélèvements ciblés. Enfin, l'analyse comparée des populations dans les bassins de la Vilaine et de la Gironde révèle des dynamiques contrastées, influencées par les spécificités environnementales et anthropiques locales, avec des périodes de reproduction bien définies.

Ce rapport souligne l'importance de réviser les outils d'identification, d'approfondir les études génétiques et de renforcer les inventaires d'ADNe pour améliorer la précision des données. Il met également en avant la nécessité de mobiliser les acteurs locaux et d'harmoniser les stratégies de gestion au sein des Plans de Gestion des Poissons Migrateurs (Plagepomi). Ces efforts sont essentiels pour garantir la conservation et la valorisation durable des mugilidés, espèces d'intérêt écologique et économique face aux pressions croissantes.

- **MOTS CLES (THEMATIQUES ET GEOGRAPHIQUES)**

Mulets, Identification, Distribution géographique, Traits d'histoire de vie, Écologie, France métropolitaine

- **SOMMAIRE**

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCTION..... | 7 |
| I. VALIDATION GENETIQUE DES CLES D'IDENTIFICATION..... | 9 |
| I.1. MATERIEL ET METHODE | 9 |
| I.1.1. CLES D'IDENTIFICATION RETENUES..... | 9 |
| I.1.2. CHOIX DES SITES..... | 12 |
| I.1.3. PRELEVEMENTS DES ECHANTILLONS..... | 13 |
| I.1.4. PHOTOS MORPHOLOGIQUES | 13 |
| I.1.5. SEQUENÇAGE ET ASSIGNATION GENETIQUE | 14 |
| I.2. RESULTATS ET DISCUSSION | 16 |
| I.2.1. TAUX DE REUSSITE | 16 |
| I.2.2. CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS PRELEVES | 18 |
| I.2.3. CRITERES D'IDENTIFICATION | 19 |
| I.3. CONCLUSION | 20 |
| II. DISTRIBUTION SPATIALE DES DIFFERENTES ESPECES DE MULETS | 20 |
| II.1. ANALYSE EXPLORATOIRE | 20 |
| II.1.1. ORIGINE DES DONNEES..... | 21 |
| II.1.2. MULET PORC (<i>CHELON RAMADA</i>) | 22 |
| II.1.3. MULET LIPPU (<i>CHELON LABROSUS</i>) | 25 |
| II.1.4. MULET DORE (<i>CHELON AURATUS</i>)..... | 28 |
| II.1.5. MULET A GROSSE TETE (<i>MUGIL CEPHALUS</i>) | 30 |
| II.1.6. AUTRES ESPECES | 33 |
| II.1.7. DISCUSSION | 33 |
| II.2. MODELE DE DISTRIBUTION | 34 |
| II.2.1. DONNEES UTILISEES | 35 |
| II.2.2. GENERATION DES ABSENCES..... | 35 |
| II.2.3. PRÉDICTIONS DES MODÈLES | 35 |
| II.2.4. MODELES RETENUS | 37 |

| | |
|---|------------------|
| II.2.5. DISCUSSION | 40 |
| II.3. DISCUSSION SUR LA DISTRIBUTION DES MUGILIDES | 41 |
| <u>III. DYNAMIQUE ET ECOLOGIE DES POPULATIONS DE MULET PORC DE LA VILAINE ET DE L'ESTUAIRE DE LA GIRONDE</u> | <u>41</u> |
| III.1. ORIGINE DES DONNEES..... | 43 |
| III.2. TRAITEMENT PREALABLE ET PRECISION DES MESURES | 43 |
| III.3. INDIVIDUS ECHANTILLONNES..... | 44 |
| III.4. ÉVOLUTION DES EFFECTIFS DES DIFFERENTS STADES | 44 |
| III.5. MIGRATION DE REPRODUCTION..... | 48 |
| III.6. STRUCTURE EN TAILLE | 49 |
| III.7. ÉVOLUTION DES POPULATIONS | 52 |
| III.8. CONCLUSION | 54 |
| <u>IV. CONCLUSION</u> | <u>56</u> |

Introduction

En France métropolitaine, six espèces de mugilidés sont actuellement recensées : le mulot porc (*Chelon ramada*), le mulot lippu (*Chelon labrosus*), le mulot doré (*Chelon auratus*), le mulot à grosse tête (*Mugil cephalus*), le mulot sauteur (*Chelon saliens*) et le mulot labeon (*Oedalechilus labeo*). Cependant, les connaissances sur l'écologie du mulot porc, et plus largement sur cette famille, demeurent limitées. Cette méconnaissance complique le développement de mesures efficaces pour la gestion durable de leurs populations. La synthèse menée lors de la première phase de ce projet a mis en évidence plusieurs lacunes majeures, notamment en ce qui concerne l'identification des espèces, leur répartition géographique sur le territoire métropolitain et les dynamiques des populations locales de mulot porc (Dindart et al., 2024).

Par ailleurs, une diminution localement marquée de son abondance, couplée à l'augmentation de sa valeur commerciale, notamment dans le secteur de la restauration, renforce la nécessité de disposer de bases plus solides pour sa gestion. Certains Plans de Gestion des Poissons Migrateurs (Plagepomi) intègrent d'ores et déjà cette espèce, mais une meilleure compréhension de son écologie demeure indispensable pour harmoniser les stratégies de conservation à plus grande échelle.

Ce document présente la phase 2 du projet, qui vise à répondre à trois grandes problématiques identifiées comme prioritaires lors de la phase précédente :

1. L'identification taxonomique : les fortes similitudes morphologiques entre les espèces de mulots rendent leur identification complexe, compromettant la fiabilité des données issues des captures et des observations. Cette partie a pour but de tester la validité des clés d'identification disponibles. L'objectif étant de pouvoir recommander aux différents acteurs (FDAAPPMA, pêcheurs professionnels, scientifiques, Associations migrateurs, criées, ONG...) des outils d'identification morphologiques simples mais fiables des différentes espèces de mulot.
2. La distribution géographique : la répartition des différentes espèces de mugilidés sur le territoire métropolitain est très mal connue. Sur la base du recueil des informations disponibles, il s'agira de préciser leur distribution et leur utilisation des habitats marins, estuariens et dulçaquicoles. Cette étape vise à identifier les spécificités écologiques propres à chaque espèce.
3. Le fonctionnement des populations de mulot porc : à partir d'un examen des chroniques de données disponibles concernant les populations de *Chelon ramada*, dans les bassins de la Vaine et de la Garonne, nous dégagerons les grands patrons d'évolution spatio-temporelles de ces populations aux

échelles annuelles et interannuelles. Nous tenterons également de mieux cerner leurs périodes de reproduction. La comparaison des données disponibles dans les deux bassins permettra de mesurer et d'interpréter les points communs comme les différences.

Cette seconde phase a pour objectif de fournir des outils, des données robustes, ainsi que des recommandations pratiques pour une meilleure gestion de la famille des mugilidés et plus spécifiquement du mulot porc. Ceci s'adresse notamment aux acteurs impliqués dans les Plans de Gestion des Poissons Migrateurs (Plagepomi).

I. Validation génétique des clés d'identification

Les clés d'identification morphologiques des espèces de poissons sont des outils simples, largement utilisées, par les scientifiques, par les pêcheurs (de loisir ou commerciaux), les associations naturalistes, les bureaux d'études, les fédérations de pêche et les associations migrateurs. C'est pour garantir la qualité des informations recueillies, enregistrées et utilisées par ces acteurs que nous avons procédé à un exercice de confrontation de trois clés d'identification morphologique à une identification génétique. Il est connu que l'identification taxonomique des jeunes mulets (moins de 10 cm) est particulièrement difficile et que cela nécessite l'observation de certains organes internes ; c'est une affaire de spécialistes (Blaber & Crosetti, 2016; Dindart et al., 2024; Gautier & Hussenot, 2005). Nous ne nous intéresserons ici qu'à des mulets de plus de 20cm.

La validation des clés d'identification morphologiques a été effectuée à partir d'individus de différentes classes de taille et stade de développement, collectés sur le terrain (campagnes existantes sur l'estuaire de la Gironde et suivi à la station observatoire du Scorff).

Premièrement, les individus ont été identifiés à l'aide des trois clés d'identifications retenues, des photos ont été réalisées puis un petit prélèvement de nageoire (fin clip) a été prélevé pour une identification moléculaire. La clé de l'atlas (Keith, 2020) a été utilisée en post identification dans cet exercice et elle n'apporte pas d'informations supplémentaires pertinentes par rapport aux autres clés testées. Cette approche intégrative a pour but d'identifier les caractères morpho-anatomiques diagnostiques des espèces de la famille des Mugilidés présentes en France métropolitaine et de proposer des recommandations quant aux clés morphologiques disponibles.

I.1. Matériel et méthode

I.1.1. Clés d'identification retenues

Un travail de recensement des différentes clés d'identification disponible a été réalisé dans le premier rapport. À l'issue de ce travail, trois clés ont été retenues, celles de l'IFREMER (Figure 1, Figure 2) ainsi que celle de la Tour du Valat (Figure 3). Ce choix repose sur plusieurs critères : premièrement, les clés de l'IFREMER sont respectivement conçues pour les façades Manche et Atlantique, tandis que celle de la Tour du Valat est adaptée à la façade méditerranéenne. Ce choix nous permet ainsi de couvrir l'ensemble de la France métropolitaine. De plus, ces clés présentent un cortège d'espèces supposées pour chaque zone, comportent un nombre

conséquent de critères et sont particulièrement visuelles, ce qui les rend facilement utilisables.

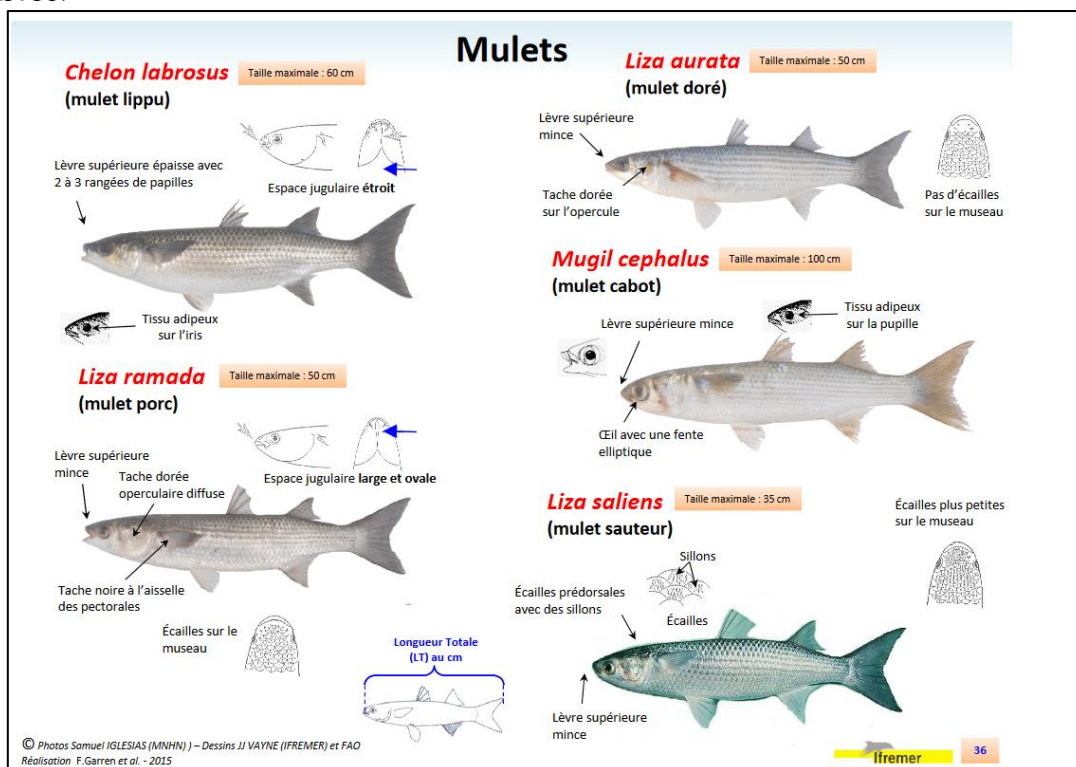


Figure 1 : Clé d'identification de différentes espèces de mugilidés de la façade Manche (Garren et al., 2015)

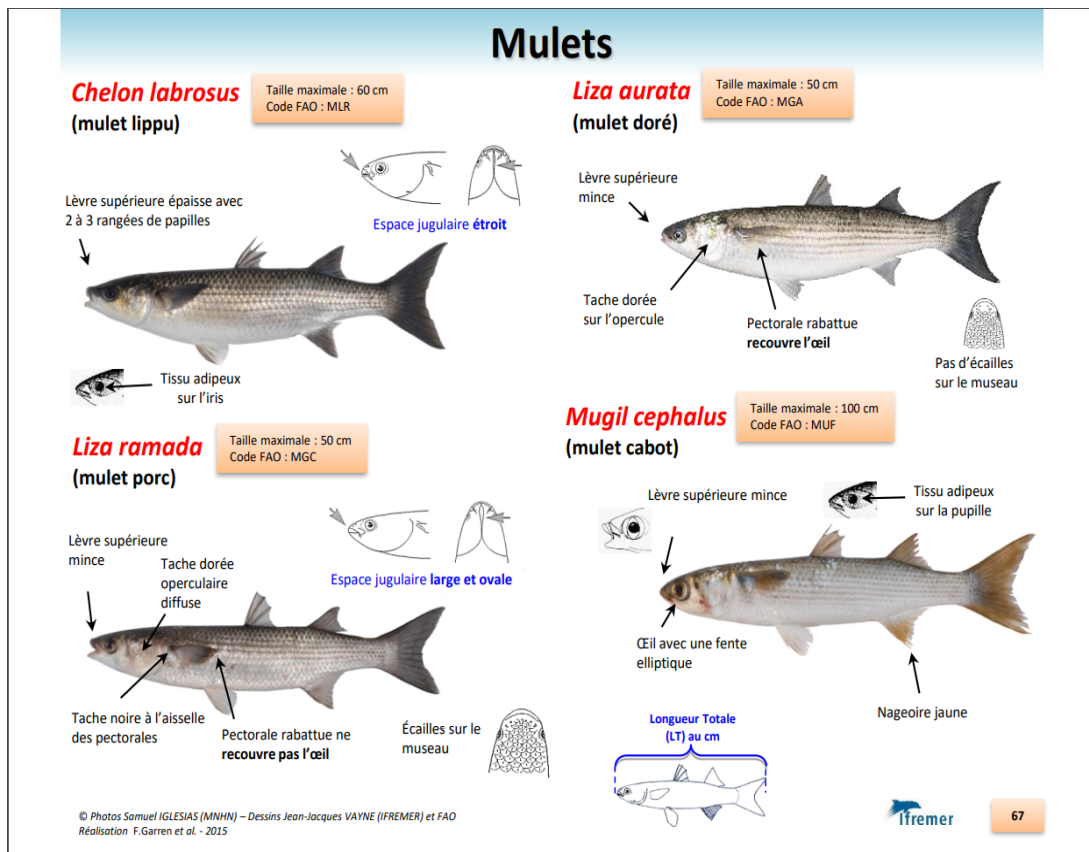


Figure 2 : Clé d'identification de différentes espèces de mugilidés de la façade Atlantique (Garren et al., 2015)

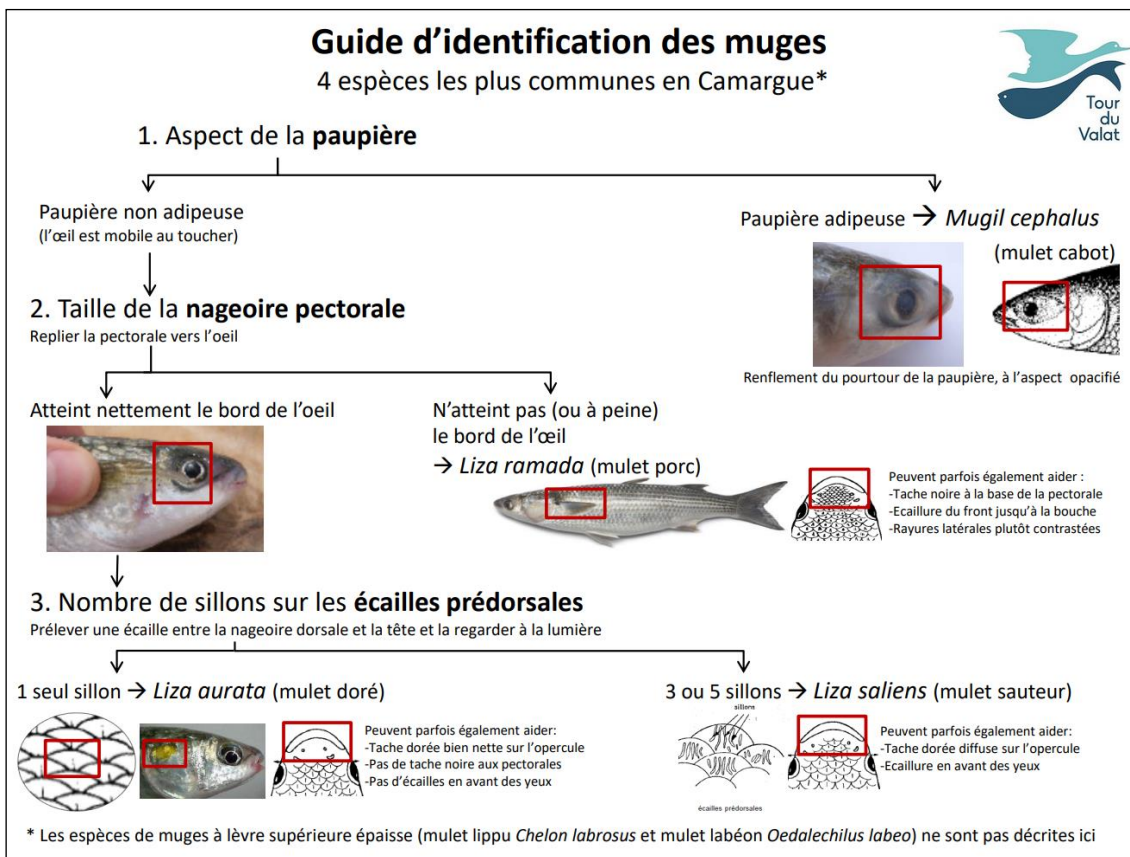


Figure 3 : Clé d'identification des différentes espèces de mulets de Camargue (Nicolas et al., 2021, Tour du Valat)

I.1.2. Choix des sites

Des échantillons de mulets de différentes classes de taille ont été collectés sur le terrain lors de campagnes déjà existantes. Ce choix a été contraint de par la réglementation en vigueur sur l'expérimentation animale qui impose une demande d'autorisation préalable pour le prélèvement de tissu sur des individus vivants. Les 2 sites sélectionnés ont donc été la station observatoire du Scorff au Moulin des Princes ainsi que l'estuaire de la Gironde.

La station du Scorff fonctionne depuis 1994 et se trouve en aval du fleuve à environ 10 km de la rade de Lorient (14km du trait de côte). Elle est située sur le canal d'entrée du Moulin des Princes à Pont-Scorff. Les activités liées au suivi des poissons se déroulent tout au long de l'année. Cette station permet de capturer les poissons migrateurs en montaison et dévalaison. L'échantillonnage des individus de ce site s'est déroulé de juin à août 2024.

Le second site est l'estuaire de la Gironde où les populations estuariennes sont suivies tous les deux mois lors des campagnes STURAT. Ces campagnes d'échantillonnage visant à estimer l'utilisation de l'estuaire par l'esturgeon européen permettent également de disposer des caractéristiques des communautés

piscolles présentes dans la partie aval de l'estuaire. Les individus ont été échantillonnés lors des campagnes STURAT menées en septembre 2023, ainsi qu'en février, mars, juin et juillet 2024.

1.1.3. Prélèvements des échantillons

Chaque individu a été anesthésié après sa capture afin de réduire au maximum le stress lié à sa manipulation. Une fois endormi, il a été mesuré (Longueur fourche et Longueur totale) et une identification spécifique a été réalisée à l'aide des clés précédemment évoquées. Chaque individu a ensuite été pris en photo sous 6 angles (latéralement, latéralement avec la nageoire repliée, vu du dessus, vu de dessous, en face et avec un zoom sur l'œil et la paupière adipeuse). Pour finir, un morceau de nageoire pectorale de taille d'un ongle (1 x 1 cm) a été prélevé sur chaque individu et conservé dans de l'éthanol à 95%.

1.1.4. Photos morphologiques

Chaque individu a été photographié sous plusieurs angles morphologiques prédéfinis, mettant en avant les critères clés d'identification (Figure 4). Ces angles incluent : une vue latérale, une vue latérale avec la nageoire repliée, une vue de dessus, une vue de dessous, une vue frontale, ainsi qu'un zoom sur l'œil et la paupière adipeuse. Ces photographies ont pour objectif de valider, après l'assignation génétique, la pertinence des critères d'identification en procédant à une post-identification.



Figure 4. Exemple des différentes prises de vue effectuées pour chaque individu. © Thibault Dindart INRAE

1.1.5. Séquençage et assignation génétique

Les échantillons génétiques ont été envoyés au laboratoire GenoScreen (Lille, France) pour le séquençage. Une fois les séquences obtenues, un tri a été réalisé afin de supprimer celles qui s'avéraient trop dégradées. Les données brutes ont ensuite servi à générer un arbre phylogénétique, mettant en évidence trois grands groupes correspondant à trois lignées génétiques distinctes.

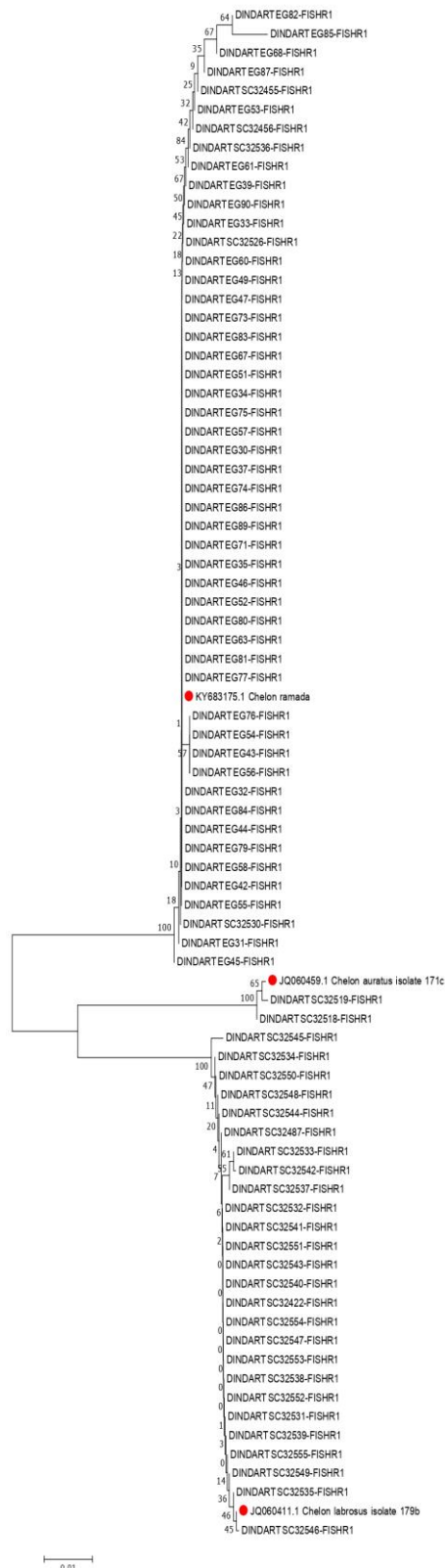


Figure 5 : Arbre phylogénétique obtenu avec les séquences brutes, les points rouges correspondent aux séquences des individus identifié par Durand et al., 2012 et servant de référence spécifique

Un représentant par lignée a été sélectionné, et ses séquences ADN ont été comparées aux données disponibles dans GenBank via un logiciel d'assignation de séquences (BLAST) en utilisant celles recueillies par Durand et al., 2012, (Figure 5). Cette comparaison a permis d'attribuer une espèce à chaque lignée génétique.

1.2. Résultats et discussion

1.2.1. Taux de réussite

Le Tableau 1 présente les résultats de l'étude comparative entre l'identification morphologique (via les clés mentionnées) et génétique (Figure 5 de trois espèces de mugilidés (le mulot porc, le mulot lippu et le mulot doré) capturés sur les deux sites, soit 33 individus pour le Scorff et 72 pour l'estuaire de la Gironde, pour un total de 105 individus. Les résultats montrent des taux de réussite d'identification variables selon les espèces et les sites. Pour le mulot porc et le mulot lippu, l'identification morphologique est très fiable avec un taux de réussite de 100%. Par contre, le mulot doré présente un taux de d'identification beaucoup plus faible (16%) (Figure 6, Tableau 1).

Ces résultats suggèrent que les clés morphologiques ne permettent pas de distinguer les espèces avec précision. En effet, l'identification du mulot doré semble être souvent source d'erreur et il peut être confondu avec les 2 autres espèces, particulièrement avec le mulot lippu. L'efficacité des clés d'identification morphologique varie selon l'espèce et potentiellement selon le contexte géographique.

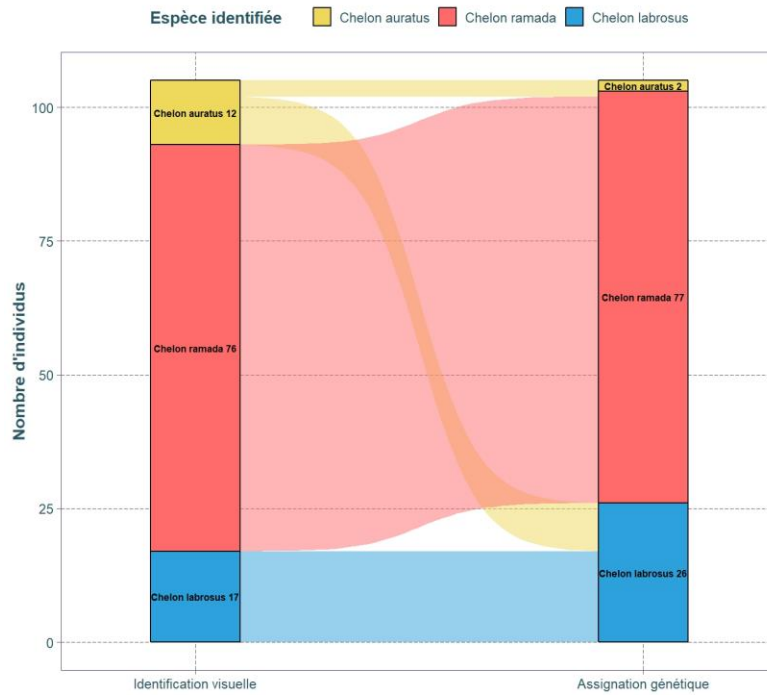


Figure 6 : Résultats généraux de l'étude comparative entre l'identification morphologique (via des clés) et génétique de trois espèces de mugilidés du Scorff et de la Gironde : le mulot porc (*Chelon ramada*), le mulot lippu (*Chelon labrosus*) et le mulot doré (*Chelon auratus*)

Tableau 1 : Résultats de l'étude comparative entre l'identification morphologique (via des clés) et génétique de trois espèces de mugilidés : le mulot porc (*Chelon ramada*), le mulot lippu (*Chelon labrosus*) et le mulot doré (*Chelon auratus*) sur le Scorff (haut), l'estuaire de la Gironde (milieu) et sur le total (bas)

| Scorff n=33 | | Génétique | | | Taux de réussite |
|------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| | | <i>Chelon ramada</i> | <i>Chelon labrosus</i> | <i>Chelon auratus</i> | 76% |
| Morphologie | <i>Chelon ramada</i> | 4 | 0 | 0 | 100% |
| | <i>Chelon labrosus</i> | 0 | 17 | 0 | 100% |
| | <i>Chelon auratus</i> | 1 | 9 | 2 | 16% |
| Taux de réussite | | 80% | 65% | 100% | |

| Gironde n=72 | | Génétique | | | Taux de réussite |
|------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| | | <i>Chelon ramada</i> | <i>Chelon labrosus</i> | <i>Chelon auratus</i> | 100% |
| Morphologie | <i>Chelon ramada</i> | 72 | 0 | 0 | 100% |
| | <i>Chelon labrosus</i> | 0 | 0 | 0 | |
| | <i>Chelon auratus</i> | 0 | 0 | 0 | |
| Taux de réussite | | 100% | | | |

| Tous n=105 | | Génétique | | | Taux de réussite |
|------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| | | <i>Chelon ramada</i> | <i>Chelon labrosus</i> | <i>Chelon auratus</i> | 91% |
| Morphologie | <i>Chelon ramada</i> | 76 | 0 | 0 | 100% |
| | <i>Chelon labrosus</i> | 0 | 17 | 0 | 100% |
| | <i>Chelon auratus</i> | 1 | 9 | 2 | 16% |
| Taux de réussite | | 99% | 35% | 100% | |

1.2.2. Caractéristiques des individus prélevés

Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population du mulot porc (*Chelon ramada*) 18/74

La Figure 7 représente la distribution des tailles (longueur totale) des individus prélevés en fonction des sites pour les 3 espèces échantillonnées. Sur chaque site pris individuellement, compte tenu des effectifs limités, nous ne pouvons pas effectuer de test fiable afin de comparer les différences de tailles entre les espèces.

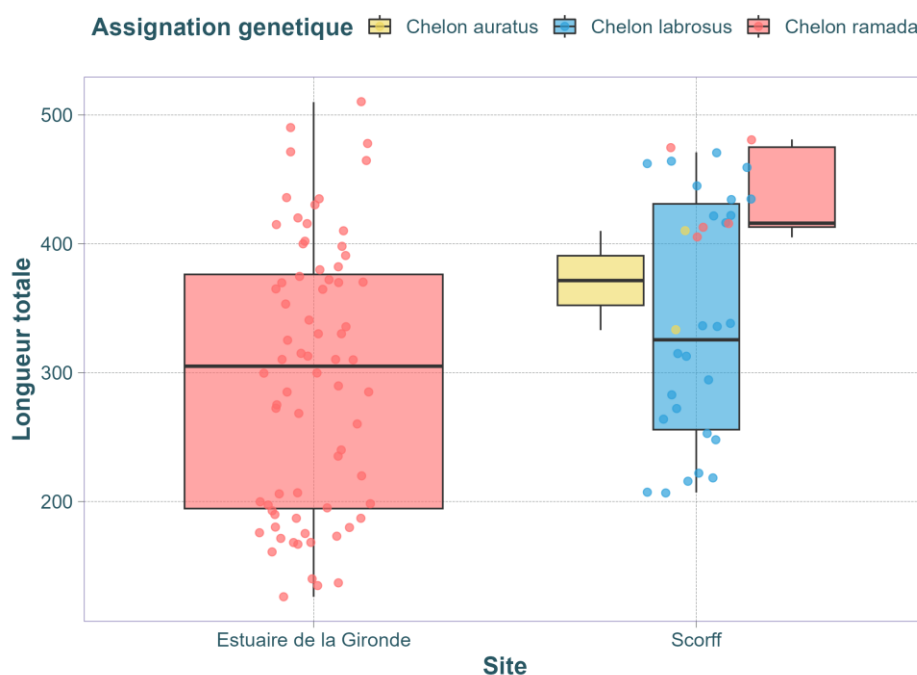


Figure 7 : Distribution des tailles (Longueur totale) des individus prélevés des différentes espèces dans les deux sites (tel qu'assignés par la génétique)

1.2.3. Critères d'identification

Lorsqu'un mulot porc est identifié à l'aide des clés comme un mulot porc, il correspond toujours à cette espèce, telle que déterminée par la génétique (Annexe 1). De même, lorsqu'un mulot lippu est identifié à l'aide des clés comme un mulot lippu, il correspond toujours à cette espèce, telle que déterminée par la génétique (Annexe 2).

Par contre, l'identification du mulot doré reste la plus difficile à réaliser à l'aide des clés d'identification. Parmi les individus identifiés comme des mulots dorés, 75 % se sont avérés être des mulots lippus, 8 % étaient en réalité des mulots porcs et seulement 17 % ont été correctement identifiés (Annexe 3), tel que déterminés par la génétique.

Une post-identification réalisée à partir des photos de chaque individu et des clés d'identification, a permis de déterminer l'origine de ces erreurs. L'identification du mulot doré présente des difficultés liées à des critères absents ou erronés dans les clés d'identification, ainsi qu'à des similitudes avec le mulot lippu. Lorsqu'un mulot lippu est confondu avec un mulot doré, il présente toujours certains critères de ce

dernier : sa nageoire atteint l'œil et il arbore une tache jaune visible. De plus, les caractéristiques propres au mullet lippu, comme un espace jugulaire étroit et des papilles, sont absentes. Enfin, aucune clé ne fait état de tache jaune sur un mullet lippu ce qui est source d'erreur. Le mullet porc, initialement identifié comme un mullet doré, semble correspondre à tous les critères d'identification de *Chelon ramada*. Cette erreur d'identification pourrait être due à une utilisation incorrecte des clés d'identification. Les mullets dorés correctement identifiés semblent présenter presque tous les critères d'identification de l'espèce, cependant leurs écailles atteignent le museau ce qui contredit les clés.

1.3. Conclusion

Ces résultats, concernant uniquement deux sites Atlantique (dont un ne présentait qu'une seule des trois espèces), démontrent que l'identification des mullets, même de grande taille, est plus complexe qu'il n'y paraît. Les trois clés d'identification mentionnées précédemment ont été utilisées simultanément, tandis que la clé de l'Atlas des poissons d'eau douce de France a été appliquée en post-identification, aboutissant aux mêmes résultats. Bien que très détaillées, ces différentes clés ne semblent pas garantir une identification fiable à 100 %. Les confusions s'expliquent par certains critères absents ou erronés dans les clés d'identification, ainsi que par les similitudes importantes entre les espèces.

Il est recommandé de reproduire cette étude à plus grande échelle, en collaboration avec des sites sur les façades Manche et Méditerranée, pour une représentativité accrue. L'obligation de disposer d'une autorisation d'expérimentation animale pour prélever des fragments de nageoire a considérablement compliqué notre démarche, et a entraîné l'absence de prélèvements sur la façade méditerranée. Une révision des clés d'identification, intégrant des critères vérifiés et complétés, ainsi que l'ajout de méthodes comme l'analyse génétique, permettraient de renforcer la précision des identifications.

II. Distribution spatiale des différentes espèces de mullets

II.1. Analyse exploratoire

Les résultats de la phase 1 de ce travail (Dindart et al., 2024), révèlent des captures significatives en milieu marin accompagnées d'une diminution des effectifs observés dans certaines stations de comptage en milieu continental. Toutefois, des incertitudes subsistent quant à l'identification précise des espèces dans les études publiées à ce jour (cf. partie I de ce rapport). En effet, les différentes espèces

présentent de fortes similitudes morphologiques et certaines peuvent probablement cohabiter dans les mêmes environnements. De plus, la bibliographie disponible sur leur répartition n'est pas suffisamment détaillée pour répondre à ces interrogations (Blaber & Crosetti, 2016; Gautier & Hussenot, 2005; Keith, 2020). De ce fait, il nous a paru pertinent de préciser la distribution de ces espèces en France métropolitaine.

L'ensemble des données de distribution auxquelles nous avons pu avoir accès ont été utilisées afin de préciser la répartition de ces espèces dans les différents milieux (marin, eau de transition et eau douce).

II.1.1. Origine des données

Les données de distribution utilisées proviennent : de campagnes d'inventaire à l'électricité, des statistiques de ventes en criée, d'inventaires réalisés dans le cadre de la DCE ainsi que de protocoles ADNe (Figure 8).

La pêche électrique est un moyen efficace pour échantillonner les espèces aquatiques dulçaquicoles. Des protocoles de pêches scientifiques à l'électricité sont réalisés régulièrement par l'Office français de la biodiversité (OFB) et ses partenaires. Ces données sont disponibles sur l'API Poisson qui donne accès aux données de l'outil de gestion « Aspe » opéré par l'OFB. Les données disponibles s'étendent sur une période de 1966 à 2020 avec un total de près de 45 000 opérations de pêche bancarisées réparties sur 6024 stations. Cependant, à partir de 2005, l'approche d'échantillonnage a été adaptée pour augmenter l'efficacité et améliorer la répétabilité de ces protocoles (Tomanova et al., 2013). Par conséquent nous n'avons utilisé que les données postérieures à 2005. Une extraction a été réalisée le 01/10/2024 à l'aide du package « hubeau » sur R.

Les données de déclaration mensuelles de ventes en criées sont issues de VISIONet, un site de FranceAgriMer (<https://visionet.franceagrimer.fr/Pages/accueil.aspx>). Ces données ont été extraites le 18/10/2022, elles comprennent les quantités vendues ainsi que le chiffre d'affaire généré pour chaque criée française. Elles permettent ainsi de rendre compte de la pression de pêche en milieu marin. Elles concernent la période 1994-2022, néanmoins, les différentes espèces ne sont systématiquement distinguées que depuis 2009.

La directive-cadre européenne sur l'eau (DCE) impose aux états membres de suivre la qualité de l'eau, notamment dans les eaux de transitions. Ces campagnes de pêche au chalut à perche et aux verveux concernent les estuaires français pour la période 2005-2024. Ces données de pêches scientifiques dans les estuaires français

sont centralisées dans la base POissons des Masses d'Eau de Transition (POMET) (Lepage et al., 2009).

Les données d'ADNe ont été recensées auprès de partenaires ayant accepté de partager leurs informations, elles sont issues d'échantillonnages basés sur l'approche « Metabarcoding ADNe ». Cette méthode est basée sur l'utilisation de couples d'amorces universels et permet la détection de l'ensemble des espèces d'un groupe cible présentes sur le site étudié. Les fournisseurs de données ont été sélectionnés lorsqu'ils utilisaient des amorces permettant de discerner les différentes espèces de mugilidés et s'ils avaient détecté au moins une de ces différentes espèces. Ces données sont issues d'échantillonnages effectués dans différents milieux (continentaux, estuariens et marins) entre 2016 et 2023, dans le cadre de projets scientifiques ou lors de la mise en place de réseaux de suivis.

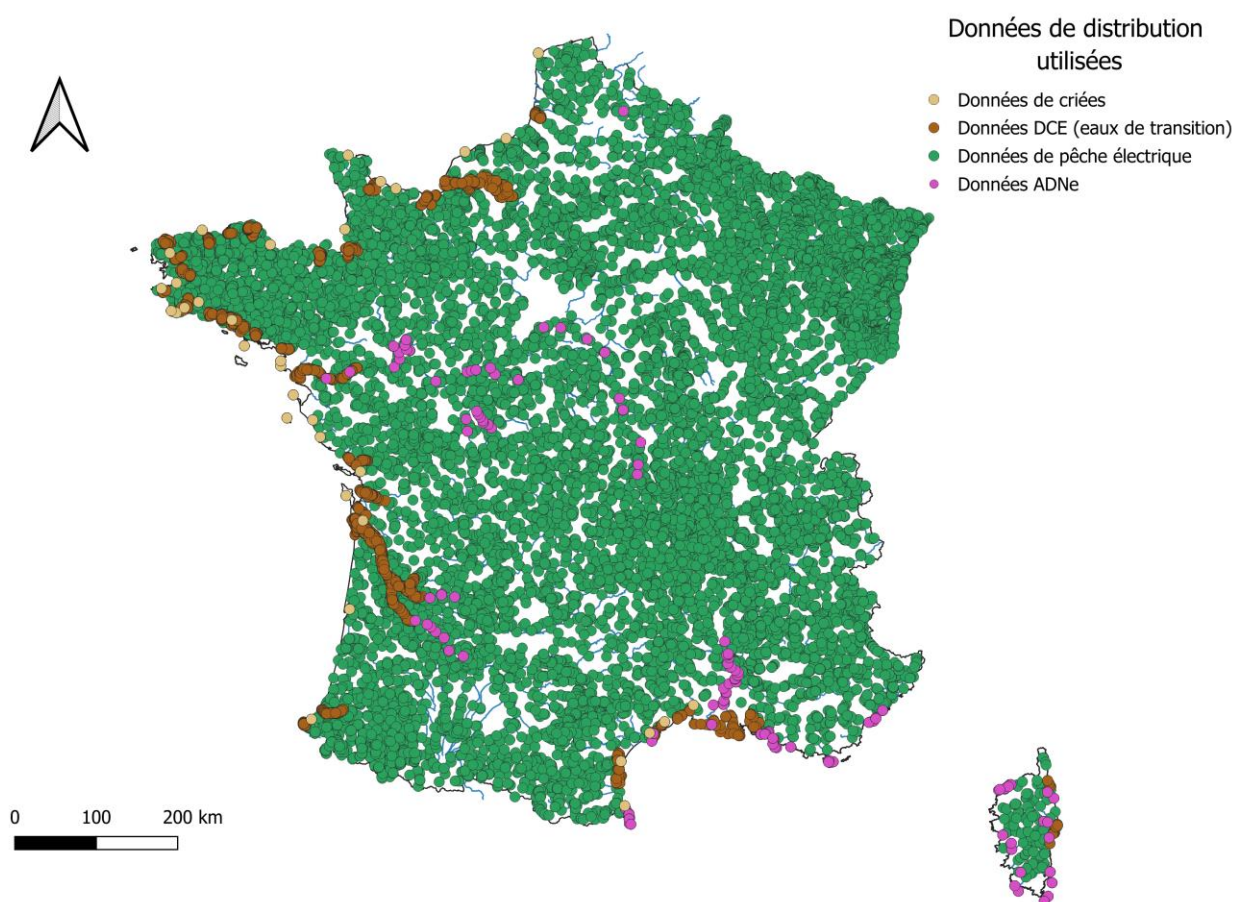


Figure 8 : Localisation des différentes données de distribution utilisées pour étudier la distribution des mugilidés.

II.1.2. Mulet porc (*Chelon ramada*)

Le mulet porc est une espèce fréquemment observée en criée avec des ventes essentiellement localisées sur la façade atlantique (Figure 9). De façon surprenante,

aucune criée méditerranéenne n'a rapporté de vente de cette espèce (Dindart et al., 2024) alors qu'elle est détectée sur cette façade avec l'ADNe.

C'est l'espèce la plus largement distribuée en milieu estuarien et cette tendance est confirmée tant par les inventaires (DCE) que par les données ADNe (Figure 10). Sa présence est constante dans les estuaires des trois façades étudiées (Manche, Atlantique et Méditerranée), soulignant son caractère ubiquitaire en milieu estuarien.

Le mulot porc démontre également une capacité de migration vers les zones amont des bassins fluviaux (Figure 11). En effet, c'est l'espèce la plus communément capturée lors des pêches électriques et la plus fréquemment détectée en ADNe. Son ADN a été détecté jusqu'à Avernès sur l'Allier, le site le plus en amont échantillonné sur ce bassin. Il a également été observé à Bergerac et à Agen sur la Dordogne, ainsi qu'à Bourg-Saint-Andéol sur le Rhône. En revanche, au-delà de ces points, sa présence n'est plus détectée.

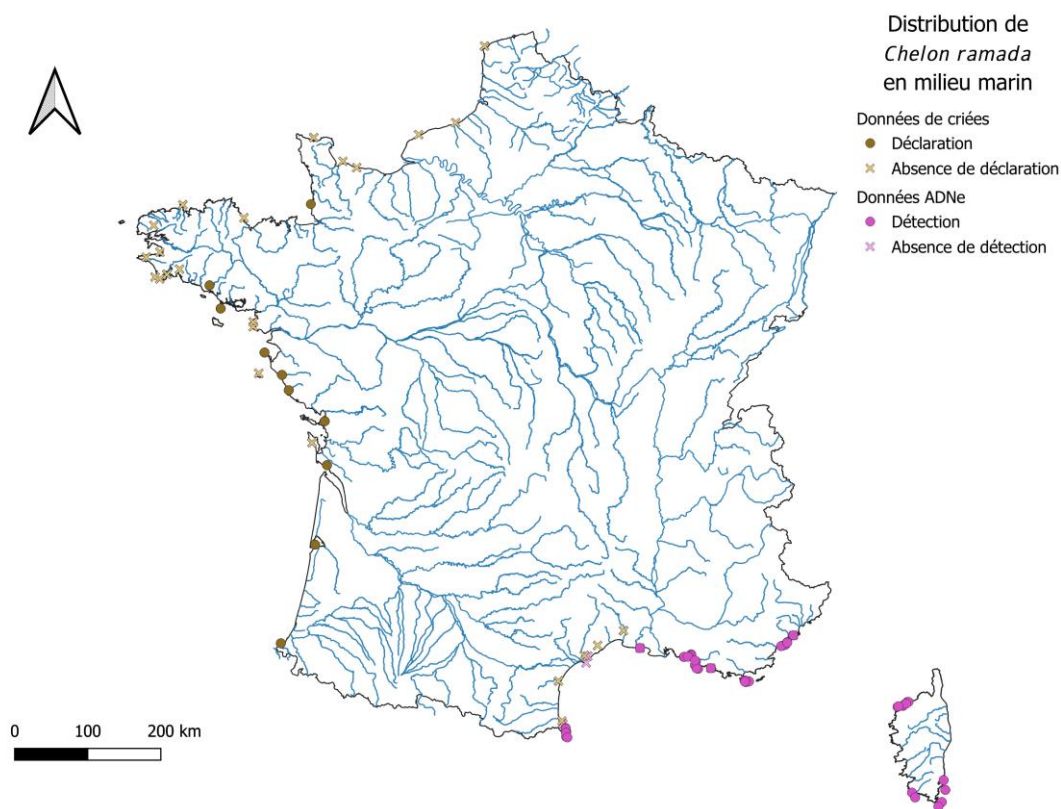


Figure 9 : Mentions indiquant la présence du mulot porc (*Chelon ramada*) en milieu marin

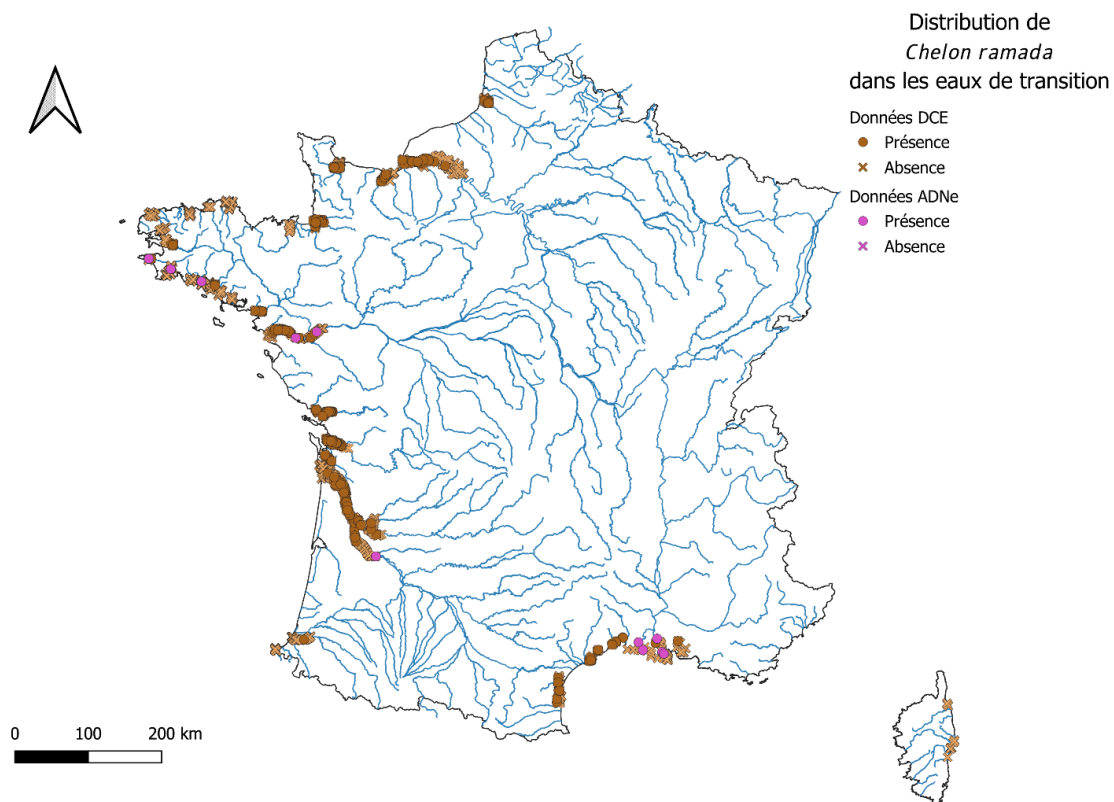


Figure 10 : Mentions indiquant la présence du mulet porc (*Chelon ramada*) dans les eaux de transitions

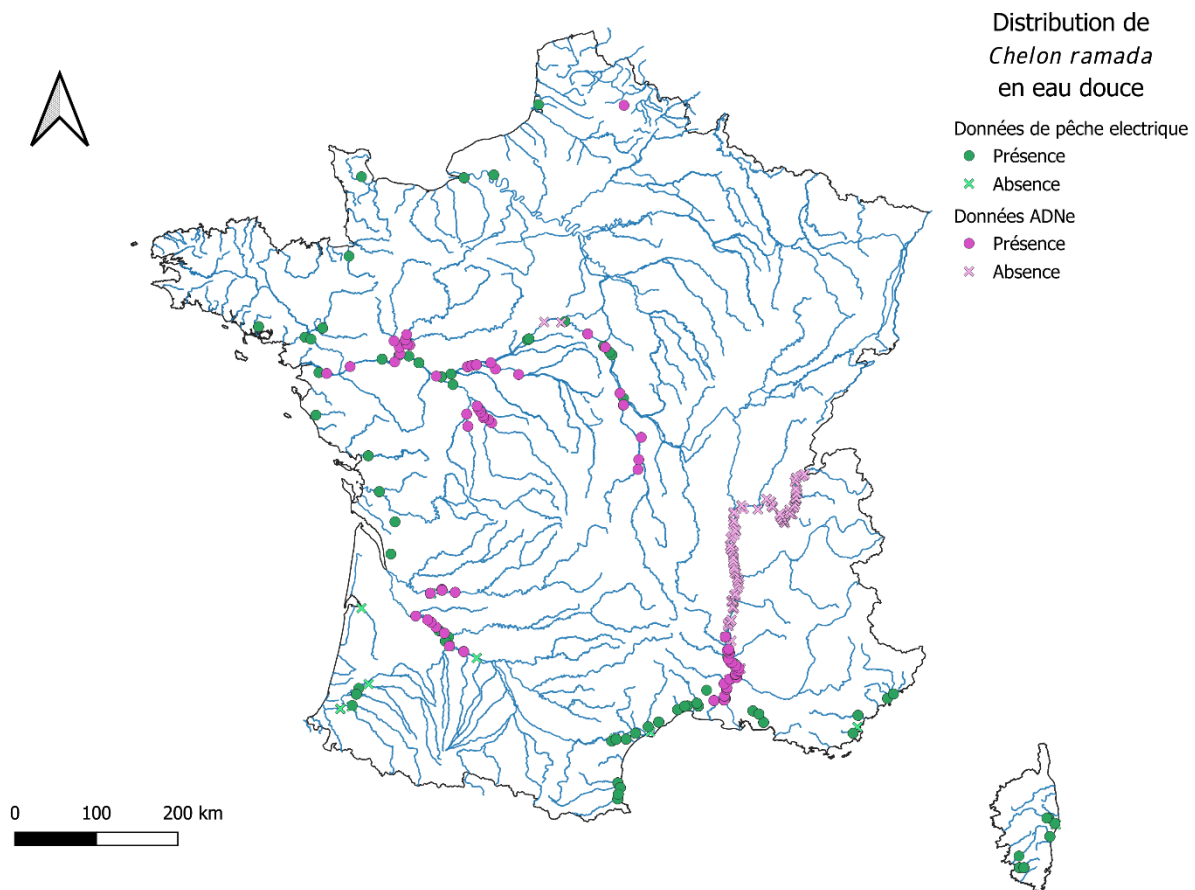


Figure 11 : Mentions indiquant la présence du mulot porc (*Chelon ramada*) en eau douce

II.1.3. Mulet lippu (*Chelon labrosus*)

D'après les données de ventes en criées, le mulot lippu est l'espèce la plus couramment observée en mer, elle est présente sur l'ensemble des façades maritimes étudiées. Les résultats obtenus par les protocoles d'ADNe confirment également sa distribution le long des côtes méditerranéennes, ainsi qu'en Corse (Figure 12).

Cette espèce n'a pas été fréquemment observée lors des inventaires DCE cependant, sa présence est confirmée par l'ADNe dans les estuaires bretons, en Loire ainsi qu'en Camargue (Figure 13).

En eau douce, c'est la deuxième espèce la plus commune lors de pêche électrique et la deuxième la plus détectée par l'ADNe. On constate qu'elle est aussi capable de migration importante dans les zones amont sur la Loire. Cependant, son ADN n'est détecté ni en Garonne, ni en Dordogne, ni sur le Rhône, où pourtant le mulot lippu aurait été échantillonné lors de pêches électriques (Figure 14).

À noter que seules les données de criées mentionnent la présence du mulet lippu au Nord de Brest.

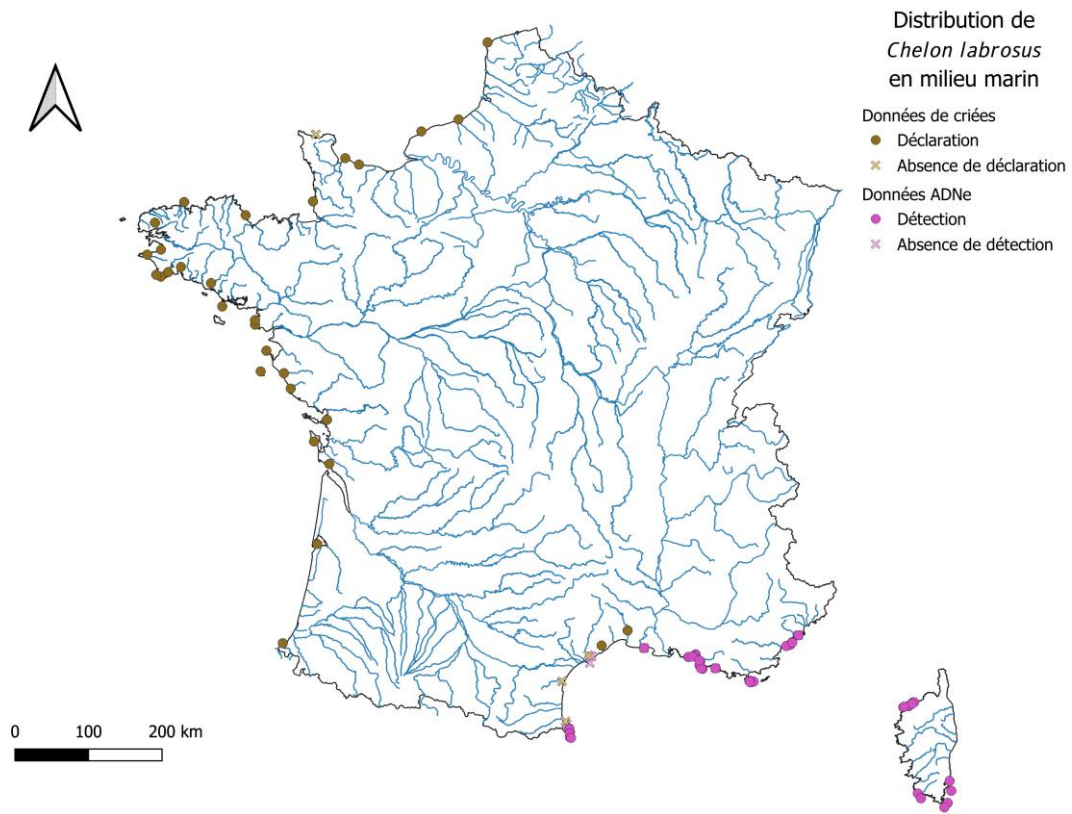


Figure 12 Mentions indiquant la présence du mulet lippu (*Chelon labrosus*) en milieu marin

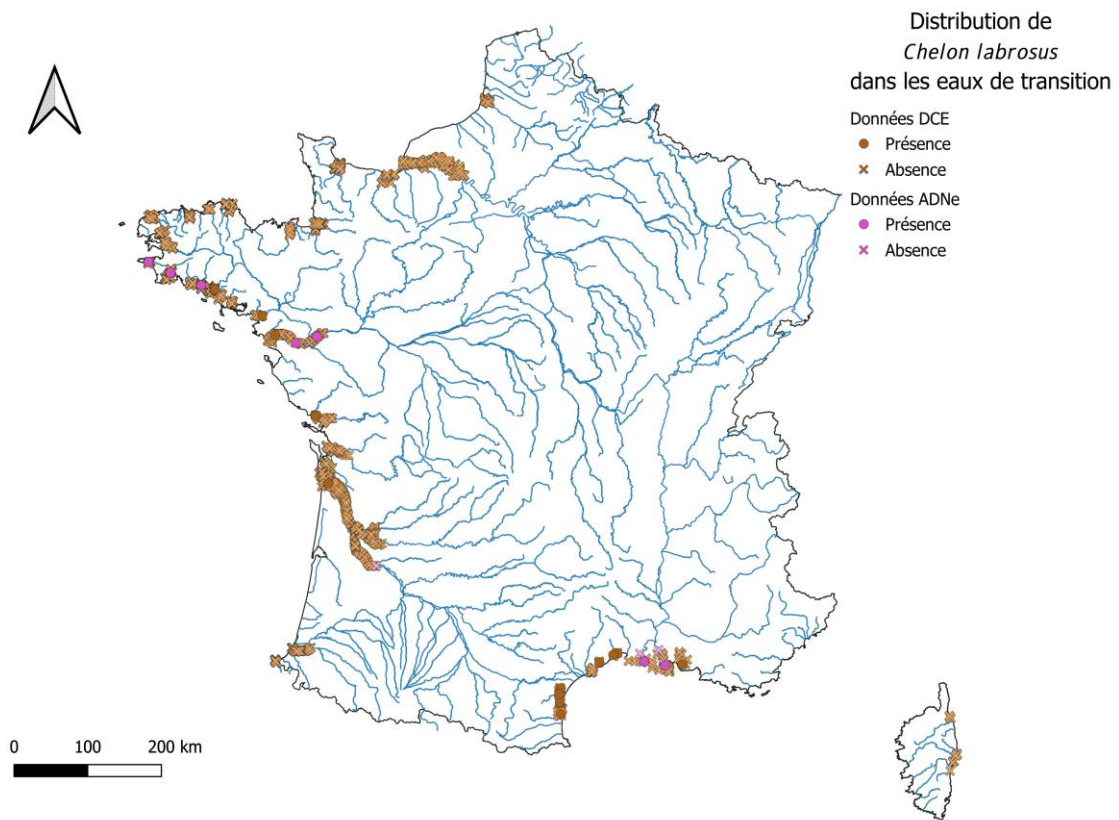


Figure 13 : Mentions indiquant la présence du mulet lippu (*Chelon labrosus*) dans les eaux de transition

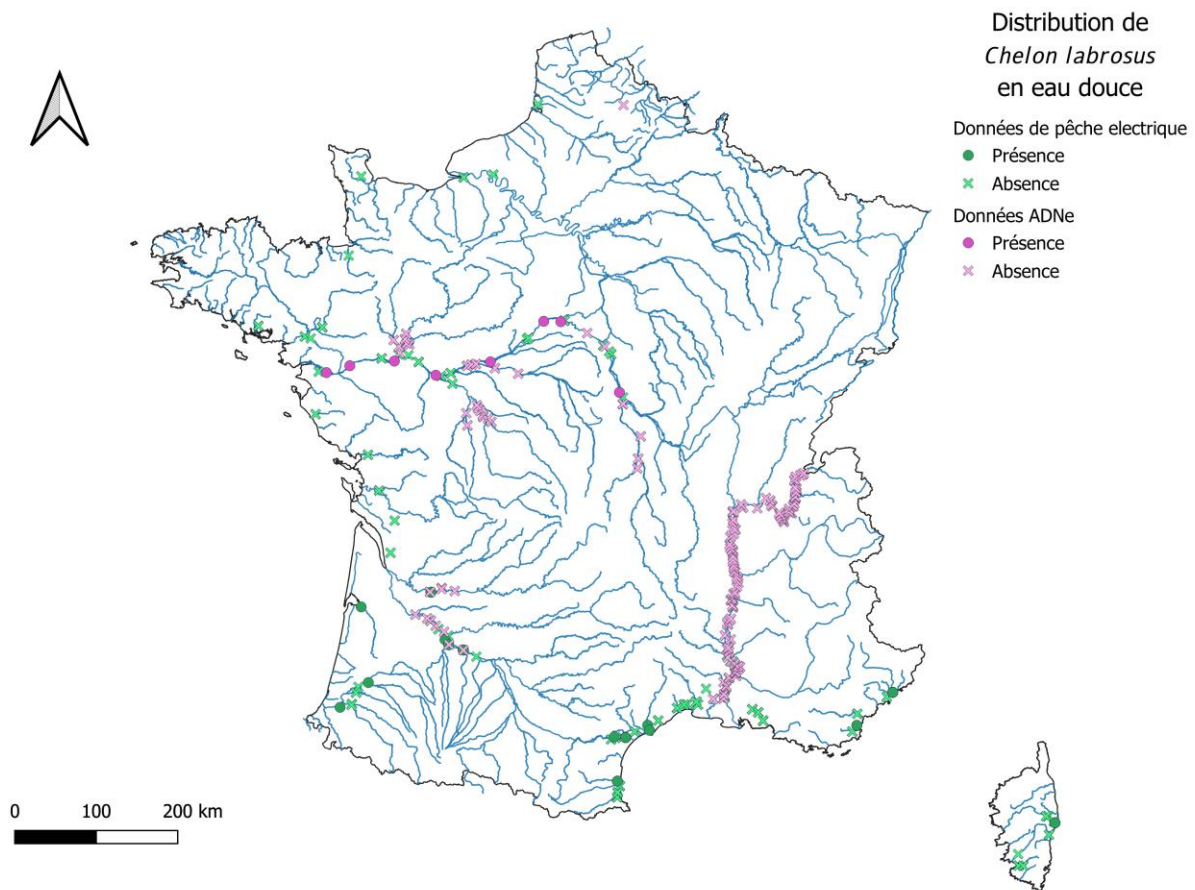


Figure 14 : Mentions indiquant la présence du mulet lippu (*Chelon labrosus*) en eau douce

II.1.4. Mulet doré (*Chelon auratus*)

D'après les données de ventes, le mulet doré est une espèce fréquemment observée en criée, sur l'ensemble des façades maritimes étudiées. Les résultats obtenus par les protocoles d'ADNe confirment sa distribution le long des côtes méditerranéennes, ainsi qu'en Corse (Figure 15).

En milieu estuarien, cette espèce a été fréquemment mentionnée lors des campagnes DCE, cependant, les données ADNe montrent une distribution plus limitée (Figure 16). Il n'est pas détecté en Loire ni en Garonne, mais sa présence est confirmée en Bretagne et en Camargue, indiquant une répartition plus restreinte.

Pour finir, il n'a pas été détecté en eau douce par ADNe, bien qu'il aurait été pêché dans certaines zones aval de la façade méditerranéenne (Figure 17).

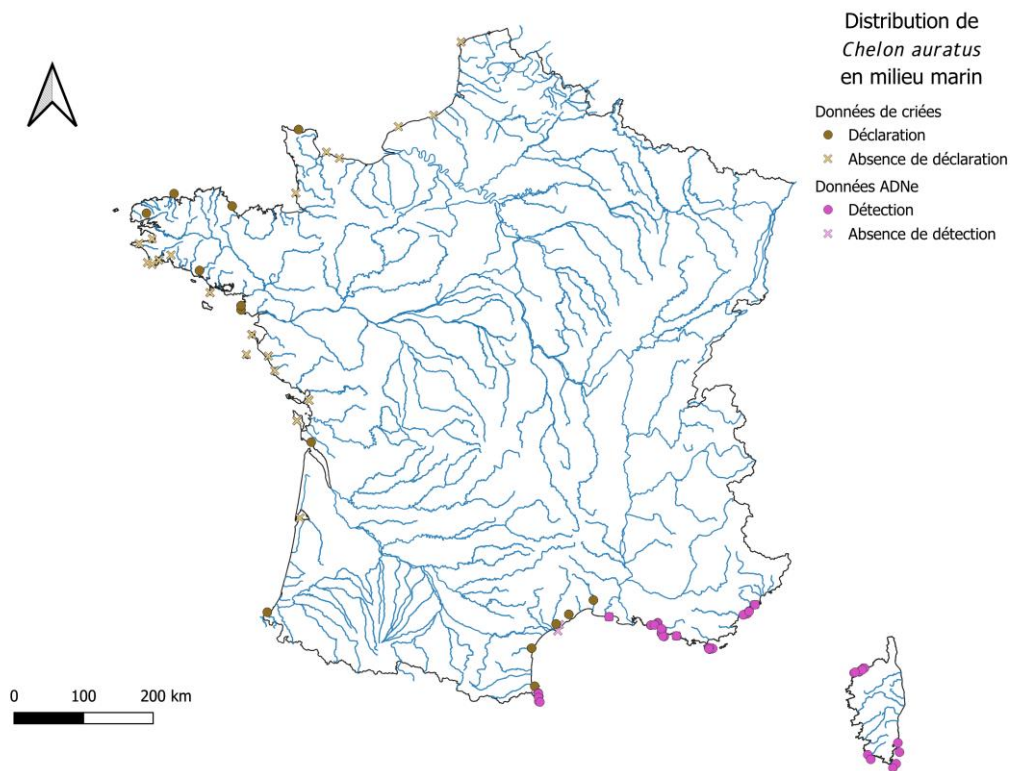


Figure 15 : Mentions indiquant la présence du mulet doré (*Chelon auratus*) en milieu marin

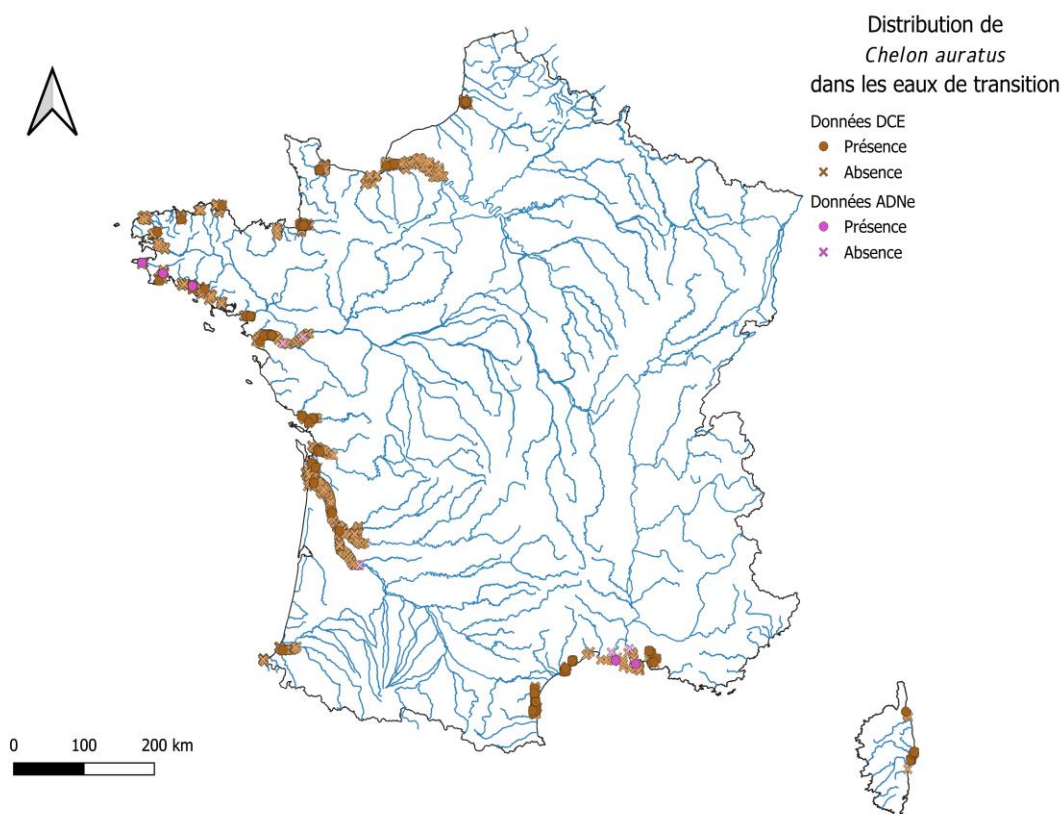


Figure 16 : Mentions indiquant la présence du mulet doré (*Chelon auratus*) dans les eaux de transition

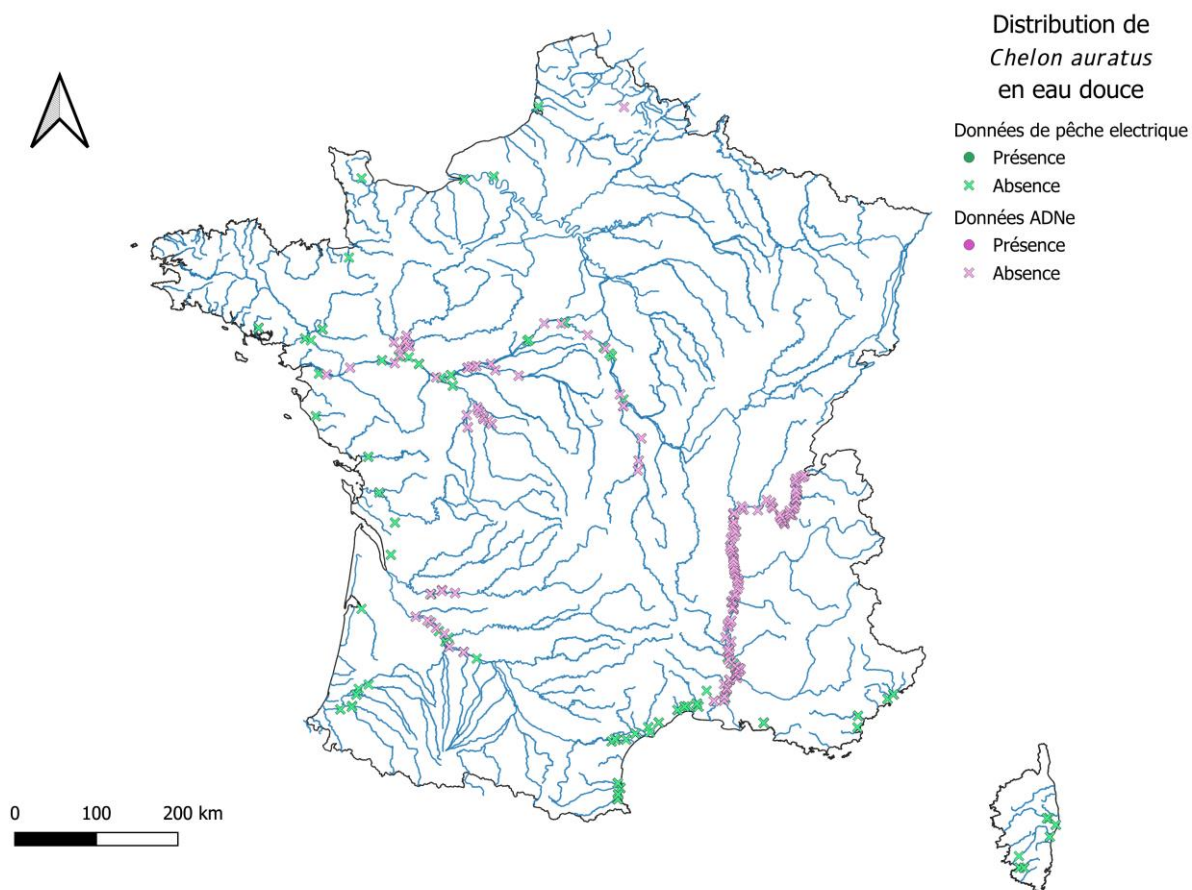


Figure 17 : Mentions indiquant la présence du mulot doré (*Chelon auratus*) en eau douce

II.1.5. Mulet à grosse tête (*Mugil cephalus*)

Le mulot à grosse tête serait l'espèce la moins observée en criée, avec seulement 2 points de vente (La Turballe sur la façade atlantique et Sète sur la façade méditerranéenne) qui la mentionne. Les données issues des protocoles ADNe indiquent que cette espèce est présente le long des côtes méditerranéennes et en Corse (Figure 18).

Il semble que cette espèce soit la moins fréquente en estuaire, en effet, elle a été observée exclusivement en Méditerranée où sa présence est confirmée par l'ADNe en Camargue (Figure 19).

Le mulot à grosse tête semble capable de migration jusqu'à des zones aval comme sur le Rhône où il a été détecté par ADNe. Il n'est mentionné que de façon plus anecdotique, en pêche électrique au sud de la façade Atlantique (Figure 20).

De plus, le mullet à grosse tête a également été pêché puis identifié de manière anecdotique lors de plusieurs campagnes de pêche scientifique menées par l'unité EABX durant l'hiver 2024.

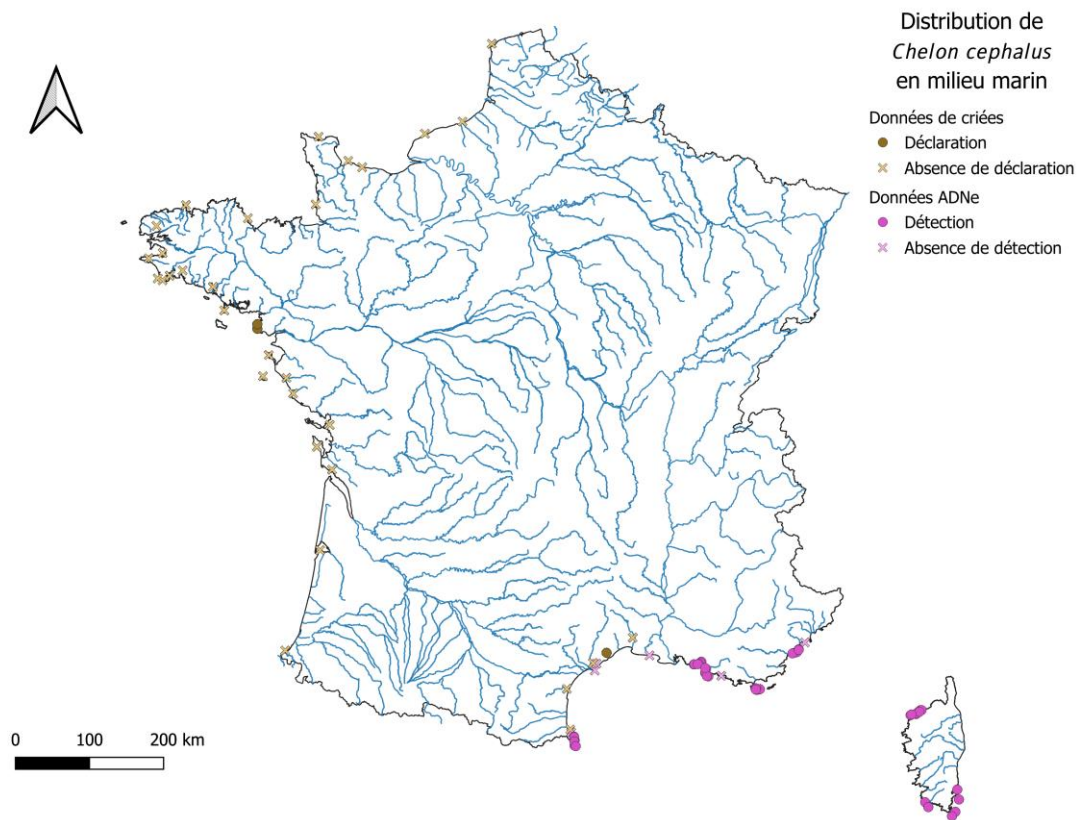


Figure 18 : Mentions indiquant la présence du mullet à grosse tête (*Mugil cephalus*) en milieu marin

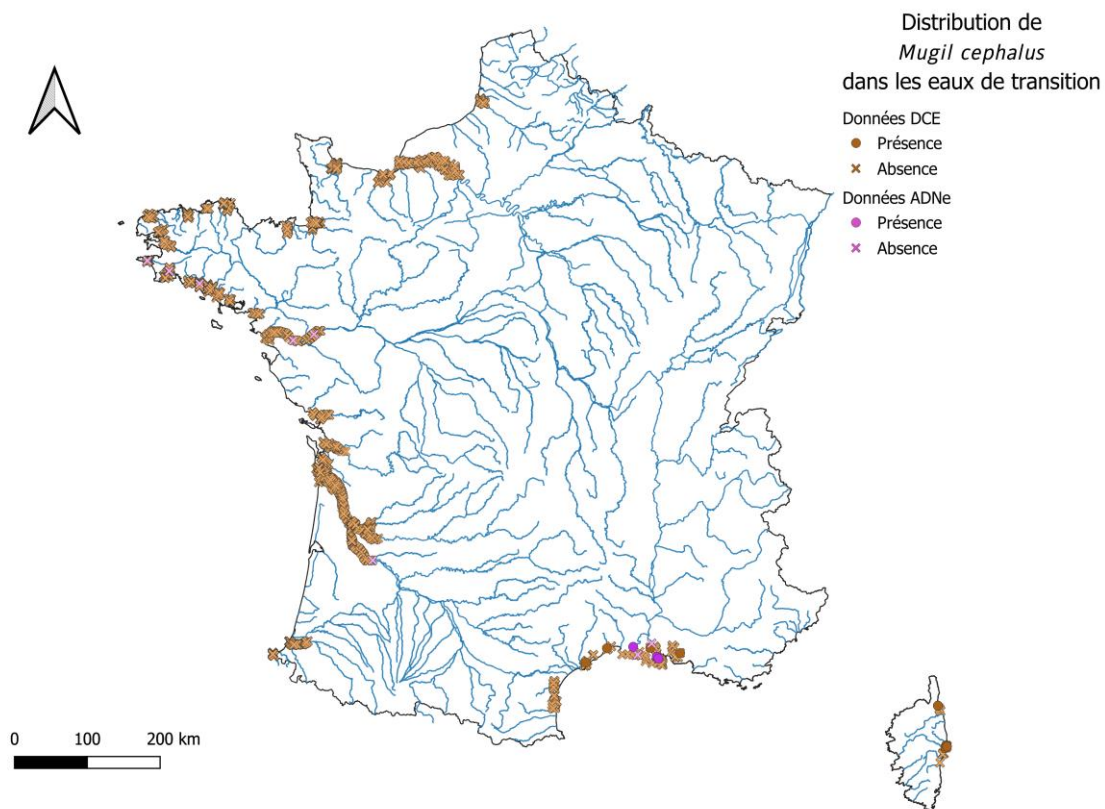


Figure 19 : Mentions indiquant la présence du mulot à grosse tête (*Mugil cephalus*) dans les eaux de transition

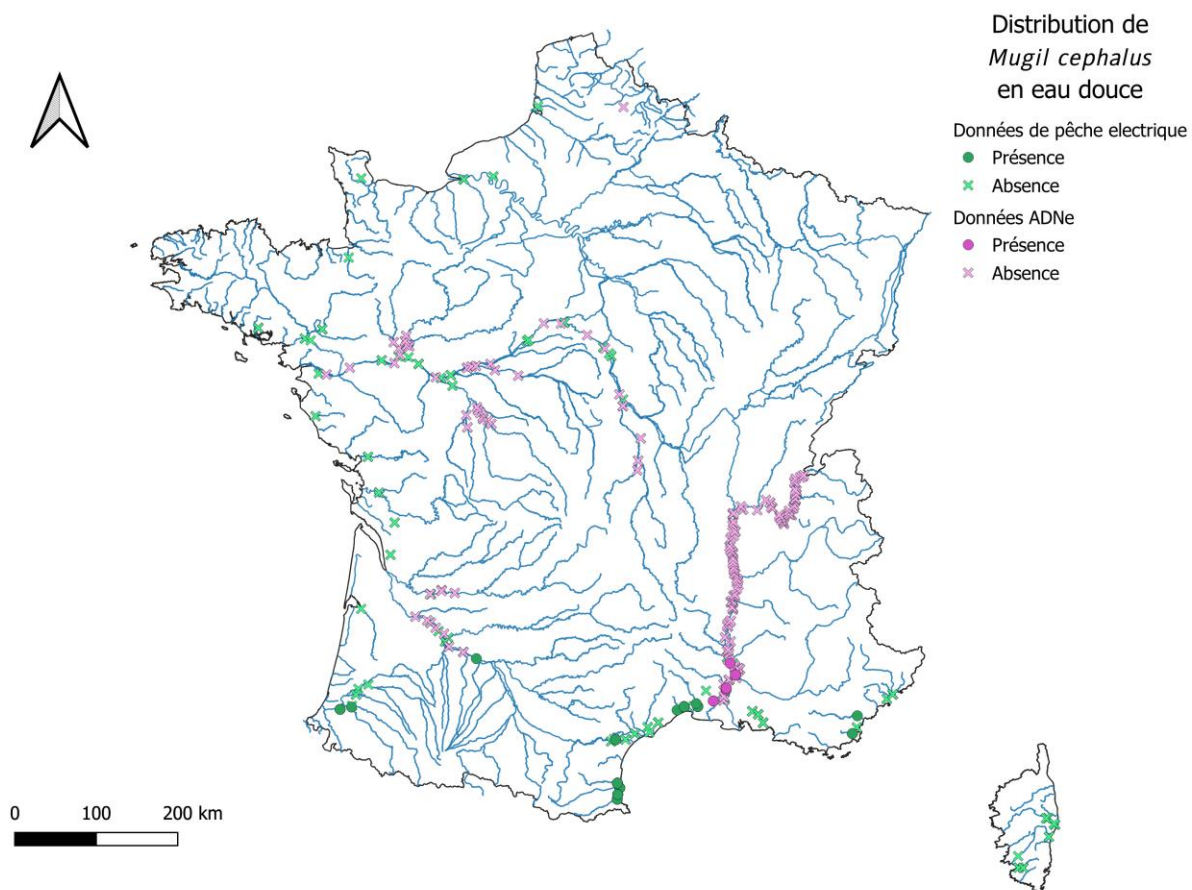


Figure 20 : Mentions indiquant la présence du mulot à grosse tête (*Mugil cephalus*) en eau douce

II.1.6. Autres espèces

Le mulot sauteur (*Chelon saliens*) n'a pas été détecté par les protocoles ADNe, il aurait été vendu dans des criées de la façade Atlantique et il est mentionné par les inventaires DCE en Corse et en Méditerranée (non montré). Par ailleurs, parmi les données utilisées, aucune information n'indique la présence du mulot labeon (*Oedalechilus labeo*).

Au vu des données disponibles, il semblerait que le mulot sauteur et le mulot labeon soient des espèces rares et localisées ce qui les rend particulièrement difficiles à détecter.

II.1.7. Discussion

En milieu marin, les données de distribution des protocoles ADNe indiquent que les quatre espèces les plus communes sont présentes le long des côtes méditerranéennes et en Corse. Cependant, le mulot porc n'est pas mentionné par les criées méditerranéennes et le mulot à grosse tête aurait cessé d'y être vendu

depuis 2011 (Dindart et al., 2024). Ces incohérences soulignent la nécessité d'études supplémentaires pour mieux comprendre la répartition des mulets dans ces régions.

Dans les eaux de transition, les inventaires révèlent des variations significatives selon les régions et les types d'estuaires. Le mulot porc et le mulot doré y sont les espèces les plus courantes, tandis que le mulot lippu et le mulot à grosse tête y sont peu représentés, ce dernier étant particulièrement rare. Ces résultats mettent en lumière des disparités dans leur répartition.

En eau douce, les espèces les plus communes sont le mulot porc et le mulot lippu. Ces deux espèces montrent une capacité de migration en eau douce vers les zones amont, notamment sur la Loire. En revanche, le mulot à grosse tête et le mulot doré semblent confinés aux zones les plus aval, avec une présence plus marquée en Méditerranée. Ces résultats mettent en évidence une diversité dans leur utilisation de l'espace et soulignent l'importance d'études supplémentaires pour mieux comprendre les facteurs influençant leur distribution.

II.2. Modèle de distribution

Un modèle de distribution de type Random Forest (R package randomForest) a été réalisé (Breiman, 2001; González-Ferreras et al., 2016). Ce type de modèle intègre des paramètres environnementaux obtenus à large échelle, tels que la température de l'eau, la distance à la mer, le COGEPOMI, l'altitude, le nombre d'obstacles à la migration afin de faire ressortir les conditions qui favorisent ou limitent la présence des mulets.

L'utilisation de ce type de modèle permet de s'affranchir du problème de corrélation de nombreuses variables du jeu de données. Les mulets sont considérés comme absents lorsque dans les opérations de pêche, les quatre principales espèces de mulot (*Chelon ramada*, *Chelon labrosus*, *Chelon auratus*, *Mugil cephalus*) sont toutes absentes.

Le but de cette méthode est d'identifier les paramètres qui rendent les habitats favorables, mais aussi de prédire comment les changements environnementaux, tels que les modifications climatiques ou anthropiques, pourraient affecter la répartition future des mulets. Ces informations pourraient aider à construire des stratégies de gestion adaptatives afin de garantir la protection à long terme des populations de mulets et de leurs habitats.

Cependant, du fait des fortes similarités morphologiques entre les espèces de mulets, les clés d'identification peuvent conduire à des erreurs et introduire des incertitudes dans les données d'entrée (voir chapitre précédent). Par conséquent, les données ADNe ont été utilisées comme un moyen de validation des prédictions

du modèle afin de discuter la qualité de celles-ci. En effet cette méthode d'échantillonnage à l'avantage de garantir l'identification spécifique.

II.2.1. Données utilisées

Les données des inventaires DCE ainsi que les données de pêche électrique ont été utilisées pour construire le modèle de présence absence. Les points ont été projetés sur le réseau hydrographique du RHT (Pella et al., 2012), pour obtenir les paramètres environnementaux comprenant des variables temporelle (année), géographique (régions), topologiques (distance à la mer, altitude), environnementales (température et vitesse du courant) ainsi qu'anthropique (impact cumulé des barrages) (Mateo et al., 2022). Les hauteurs cumulées d'ouvrages ont été calculées à partir de l'ensemble des bases disponibles au niveau national (BDOE, ROE, ICE).

II.2.2. Génération des absences

Les jeux de données utilisés comportent des présences, qui sont rares (Tableau 2) ; les absences sont beaucoup plus nombreuses à l'échelle du territoire. Pour obtenir un modèle plus performant dans l'exclusion des zones géographiques où les mulets sont absents, une sous-sélection des données d'absence a été réalisée. Ces données, appelées pseudo-absences, ont été choisies uniquement dans des zones géographiques distinctes de celles où les mulets sont présents. Cette sélection a été opérée en utilisant un tampon de 30 km autour des points de présence pour exclure les points de pêches électriques proches des points de présence. Les pseudo-absences équilibrent ainsi le jeu de données en augmentant la couverture géographique, et améliorant la performance du modèle.

Tableau 2 : Structuration des jeux de données DCE (eaux de transition) et pêche électrique et nombre de données retenues pour le modèle de distribution

| | DCE | Pêche électrique |
|--|-------|------------------|
| Présence de mullet (données retenues pour le modèle) | 1 347 | 385 |
| Pseudo-absence de mullet | 13049 | 52180 |

II.2.3. Prédictions des modèles

Le Tableau 3 présente le nombre de présences et de pseudo-absences dans les données de pêche électrique et d'inventaires DCE des quatre espèces (mulet porc, mullet lippu, mullet doré et mullet à grosse tête) ainsi que les performances de prédictions des modèles retenus.

Seuls les modèles concernant la distribution du mullet porc et du mullet lippu ont été retenus, ceci grâce à un nombre d'occurrences suffisant dans les données pour

des prédictions fiables. Les modèles du mulot doré et du mulot à grosse tête n'ont pas été retenus, car le faible nombre d'occurrences pour ces espèces entraîne des performances limitées et une trop faible fiabilité des prédictions.

Les indices de performances des deux modèles retenus permettent de dénombrer les prédictions correctes d'absences (ACP) et de présences (PCP), le score de prédiction global (CP) et l'indice de Kappa qui correspond à l'indice de performance globale du modèle en termes de bonnes prédictions pour un niveau de probabilité choisi, ici 50 % de probabilité de présence. Les modèles du mulot porc et du mulot lippu affichent des scores de PCP et ACP très élevés (0,99) et des indices de Kappa proches de 1. Ces résultats sont liés à la méthode de ciblage des données d'absence en dehors de la zone géographique de présence, et à la bonne performance des variables prédictives (altitude, température, distance mer...). Ces performances montrent que le modèle est capable de prédire presque parfaitement les présences et pseudo-absences fournies pour décrire la distribution de ces deux espèces, confirmant leur pertinence dans l'analyse.

Tableau 3 : Nombre de présences (P) et de pseudo absences (A) dans les données collectées par pêche électrique (PE) et par les inventaires DCE des quatre espèces (mulet porc, mulet lippu, mulet doré et mulet à grosse tête) et performances des prédictions des modèles random forest retenus, ACP : pourcentage d'absent correctement prédits, PCP pourcentage de présent correctement prédits, CP pourcentage d'observations correctement prédites, et Kappa indice de concordance (Kappa de Cohen). Les valeurs de performance ne sont pas données pour le mulet doré et le mulet à grosse tête car les modèles n'ont pas été retenus par manque d'observations suffisantes.

| Espèce | P(PE) | A(PE) | P(DCE) | A(DCE) | ACP | PCP | CP | KAPPA |
|---------------------|-------|-------|--------|--------|-----|------|----|-------|
| Mulet porc | 317 | 66 | 994 | 353 | 1 | 0.99 | 1 | 0.99 |
| Mulet lippu | 51 | 332 | 45 | 1302 | 1 | 0.99 | 1 | 0.98 |
| Mulet doré | 8 | 375 | 173 | 1174 | | | | |
| Mulet à grosse tête | 37 | 346 | 9 | 1338 | | | | |

II.2.4. Modèles retenus

La Figure 21 présente l'indicateur %IncMSE (augmentation en pourcentage de l'erreur quadratique moyenne) qui qualifie l'importance des variables pour le modèle prédictif de présence pour les deux espèces. L'erreur quadratique moyenne (MSE) permet de mesurer l'importance des variables en permutant de manière aléatoire les variables du modèle.

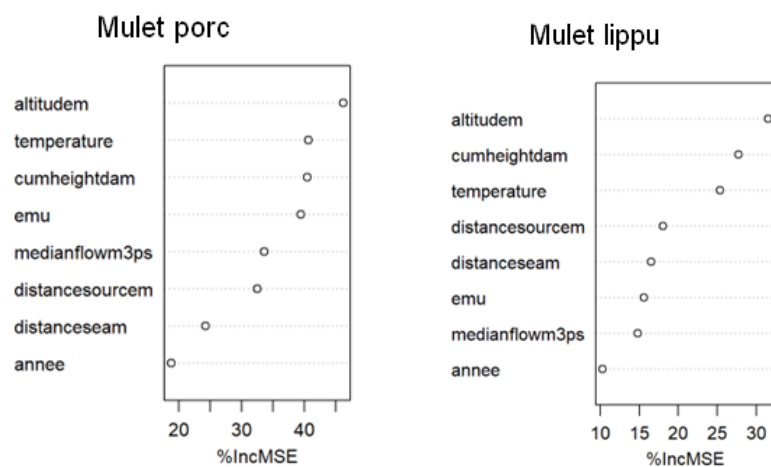


Figure 21 : Importance des variables dans le modèle de prédiction du mulet porc et du mulet lippu. Abréviations : altitudem = altitude (m), temperature = température (°C), cumheightdam = hauteur cumulée des barrages, emu = COGEPOMI, medianflowm3ps = débit, distanceseam = distance à la mer (m), année = année. L'indicateur %IncMSE correspond à l'augmentation en pourcentage de l'erreur quadratique moyenne.

L'analyse des courbes de dépendance partielle permet de déterminer comment les différentes variables explicatives influencent les prédictions du modèle (Annexes 3 et 5). L'altitude, la température, et la hauteur cumulée des barrages sont les

variables les plus importantes pour les deux espèces. L'altitude et la hauteur cumulée d'ouvrages présentent des réponses tranchées, avec une chute marquée des probabilités de présence pour des valeurs d'altitudes supérieures à 100 m et des hauteurs cumulées d'ouvrages supérieures à 50 m. De même que les températures moyennes annuelles inférieures à 14 °C correspondent à une chute de la probabilité de présence du mulot porc et du mulot lippu, avec une probabilité de présence du mulot lippu un peu supérieure à celle du mulot porc entre 10 et 13 °C, et même une tolérance à des températures de 9 à 10 °C pour le mulot lippu.

La hauteur cumulée d'ouvrages et l'altitude jouent probablement un rôle similaire, car elles sont corrélées avec les variables décrivant l'accessibilité. La distance à la source et le débit viennent en complément pour décrire la répartition dans les bassins avec des distributions plus continues. L'année est la variable avec le moins d'importance. Pour le mulot porc, elle montre une augmentation de la probabilité de présence à partir des années 2003 qui pourrait correspondre au développement des pêches électriques. Pour le mulot lippu, la probabilité augmente à partir de 1990 (peu de données), mais surtout diminue après 2011, avec une forte chute des probabilités de présence.

Finalement la région joue assez peu dans la probabilité de présence, et son importance dans le modèle est liée aux mécanismes hiérarchiques de classification au sein de random Forest qui signifie qu'il peut y avoir des procédures de classement différentes dans différents COGEPOMI et que ces dernières sont plus importantes pour le mulot porc que pour le mulot lippu.

Les Figure 22 et Figure 23 présentent les cartes de prédictions du modèle pour les deux espèces. Les données de présence et d'absence issues des protocoles d'ADNe, non utilisées dans la calibration des modèles, sont aussi affichées et permettent de discuter les prédictions du modèle. Les distributions des deux espèces sont très similaires avec un effet positif de la taille des cours d'eaux sur la pénétration continentale. En milieu côtier les probabilités de présence sont fortes avec cependant des disparités régionales par exemple entre le nord et le sud de la Bretagne, et une probabilité de présence plus forte dans certains bassins.

L'utilisation de variables telles que le débit conduit à des prédictions probablement erronées sur le bassin du Rhône pour les deux espèces, car le modèle cherche quand même à prédire la présence observée sur la partie aval du Rhône et la présence de voies de passage telles que des passes ne sont pas prises en compte dans le modèle qui ne dispose que de la hauteur cumulée des ouvrages pour décrire la répartition.

Les données d'ADNe sont en adéquation avec les modèles de prédiction pour décrire le fait que les deux espèces sont principalement associées aux zones proches des côtes et aux grands fleuves connectés aux estuaires.

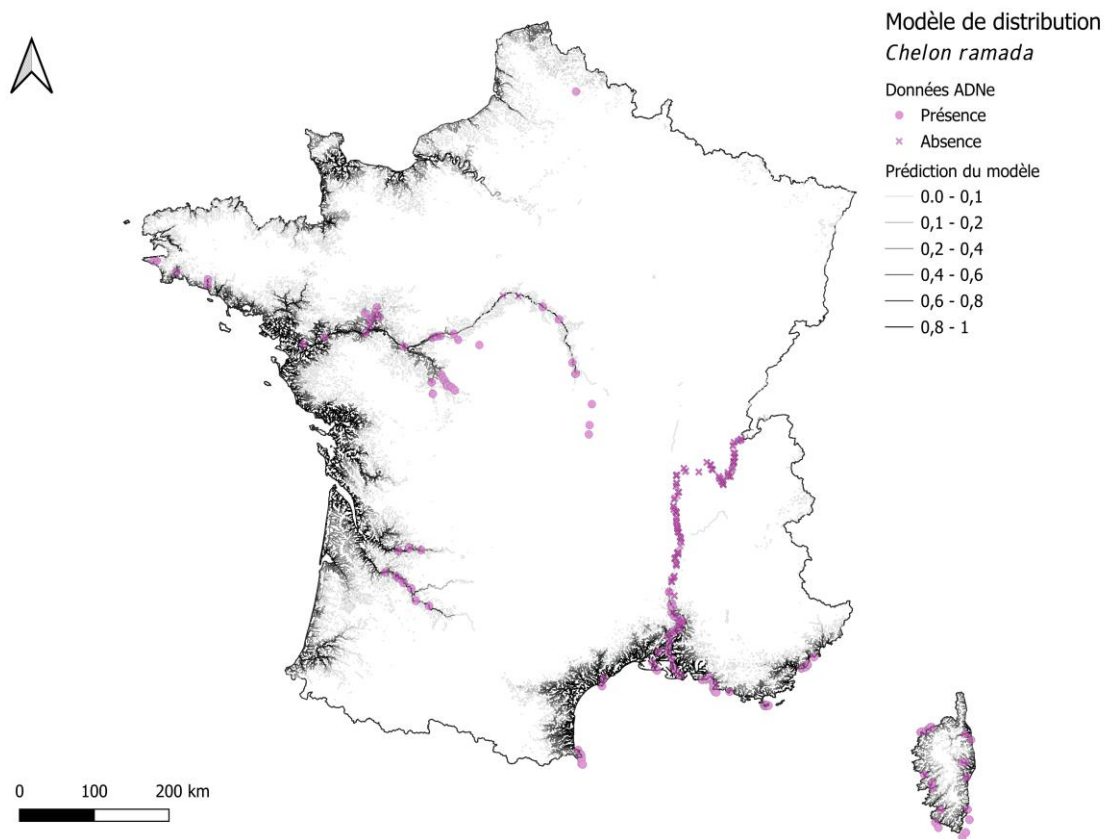


Figure 22 : Prédiction du modèle de distribution du mullet porc (*Chelon ramada*) et données ADNe pour cette espèce

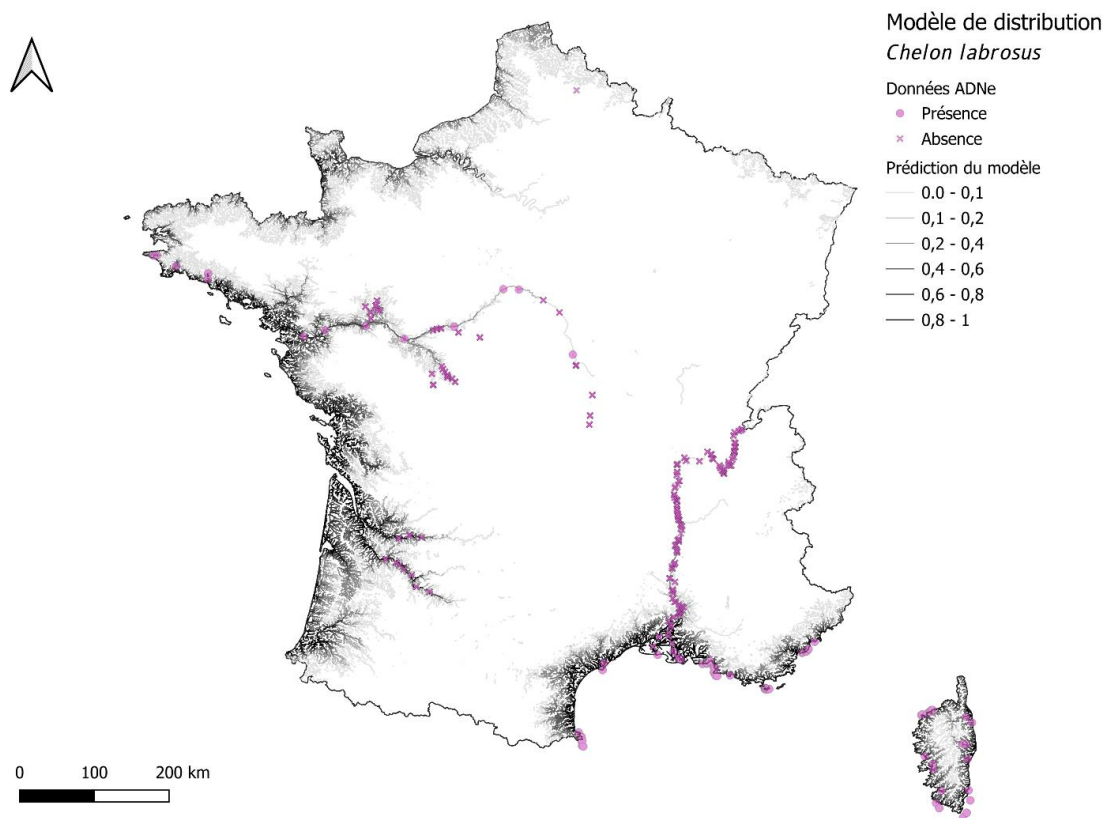


Figure 23 : Prédiction du modèle de distribution du mullet lippu (*Chelon labrosus*) et données ADNe pour cette espèce

II.2.5. Discussion

Les modèles de distribution utilisés se révèlent particulièrement efficaces pour identifier les zones de présence des mulets, mettant en évidence l'importance de l'accessibilité des bassins comme facteur déterminant de leur répartition. En effet, la connectivité des milieux aquatiques impacte directement le déplacement de ces espèces migratrices, ce qui souligne la nécessité de prendre en compte cette dynamique dans leur gestion.

Les prédictions du modèle de distribution réalisé pour le mullet porc semblent cohérentes avec l'écologie de l'espèce. En effet cette espèce amphihaline est connue pour être présentes dans de nombreux estuaires français et capables de migrations importantes vers les zones dulçaquicoles en amont (Dindart et al., 2024).

La superposition des aires de répartition du mullet porc et du mullet lippu engendre toutefois des risques de confusion entre ces deux espèces, d'autant plus qu'elles partagent de nombreux habitats similaires. Les stations de contrôle, bien qu'étant des outils précieux pour le suivi des abondances de poissons migrateurs, classent majoritairement les mulets observés comme étant des mulets porcs, ce qui peut biaiser les estimations. Pour pallier cette imprécision, il est essentiel de compléter les données des stations par des méthodes génétiques, telles que l'utilisation de

l'ADN environnemental ou l'échantillonnage biologique. Ces approches, appliquées en amont et en aval des stations de contrôle, permettraient de mieux différencier les espèces et de mieux comprendre leurs dynamiques spatio-temporelles.

II.3. Discussion sur la distribution des mugilidés

La fiabilité des sources de données dépend des méthodologies employées. Les données d'ADNe obtenues par « Metabarcoding » sont actuellement considérées comme les plus fiables, offrant une résolution précise et une large couverture des milieux aquatiques. Cependant, ces données proviennent souvent d'analyses réalisées par des entreprises privées et peuvent être coûteuses, rendant leur obtention difficile. Une négociation approfondie auprès des propriétaires de données et un travail minutieux de recensement des projets en cours sont nécessaires. Les données scientifiques issues de directives comme la DCE ou de la pêche électrique, bien que solides, peuvent présenter des erreurs d'identification ou une couverture spatiale limitée. Enfin, les données des criées, comportent des incohérences notables liées aux pratiques commerciales et aux habitudes de pêche (Dindart et al., 2024), ce qui en réduit la fiabilité pour le suivi des populations de mulets. L'émergence de nouvelles méthodologie dans le domaine de l'ADNe, a démontré leur efficacité, notamment en milieu pélagique, offrant ainsi de nouvelles perspectives pour le suivi des populations dans des habitats moins accessibles (Duhamet et al., 2023; Manel et al., 2024; Muff et al., 2023; Sanchez et al., 2022; Veron et al., 2023, 2023).

En ce qui concerne la distribution des espèces, les trois espèces les plus rencontrées en France hexagonale sont le mulot porc, le mulot lippu et le mulot doré. Ce travail a permis d'obtenir des informations nouvelles sur l'écologie du mulot lippu. En effet, cette espèce n'était jusqu'alors pas considérée comme capable d'effectuer des migrations importantes en eau douce (Keith, 2020). Les mugilidés observés dans ces milieux sont donc traditionnellement identifiés comme des mulets porc, ce qui peut être erroné. Ces observations soulignent la nécessité d'une compréhension approfondie des nuances comportementales et écologiques de chaque espèce.

III. Dynamique et écologie des populations de mulot porc de la Vilaine et de l'estuaire de la Gironde

La synthèse bibliographique réalisée dans le rapport de la phase 1 de ce travail a révélé un manque de connaissances assez général concernant les traits d'histoire de vie et la dynamique des populations du mulot porc ainsi que sur leur variabilité spatiale. De nombreuses incertitudes subsistent concernant notamment les zones

ainsi que les périodes de reproduction. Par ailleurs, des zones d'ombre demeurent sur les modalités et la dynamique des différentes migrations, qu'elles soient trophiques ou reproductives.

Afin de faire progresser les connaissances dans ces domaines, deux sites d'étude de la façade Atlantique ont été choisis. Le premier est la passe à poisson du barrage d'Arzal, située à l'aval du bassin de la Vilaine. Elle est équipée d'une station de comptage qui permet de connaître le nombre d'individus franchissant le barrage vers l'amont et d'estimer leur taille (Briand et al., 2023). Le second site est l'estuaire de la Gironde où les populations estuariennes sont échantillonnées tous les 2 mois par des campagnes de chalutage à grande ouverture verticale (STURAT) visant à caractériser l'utilisation de l'estuaire par les esturgeons européens (Adam, 2020). Ces campagnes permettent d'acquérir des données sur les espèces présentes dans l'estuaire et notamment le mulot porc.

Ces deux sites offrent un cadre d'étude complémentaire : Arzal représente une zone soumise à une forte influence humaine, avec un barrage situé très à l'aval limitant l'accès aux habitats amont et contraignant pour son franchissement. De plus, depuis peu, la pêche commerciale cible le mulot sur la Vilaine. L'estuaire de la Gironde constitue quant à lui un environnement largement ouvert à l'aval comme à l'amont, les barrages les plus proches sont à plus de 150 km de la mer (185 km de la mer pour le barrage de Bergerac sur la Dordogne et 249 km pour le seuil de Beauregard sur la Garonne). La pression de pêche est encore importante, mais cible peu le mulot.

Ces sites présentent également des caractéristiques environnementales distinctes : l'estuaire de la Gironde se caractérise par des variations progressives de salinité, fluctuant au rythme des marées (Lamour et al., 2024). La passe d'Arzal constitue une frontière nette entre l'eau saumâtre et l'eau douce en amont. Les variations de salinité y sont abruptes (Briand et al., 2023). Cela peut avoir des effets significatifs sur les poissons. En effet Lasserre et Gallis en 1975 ont montré que les mulots de 200 à 300 mm ne supportent pas un changement abrupt de salinité, mais sont capable de s'habituer à l'eau douce lors d'une acclimatation progressive sur quelques jours. De plus, Sauriau et al., 1994 ont constaté une absence de juvéniles de moins de 300 mm dans les zones dulçaquicole de la Loire.

Les données obtenues sont d'une nature différente : en Vilaine, on dispose du nombre et d'une estimation de la taille des individus entrant dans le compartiment amont. Par contre nous n'avons pas d'observation sur le compartiment amont, ni sur les individus franchissant le barrage vers l'aval et nous n'avons pas d'accès direct aux individus. De ce fait, nous n'avons pas de certitude sur l'identification des individus, considérés jusqu'alors principalement comme des mulots porc.

En Gironde, nous avons des informations sur les individus présents dans l'estuaire et leurs caractéristiques. La manipulation des individus rend possible la vérification de l'espèce et le prélèvement d'échantillons pour mieux connaître leur biologie, notamment les périodes de reproduction via l'indice gonadosomatique. Par contre nous n'avons pas d'information directe sur leurs mouvements éventuels vers l'amont ou vers l'aval.

Cette complémentarité offre l'opportunité de comparer comment des environnements contrastés, comme un estuaire ouvert et un bassin influencé par un barrage, modulent la dynamique des populations et façonnent leurs stratégies écologiques et reproductives.

Une analyse a été réalisée sur les données de franchissement de la passe à poisson d'Arzal et de présence dans l'estuaire de la Gironde. Le but de cette analyse est d'étudier les variations d'effectifs ainsi que la saisonnalité des migrations en fonction des différents stades et classes de tailles. Enfin, les évolutions des effectifs globaux seront étudiées afin d'évaluer l'état des populations sur les deux sites et d'en tirer des informations sur leur dynamique.

III.1. Origine des données

La passe à bassins du barrage d'Arzal a été mise en service en 1995, elle est gérée par l'EPTB Eaux & Vilaine. Elle subit des contraintes liées aux marées et ne fonctionne que lorsque le niveau de la mer est inférieur au niveau amont (Briand et al., 2023). C'est la passe qui comptabilise le plus grand nombre de passage de mulets de toutes les STACOMIs du territoire français (Dindart et al., 2024). Les suivis vidéos d'Arzal couvrent une période de 1996 à 2022 avec un arrêt des comptages réguliers entre 1997 et 2013.

Les campagnes de suivi de la distribution des esturgeons européens dans l'estuaire de la Gironde (STURAT) sont menées par l'INRAE depuis le début des années 1990 (Brosse, 2003; Rochard, 1992; Rochard et al., 2001). Ces campagnes de chalutage à grande ouverture verticale sont actuellement réalisées tous les deux mois (Adam, 2020). Elles permettent indirectement d'estimer les caractéristiques des communautés piscicoles présentes dans la partie aval de l'estuaire de la Gironde.

III.2. Traitement préalable et précision des mesures

Le seuil entre les stades juvénile et adulte a été fixé arbitrairement à une longueur à la fourche de 30 cm, correspondant à la longueur totale à laquelle la majorité des mulets atteignent la maturité sexuelle (Dindart et al., 2024).

Pour les données issues des campagnes STURAT, les captures par unité d'effort (CPUE) ont été calculées comme le nombre d'individus capturés par trait de chalut. Lorsque ce nombre s'est avéré trop important pour un comptage et une remise à l'eau rapide des individus, une estimation de la biomasse totale a alors été réalisée à bord. Le nombre d'individus est dans ces cas-là obtenu en divisant cette biomasse estimée par le poids moyen des muets observés.

Pour les deux sites étudiés, tous les poissons capturés ou comptés n'ont pas été mesurés. Pour décomposer le nombre total d'individus en nombre de juvénile et d'adulte, nous avons utilisé les proportions juvéniles/adultes telles que mesurées dans les échantillons réalisés à chaque opération.

III.3. Individus échantillonnés

Afin de mieux cerner les périodes de reproduction des muets porcs de l'estuaire de la Gironde, des individus ont été prélevés en milieu naturel lors des campagnes STURAT. Lors de chaque campagne de pêche scientifique, de septembre 2023 à juillet 2024, 20 individus ont été prélevés de manière homogène sur les différentes zones du site d'étude (amont, médian, aval et rive gauche). Les campagnes étaient initialement prévues tous les deux mois, mais des conditions météorologiques défavorables durant l'hiver ont limité leur nombre à cinq sur les six programmées. Au total, 98 muets ont été prélevés.

La longueur fourche des spécimens a été mesurée en centimètres, et leur masse totale et celle de leurs gonades a été déterminé en grammes. L'indice gonadosomatique (IGS) a été calculé mensuellement pour estimer le moment de la reproduction, selon la formule suivante :

$$\text{IGS (\%)} = \frac{\text{masse des gonades (g)} \times 100}{\text{masse totale du corps (g)}}$$

III.4. Évolution des effectifs des différents stades

Nous avons réalisé une analyse des effectifs de juvéniles et de géniteurs dénombrés en franchissant le barrage d'Arzal et des CPUE issues des campagnes STURAT (Figure 23). Cette analyse a pour but de mieux comprendre les fluctuations temporelles de ces deux stades ainsi que leurs utilisations de l'espace sur les deux sites d'études. En effet, comme évoqué dans le premier rapport, la transition entre le stade juvénile et adulte est un moment critique se caractérisant par un changement de milieu (Blaber & Crosetti, 2016; De Silva, 1980).

Concernant la proportion juvénile/adulte, on note tout d'abord la très faible proportion de juvéniles franchissant le barrage d'Arzal. En Gironde, les abondances

des juvéniles et des géniteurs sont du même ordre de grandeur, les juvéniles étant plus abondants que les géniteurs onze années sur quinze.

L'étude des variations saisonnières permet de mieux comprendre les fluctuations des différents stades au cours de l'année (Figure 25). En ce qui concerne le franchissement du barrage d'Arzal, on remarque que les adultes dominent largement tout au long de l'année, avec des pics très marqués entre mars et juin. De juillet à octobre, le nombre d'adultes franchissant le barrage est relativement stable, mais à un niveau deux fois plus bas, avant de diminuer nettement en novembre. En raison de l'arrêt de la passe de décembre à janvier, aucune donnée n'est disponible pour ces mois. Comme déjà mentionné, les juvéniles sont beaucoup moins nombreux avec des passages entre mai et septembre. Dans les campagnes STURAT, les juvéniles sont majoritaires d'octobre à avril, avec un pic en janvier. Les adultes deviennent plus abondants à partir de juillet, atteignant un maximum en août, suggérant une forte présence estivale dans l'estuaire.

En conclusion, l'analyse des variations temporelles des juvéniles et des adultes sur les deux sites met en évidence une diminution au fil des années des effectifs comptés lors du franchissement du barrage d'Arzal et une relative stabilité des effectifs échantillonnés dans l'estuaire de la Gironde lors des campagnes STURAT.

Les deux sites présentent des dynamiques saisonnières distinctes. Les adultes dominent à Arzal principalement au printemps tandis que les juvéniles sont rares. Les campagnes STURAT montrent une forte présence des juvéniles en automne hiver et un pic d'adultes en été. La rareté des juvéniles à Arzal peut s'expliquer par le fait que les juvéniles restent en estuaire, à l'aval du front de salinité jusqu'au stade adulte (entre 3 et 5 ans selon les localités soit 30 cm de longueur totale) ; (Gadais, 2012; Sauriau et al., 1994; Trancart et al., 2011). La plus faible proportion d'adultes en hiver pourrait s'expliquer par leur migration de reproduction en zone côtière (Bartulović et al., 2011; Blaber & Crosetti, 2016).

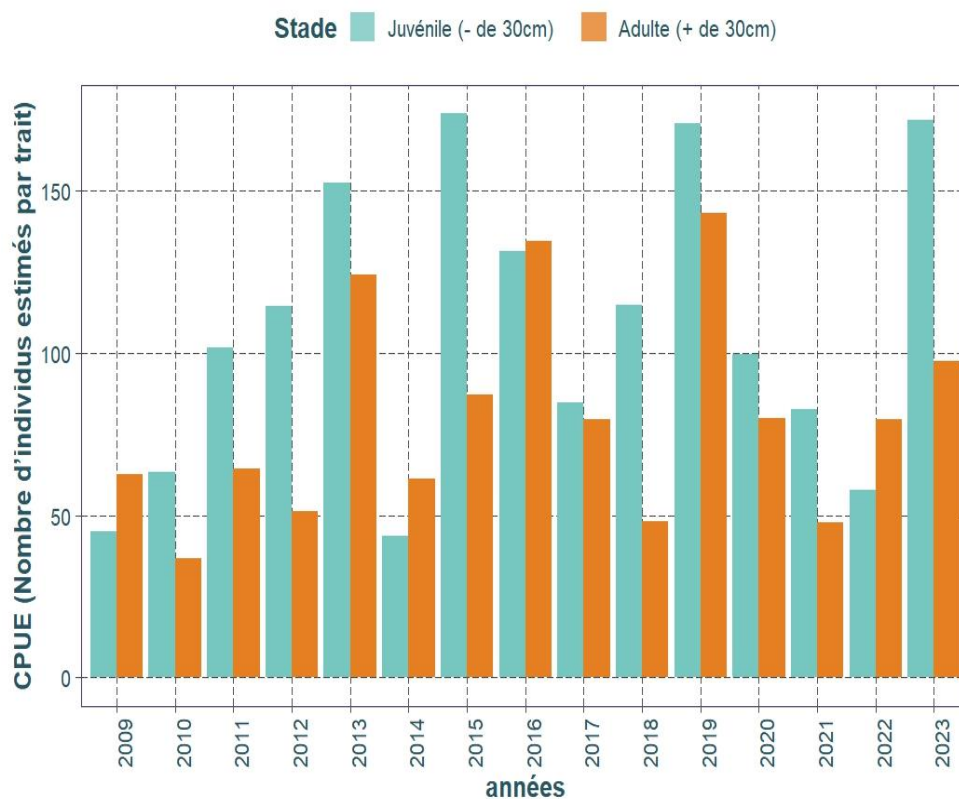
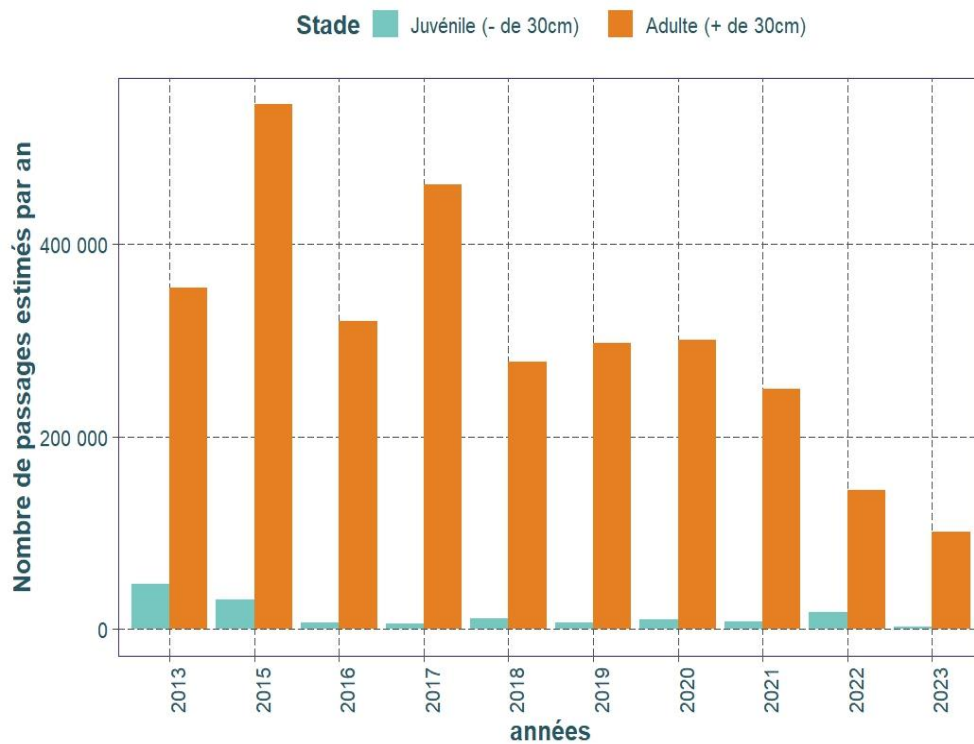


Figure 24 : Evolution interannuelle des effectifs de muets porcs, juvéniles et adultes, franchissant le barrage d'Arzal (haut) et des CPUE issues des campagnes STURAT dans l'estuaire de la Gironde (bas). La distinction juvénile-adulte est arbitrairement fixée à 30 cm. La longueur totale des individus est estimée par la vidéo à Arzal et effectivement mesurée dans les campagnes STURAT en Gironde.

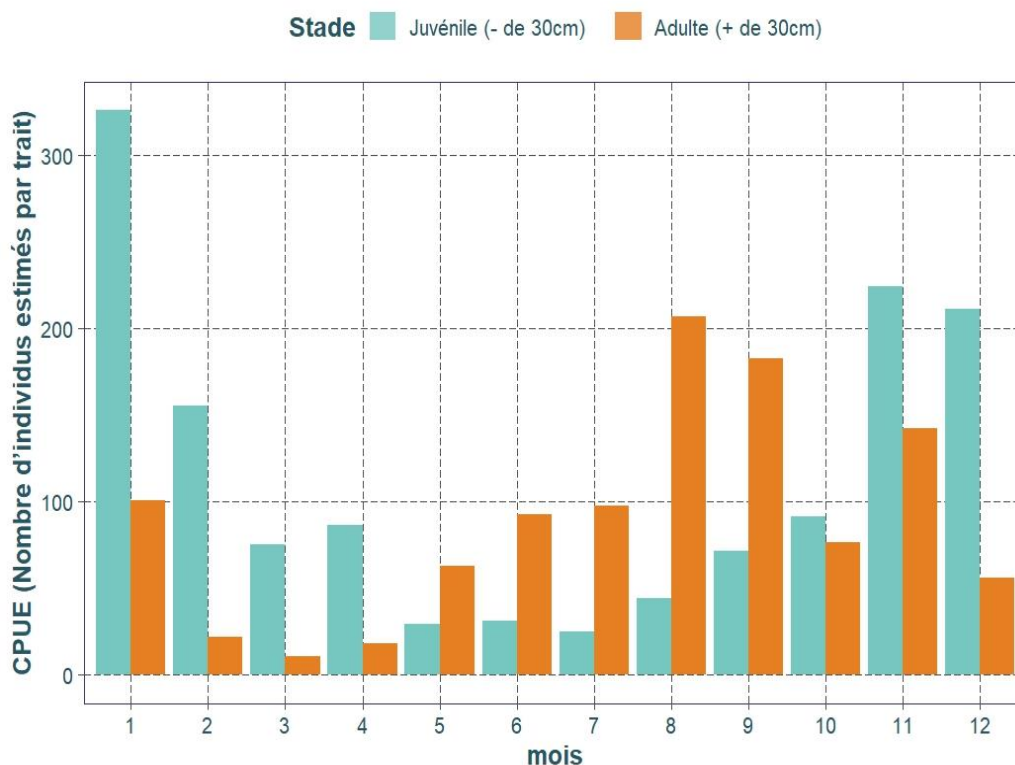
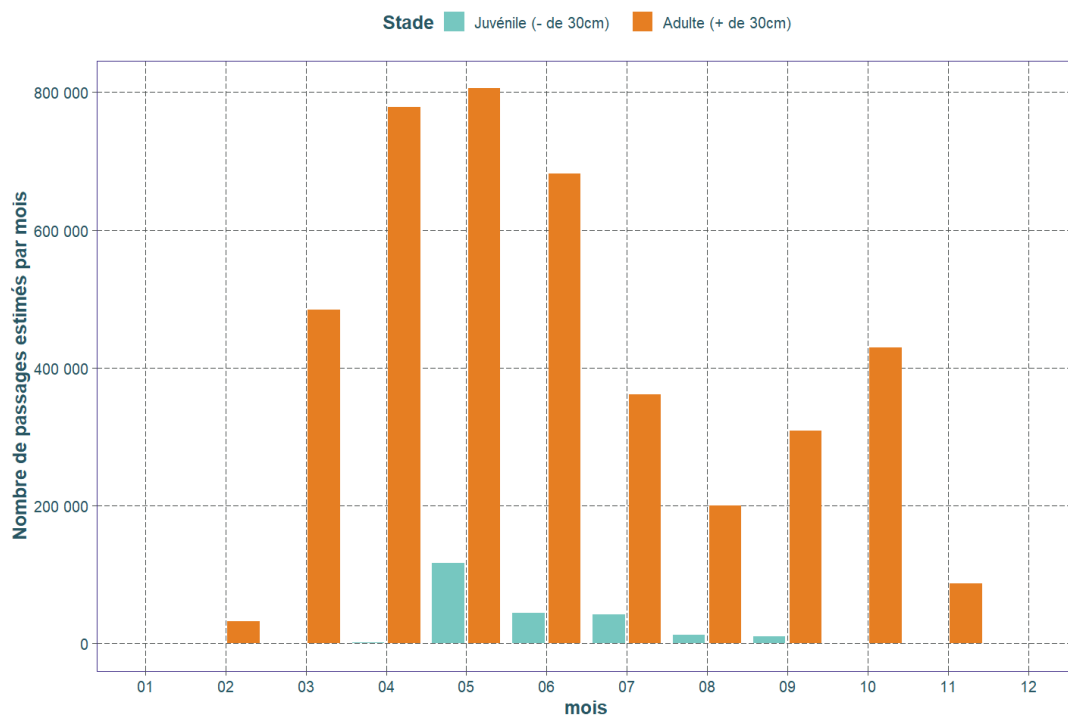


Figure 25 : Evolution mensuelle des effectifs de mulets porc, juvéniles et adultes, franchissant le barrage d'Arzal (haut) et des CPUE issues des campagnes STURAT dans l'estuaire de la Gironde (bas). La distinction juvénile-adulte est arbitrairement fixée à 30 cm de longueur totale. La taille des individus est estimée par la vidéo à Arzal et effectivement mesurée dans les campagnes STURAT en Gironde. A noter l'absence de données à Arzal en décembre et janvier.

III.5. Migration de reproduction

Le rapport de la phase 1 (Dindart et al., 2024) a relevé que la période de reproduction des mulets porc dans le golfe de Gascogne se situerait entre septembre et février (Rochard & Elie, 1994; Trancart, 2011).

Une variation significative de l'indice gonadosomatique (IGS) des mulets est observée (Figure 26) au cours des différents mois de l'année dans l'estuaire de la Gironde (Kruskal-Wallis, $p = 0,00054$). Le test post-hoc de Dunn révèle des différences significatives entre certains mois, notamment entre février et septembre, soulignant une forte augmentation de l'IGS en fin d'été. En effet l'IGS est faible en février et mars indiquant une phase de repos reproductif, il augmente ensuite progressivement à partir de juin pour atteindre un pic en septembre correspondant probablement à une période de maturation gonadique en vue de la reproduction. Cependant, les valeurs observées sont bien moins importantes que celles mentionnées dans la littérature qui se situent entre 9 et 15 pour les femelles et aux alentours de 5 pour les males (Ergene, 2000; Koutrakis, 2011; Ramos-Júdez et al., 2023; Sagi & Abraham, 1984). Cette différence suggère que les mulets observés présentaient une maturité reproductrice incomplète. Ainsi, la période de reproduction pourrait se situer plus tard, durant l'hiver dans le golfe de Gascogne. Ceci serait cohérent avec les faibles abondances observées en février-mars en Gironde et les faibles franchissements observés en février à Arzal (Figure 24, Figure 25).

Kruskal-Wallis, $\chi^2(4) = 19.83, p = 0.00054, n = 105$

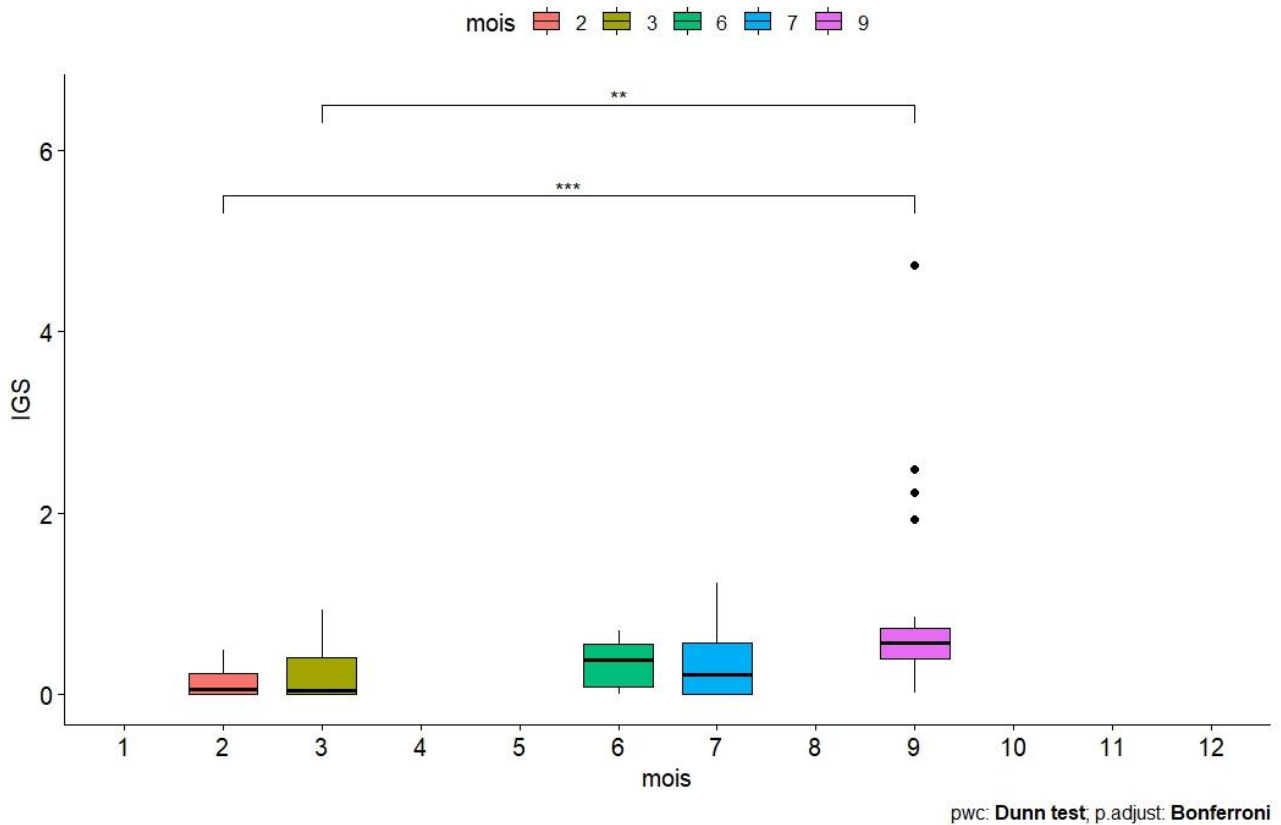


Figure 26 : Graphique de l'évolution mensuelle de l'indice gonado somatique (IGS) des mulets porc adultes de l'estuaire de la Gironde. Echantillonnages effectués lors des campagnes STURAT de 2023 et 2024.

III.6. Structure en taille

La prise en compte de la longueur totale des mulets observés (barrage d'Arzal) ou capturés (campagnes STURAT) permet de mieux appréhender leur utilisation de l'espace. Premièrement, les mulets dont la longueur totale est estimée lors du franchissement du barrage d'Arzal sont plus grands que les mulets mesurés lors des campagnes STURAT. Ces derniers présentent par contre une gamme plus large. Ceci peut s'expliquer par le changement de salinité brutal au niveau du barrage d'Arzal qui ne permet pas aux plus jeunes individus de le franchir. Aucune tendance ne se dégage concernant les variations interannuelles des longueurs (Figure 27).

Dans les deux cas, nous n'avons pas d'information sur les plus jeunes stades, dans le cas de la Vilaine, ils sont incapables de franchir le barrage à moins de 30 cm de longueur totale (LT), et en Gironde les individus de moins de 15 cm LT sont peu

retenus par le maillage du chalut (Chevillot et al., 2016).¹

Concernant les variations saisonnières, des tendances semblent émerger, mais elles nécessitent des interprétations prudentes (Figure 28). À Arzal, les plus petits individus sont majoritairement observés au printemps, tandis que les plus grands apparaissent en automne et en hiver. Cependant, la fiabilité des données hivernales à Arzal est limitée en raison de leur caractère incomplet (pas de données en décembre et janvier). Cette répartition pourrait refléter la migration reproductive automnale des mulets vers les zones côtières, suivie d'un retour des adultes vers les eaux douces après la période de reproduction.

Les mulets mesurés lors des campagnes STURAT présentent une tendance saisonnière qui, à première vue, semble opposée. En effet, les individus les plus grands sont observés au printemps et durant l'été, tandis que les plus petits sont observés en hiver. Il est possible que les plus gros individus aient migré en mer pour frayer en automne/hiver, laissant les plus petits poissons dans la zone d'échantillonnage. Le retour des plus gros poissons au printemps/été pourrait être lié à l'utilisation du milieu estuarien par les individus matures lors de cette période. Toutefois, ces différences apparentes entre Arzal et STURAT reflètent principalement des biais liés aux différences physiques des sites et aux méthodes d'échantillonnage employées. En réalité, ces observations traduisent les mêmes mouvements saisonniers des mulets, perçus différemment selon le contexte de suivi. Cette cohérence est en accord avec les connaissances actuelles sur le cycle de vie de l'espèce (Dindart et al., 2024).

En effet, les mulets effectuent une migration de reproduction vers les zones littorales en hiver. Ils colonisent ensuite les zones plus aval de l'estuaire à la fin de leur reproduction au printemps. Enfin, une partie des plus gros individus entreprend une migration trophique facultative vers les zones dulçaquicoles au début de l'été. Ces observations soulignent la complexité du cycle de vie des mulets tout en mettant en lumière le rôle complémentaire joué par les deux sites dans ce cycle. Ces tendances ne permettent toutefois pas de conclure à des différences saisonnières systématiques et significatives entre les deux zones.

La passe à poissons d'Arzal joue un rôle essentiel pour l'accès aux eaux douces après la migration de reproduction. Cependant, ce rôle doit être interprété avec prudence en raison de l'échantillonnage limité et des biais liés à la sélectivité de la passe. Les observations issues des campagnes STURAT reflètent davantage une dynamique d'abondance liée aux migrations saisonnières qu'une représentation

¹ L'utilisation de données recueillies en Gironde dans le cadre d'un autre protocole, ciblant les individus de petite taille, permettrait d'éclairer la colonisation initiale de l'estuaire par les mulets.

exhaustive des populations présentes.

En conclusion, ces deux zones semblent remplir des fonctions complémentaires dans le cycle biologique annuel des mulets. Des analyses supplémentaires seraient nécessaires pour affiner notre compréhension des mécanismes écologiques sous-jacents.

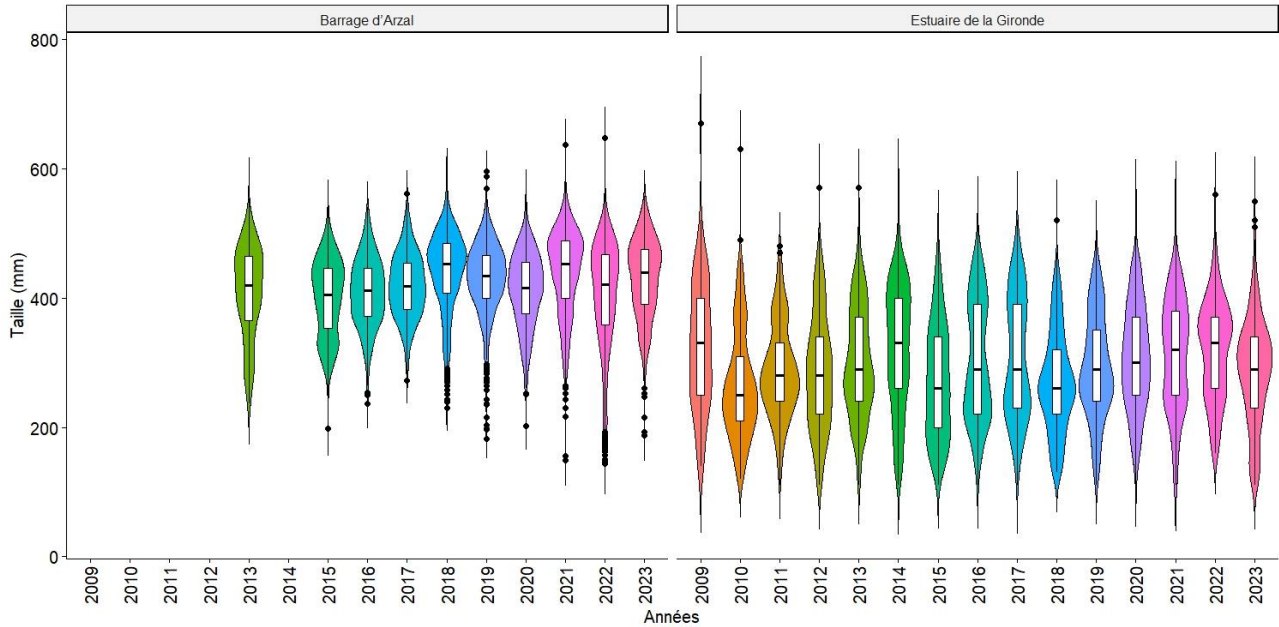


Figure 27 : Distribution en longueur totale (LT) des mulets porcs franchissant le barrage d'Arzal (gauche) et échantillonnés en Gironde par le protocole STURAT (droite) entre 2009 et 2023. Les années 2009-2012 et 2014 sont manquantes pour le barrage d'Arzal.

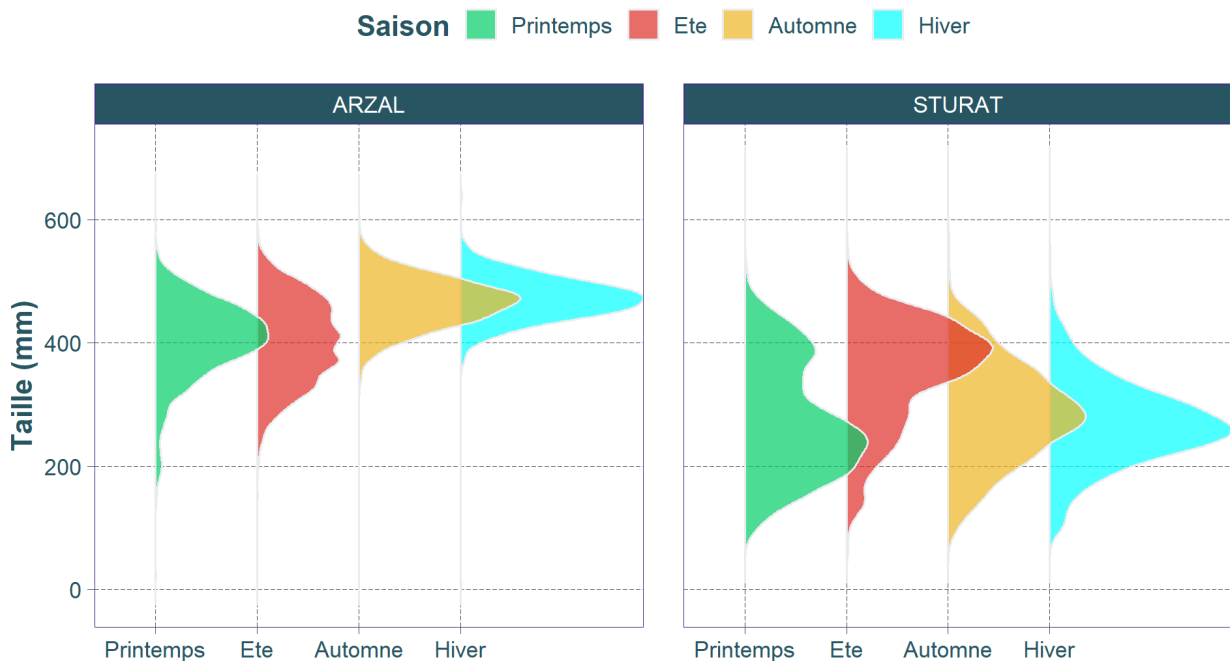


Figure 28 : Distribution saisonnière (Ici la définition des saisons est basée sur les solstice et équinoxe) en longueur totale (LT) des

III.7. Évolution des populations

L'analyse comparative des variations annuelles des effectifs franchissant le barrage d'Arzal et du nombre de captures estimées lors des campagnes STURAT a pour but de mieux comprendre la dynamique des populations de l'estuaire de la Vilaine et de la Gironde (Figure 29).

Compte tenu des effectifs très importants de mulets franchissant la passe d'Arzal chaque année, les comptages n'ont pas été effectués sur l'ensemble de la période de suivi de la passe. Cela explique les années manquantes entre 1997 et 2013.

Les deux figures illustrent des dynamiques différentes. En Vilaine, les mulets sont très nombreux à franchir le barrage d'Arzal, plusieurs centaines de milliers d'individus par an. Les effectifs de passages montrent des variations interannuelles importantes, un maximum autour de 2015, mais l'analyse indique une diminution globale des effectifs dénombrés, avec notamment les plus faibles franchissements observés ces dernières années.

Les captures estimées lors des campagnes STURAT montrent de fortes fluctuations interannuelles, avec des pics marqués en 2013 et 2019, mais sans tendance globale nette à la hausse ou à la baisse sur l'ensemble de la période 2009–2023.

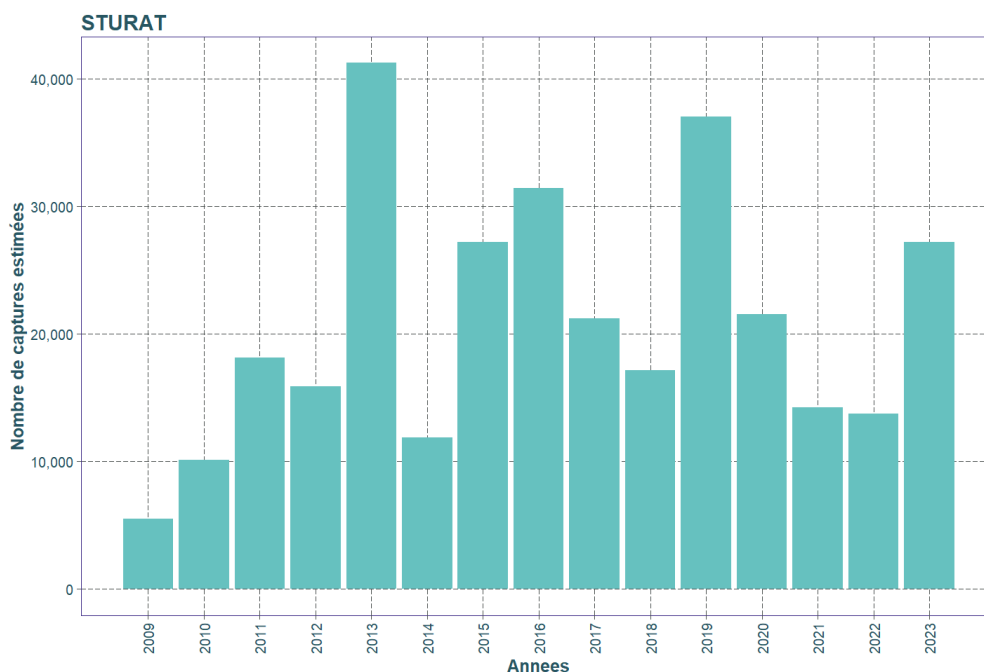
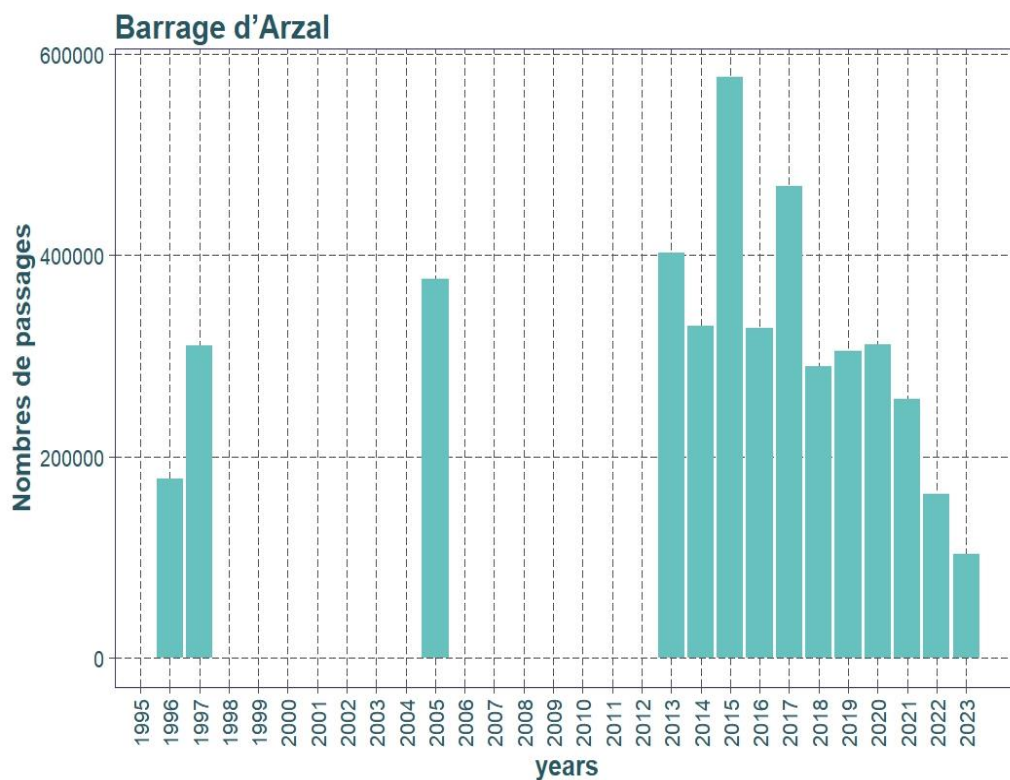


Figure 29 Evolution interannuelle des effectifs de muets porc, tous stades confondus, franchissant le barrage d'Arzal (haut) et du nombre de captures estimées issues des campagnes STURAT dans l'estuaire de la Gironde (bas).

III.8. Conclusion

L'analyse met en évidence des dynamiques différentes entre les deux sites d'études. La passe à poisson et les campagnes de pêche scientifique STURAT reflètent des fonctionnements écologiques différents liés aux caractéristiques spécifiques de chaque site. En effet, Arzal constitue un point de passage obligatoire pour l'accès au milieu amont pour les mulets. Les deux types de suivi mobilisés présentent également une sélectivité et une fréquence d'échantillonnage différentes.

La passe à poisson d'Arzal limite l'accès des juvéniles aux habitats amonts qui est explicable par les moins bonnes capacités d'osmoregulation des juvéniles (Blaber & Crosetti, 2016). Cette contrainte se traduit par des longueurs moyennes plus élevées des individus qui franchissent. Les individus échantillonnés lors des campagnes STURAT présentent quant à eux des gammes de longueur plus larges. Cela suggère que le barrage d'Arzal réduit la possibilité de refuges et de nurseries. À l'inverse, l'estuaire de la Gironde semble être un habitat présentant une variété plus importante d'habitats potentiels accessibles sans obstacle.

Les résultats suggèrent également une période de reproduction débutant à partir des mois d'octobre et novembre, marquée par une augmentation de l'indice gonadosomatique (IGS) à cette période. La migration de reproduction vers le milieu marin pourrait ainsi expliquer la diminution des effectifs d'adultes durant l'hiver dans l'estuaire de la Gironde.

Des différences saisonnières marquées apparaissent entre les deux sites : à Arzal, les individus sont majoritairement adultes. Les moins grands d'entre eux prédominent au printemps, tandis que les plus grands franchissent le barrage en automne et en hiver. Il est donc possible que les reproducteurs effectuent des mouvements entre les habitats en amont et en aval du barrage durant l'époque de la migration de reproduction.

En revanche, les campagnes STURAT reflètent une tendance différente, avec de plus gros individus observés au printemps et en été, et des plus petits en hiver. Ce schéma confirmerait qu'une partie des adultes qui ne sont pas présents en automne/hiver seraient en mer pour frayer avant de revenir dans l'estuaire au printemps.

Les données interannuelles soulignent une diminution nette des effectifs franchissant le barrage d'Arzal depuis 2015. À l'inverse, les données STURAT, bien que fluctuantes, ne montrent pas de tendance.

En résumé, cette analyse suggère que la période de reproduction des mulets pour la population de Gironde se déroulerait à la fin de l'automne et au début de l'hiver, caractérisée par un indice gonadosomatique (IGS) plus élevé et des mouvements

migratoires significatifs. L'estuaire de la Gironde semble offrir plus d'habitats potentiels pour les jeunes stades, ce qui pourrait permettre aux populations d'être plus résilientes face aux pressions anthropiques.

IV. Conclusion

Ce rapport met en lumière les enjeux et avancées liées à la gestion durable des populations de mugilidés, et plus spécifiquement du mulot porc (*Chelon ramada*), en France métropolitaine. Cette approche globale combinant l'étude taxonomique, la distribution géographique et le fonctionnement des populations a permis d'enrichir les connaissances actuelles.

Le travail de confrontation des clés morphologiques à des identifications génétiques a révélé que l'identification des espèces de mugilidés reste un obstacle important à la collecte de données fiables. Les similitudes morphologiques entre les espèces, ainsi que la fiabilité limitée des clés d'identification actuellement disponibles peuvent générer des confusions, même pour des individus de grande taille. Pour pallier ces limites, l'intégration de méthodes génétiques et de nouveaux critères morphologiques s'avèrent nécessaire.

L'étude de la répartition ainsi que le travail de modélisation effectué a permis d'enrichir les connaissances sur cette famille, mais a également soulevé quelques contradictions. Les résultats montrent une grande variabilité régionale, tant en milieu marin qu'en eaux de transition et dulçaquicoles. La façade méditerranéenne abrite une diversité importante de mugilidés mais des incohérences subsistent notamment pour le mulot porc. En milieu estuarien et dulçaquicole, les données révèlent des comportements migratoires différents selon les espèces et les régions. Les prédictions des modèles semblent s'accorder avec l'écologie connue du mulot porc tandis que des interrogations subsistent pour le mulot lippu. Les incohérences relevées sont probablement liées à des confusions d'identification ou à des présences exceptionnelles. Ces résultats mettent ainsi en évidence des lacunes importantes dans la compréhension de l'utilisation des habitats par cette famille. Il serait donc important de poursuivre ce travail en réalisant des prélèvements génétiques ciblés pour confirmer ou infirmer ces hypothèses.

L'analyse comparée des populations de la Vilaine et de la Gironde montre des dynamiques contrastées. Ces différences sont probablement liées aux caractéristiques environnementales et anthropiques propres à chaque site. Le barrage d'Arzal agit comme un obstacle à la migration. Il limite ainsi l'accès aux habitats amont notamment pour les jeunes stades. À l'inverse, l'estuaire de la Gironde est un milieu ouvert qui présente une plus large diversité d'habitats favorables. Cette étude confirme également la saisonnalité des migrations et des périodes de reproduction, avec vraisemblablement un pic d'activité reproductrice à l'automne-hiver pour l'estuaire de la Gironde.

Ce rapport souligne la nécessité d'actions coordonnées pour une gestion durable des mugilidés. Ainsi, il serait important de réviser les clés d'identification en y intégrant des approches génétiques et des critères morphologiques vérifiés. Cela permettrait à terme d'améliorer la fiabilité des données collectées sur le terrain.

De la même façon, il serait important le développement des inventaires d'ADNe qui permettent une identification spécifique fiable pour préciser les distributions actuelles

En parallèle, il est important de continuer à sensibiliser et à mobiliser les acteurs locaux sur les problématiques liées à cette famille. Cela débute par l'élaboration d'outils et des données robustes qui permettrait de mieux intégrer les mugilidés dans les Plans de Gestion des Poissons Migrateurs (Plagepomi) et les stratégies des Comités de gestion (Cogepomi).

En conclusion, ce rapport a permis de renforcer les connaissances pour mieux comprendre et conserver les populations de mugilidés en France métropolitaine. Cependant, des efforts supplémentaires sont indispensables pour harmoniser les connaissances et les pratiques à l'échelle nationale pour mieux assurer la pérennité de ces espèces d'intérêt écologique et économique.

Bibliographie

- Adam, G. (2020). *Plan national d'actions 2020-2029 en faveur de l'esturgeon européen Acipenser sturio*. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/PNA-Esturgeon%202020-2029-250520.pdf>
- Bartulović, V., Dulčić, J., Matić-Skoko, S., & Glamuzina, B. (2011). Reproductive cycles of *Mugil cephalus*, *Liza ramada* and *Liza aurata* (Teleostei : Mugilidae). *Journal of Fish Biology*, 78(7), 2067-2073. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.02953.x>
- Blaber, S. J. M., & Crosetti, D. (2016). *Biology, Ecology and Culture of Grey Mullet (Mugilidae)*.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- Briand, C., Sauvaget, B., & Eriau, G. (2023). *Suivi de la dévalaison d'anguilles argentées en 2021 - 2022 (dixième année) sur la Vilaine à l'aide d'un DIDSON*. (p. 42). EPTB Vilaine.
- Brosse, L. (2003). *Caractérisation des habitats des juvéniles d'esturgeon européen, Acipenser sturio, dans l'estuaire de la Gironde : Relations trophiques, hiérarchisation et vulnérabilité des habitats* (p. 258) [Phdthesis, Doctorat Ecologie Aquatique, Université Paul Sabatier, Toulouse III]. <https://hal.inrae.fr/tel-02581849>
- Chevillot, X., Pierre, M., Rigaud, A., Drouineau, H., Chaalali, A., Sautour, B., & Lobry, J. (2016). Abrupt shifts in the Gironde fish community : An indicator of ecological changes in an estuarine ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, 549, 137-151. <https://doi.org/10.3354/meps11681>
- De Silva, S. S. (1980). Biology of juvenile grey mullet : A short review. *Aquaculture*, 19(1), 21-36. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(80\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(80)90004-6)
- Dindart, T., Beaulaton, L., Briand, C., & Rochard, E. (2024). *Stratégie écologique et histoire de vie du mullet porc (Chelon ramada)*.
- Duhamet, A., Albouy, C., Marques, V., Manel, S., & Mouillot, D. (2023). The global depth range of marine fishes and their genetic coverage for environmental DNA metabarcoding. *Ecology and Evolution*, 13(1). <https://doi.org/10.1002/ece3.9672>
- Durand, J.-D., Shen, K.-N., Chen, W.-J., Jamandre, B. W., Blel, H., Diop, K., Nirchio, M., Garcia de León, F. J., Whitfield, A. K., Chang, C.-W., & Borsa, P. (2012). Systematics of the grey mullets (Teleostei : Mugiliformes: Mugilidae): Molecular phylogenetic evidence challenges two centuries of morphology-based taxonomy. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 64(1), 73-92. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2012.03.006>
- Ergene, S. (2000). Reproduction Characteristics of Thinlip Grey Mullet, *Liza ramada* (Risso 1826) Inhabiting Akgöl-Paradeniz Lagoons (Göksu Delta). *TURKISH JOURNAL OF ZOOLOGY*, 24(2), 159-164.
- Garren, F., Iglesias, S., Verin, Y., Quero, J. C., Porche, P., Vayne, J.-J., Martin, J., Dufour, J.-L., Roy, D. L., Rostiaux, É., Martin, S., Mahe, K., Barreau, T., & Spitz, J. (2015). *Fiches d'aide à*

l'identification Poissons, céphalopodes, décapodes et crustacés mer du Nord, Manche, Golfe de Gascogne et mer Celtique.

- Garren, F., Verin, Y., Dufour, J.-L., Mahe, K., Le Roy, D., & Emilie, R. (2003). *Fiches d'aide à l'identification. Poissons et céphalopodes de Manche et de mer du Nord.*
- Gautier, D., & Hussenot, J. (2005). *Les Mulets Des Mers D'Europe : Synthèse Des Connaissances Sur Les Bases Biologiques Et Les Techniques D'aquaculture.* Editions Quae.
- González-Ferreras, A. M., Barquín, J., & Peñas, F. J. (2016). Integration of habitat models to predict fish distributions in several watersheds of Northern Spain. *Journal of Applied Ichthyology*, 32(1), 204-216. <https://doi.org/10.1111/jai.13024>
- Keith, P. (avec Poulet, N., Denys, G., Changeux, T., Feunteun, E., & Persat, H.). (2020). *Les Poissons d'eau douce de France.* Biotope edition-Museum National d'histoire naturelle. <https://sciencepress.mnhn.fr/fr/collections/inventaires-biodiversite/les-poissons-d-eau-douce-de-france-2e-edition>
- Koutrakis, E. T. (2011). Reproductive biology of two grey mullet species (Actinopterygii: Mugiliformes: Mugilidae) in a northern Aegean Sea estuarine system. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*, 41(1), 37-46. <https://doi.org/10.3750/AIP2011.41.1.06>
- Lamour, M., Le Barh, R., Merg, M.-L., Grasso, F., Quinton, E., Rochard, E., Le Pichon, C., & Acolas, M.-L. (2024). Using simulated environmental variables to assess the seasonal estuarine habitat selection of a critically endangered anadromous species (*Acipenser sturio*). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 298, 108656. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108656>
- Lasserre, P., & Gallis, J.-L. (1975). Osmoregulation and differential penetration of two grey mullets, *Chelon labrosus* (Risso) and *Liza ramada* (Risso) in estuarine fish ponds. *Aquaculture*, 5(4), 323-344. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(75\)90053-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(75)90053-8)
- Lepage, M., Amara, R., Boët, P., Courrat, A., Delpech, C., Durozoi, B., Laffargue, P., Le Pape, O., Lobry, J., Pascaud, S., & Girardin, M. (2009). *Développement d'un indicateur poisson pour les eaux de transition : Programme LITEAU2 2005* (p. 200-203).
- Manel, S., Mathon, L., Mouillot, D., Bruno, M., Valentini, A., Lecaillon, G., Gudefin, A., Deter, J., Boissery, P., & Dalongeville, A. (2024). Benchmarking fish biodiversity of seaports with eDNA and nearby marine reserves. *Conservation Letters*, e13001. <https://doi.org/10.1111/conl.13001>
- Mateo, M., Drouineau, H., Pella, H., Beaulaton, L., Amilhat, E., Bardonnnet, A., Domingos, I., Fernández-Delgado, C., De Miguel Rubio, R., Herrera, M., Korta, M., Zamora, L., Díaz, E., & Briand, C. (2022). *Atlas of European Eel Distribution (Anguilla anguilla) in Portugal, Spain and France.* Zenodo. <https://zenodo.org/record/6384022>
- Muff, M., Jaquier, M., Marques, V., Ballesta, L., Deter, J., Bockel, T., Hocdé, R., Juhel, J., Boulanger, E., Guellati, N., Fernández, A. P., Valentini, A., Dejean, T., Manel, S., Albouy, C., Durville, P., Mouillot, D., Holon, F., & Pellissier, L. (2023). Environmental DNA highlights fish biodiversity in mesophotic ecosystems. *Environmental DNA*, 5(1), 56-72. <https://doi.org/10.1002/edn3.358>

- Nicolas, D., Contournet, P., Hilaire, S., Crassard, T., Luna-Laurent, E., Milesi, D., Leborne, F., Boulongne, P., Parent, M., Boutron, O., Poulin, B., & Thibault, M. (2021). *Etude de la connectivité hydrobiologique entre le milieu marin et le complexe lagunaire du Vaccarès via les Étangs et Marais des Salins de Camargue (EMSC)*.
- Pella, H., Lejot, J., Lamouroux, N., & Snelder, T. (2012). Le réseau hydrographique théorique (RHT) français et ses attributs environnementaux. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 18(3), Article 3. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.9933>
- Ramos-Júdez, S., Estévez, A., González-López, W. Á., & Duncan, N. (2023). Lipid and fatty acid composition of muscle, liver, ovary, and peritoneal fat in wild flathead grey mullet (*Mugil cephalus*) according to ovarian development. *Theriogenology*, 198, 317-326. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.12.046>
- Rochard, E. (1992). *Mise au point d'une méthode de suivi de l'abondance des amphihalins dans le système fluvio-estuarien de la Gironde, application à l'étude écobiologique de l'esturgeon *Acipenser sturio** (p. 300) [Phdthesis, Doctorat Biologie des populations et écosystèmes, Université de Rennes I]. <https://hal.inrae.fr/tel-02575170>
- Rochard, É., & Elie, P. (1994). *La macrofaune aquatique de l'estuaire de la Gironde. Contribution au livre blanc de l'Agence de l'Eau Adour Garonne*.
- Rochard, E., Lepage, M., Dumont, P., Tremblay, S., & Gazeau, C. (2001). Downstream migration of juvenile European sturgeon *Acipenser sturio* L. in the Gironde estuary. *Estuaries*, 24(1), 108.
- Sagi, G., & Abraham, M. (1984). *Photoperiod and ovarian activity in the grey mullet *Liza ramada* (pisces : Mugilidae)*. 11.
- Sanchez, L., Boulanger, E., Arnal, V., Boissery, P., Dalongeville, A., Dejean, T., Deter, J., Guellati, N., Holon, F., Juhel, J.-B., Lenfant, P., Leprieur, F., Valentini, A., Manel, S., & Mouillot, D. (2022). Ecological indicators based on quantitative eDNA metabarcoding: The case of marine reserves. *Ecological Indicators*, 140, 108966. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108966>
- Sauriau, Robin, & Marchand. (1994). *Effects of the excessive organic enrichment of the Loire Estuary on the downstream migratory patterns of the amphihaline grey mullet *Liza ramada* (Pisces : Mugilidae)*. Olsen & Olsen.
- Tomanova, S., Tedesco, P. A., Roset, N., Berrebi Dit Thomas, R., & Belliard, J. (2013). Systematic point sampling of fish communities in medium- and large-sized rivers : Sampling procedure and effort. *Fisheries Management and Ecology*, 20(6), 533-543. <https://doi.org/10.1111/fme.12045>
- Trancart, T. (2011). *Analyse comparative des tactiques déployées lors de la migration de colonisation des bassins versants par les poissons migrateurs amphihalins thalassotoques* [PhD Thesis]. Bordeaux 1.
- Veron, P., Rozanski, R., Marques, V., Joost, S., Deschez, M. E., Trenkel, V. M., Lorange, P., Valentini, A., Polanco F., A., Pellissier, L., Eme, D., & Albouy, C. (2023). Environmental DNA complements scientific trawling in surveys of marine fish biodiversity. *ICES Journal of Marine Science*, 80(8), 2150-2165. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad139>

Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population
du mulot porc (*Chelon ramada*) 61/74

Annexes

Annexe 1 : Mulet porc « type » correctement identifié



Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population
du mulet porc (*Chelon ramada*) 62/74



Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population
du mulot porc (*Chelon ramada*) 63/74







Annexe 2 : Mulet lippu « type » correctement identifié





Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population
du mulot porc (*Chelon ramada*) 67/74



Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population
du mulot porc (*Chelon ramada*) 68/74

Annexe 3 : Mulet doré « type » correctement identifié





Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

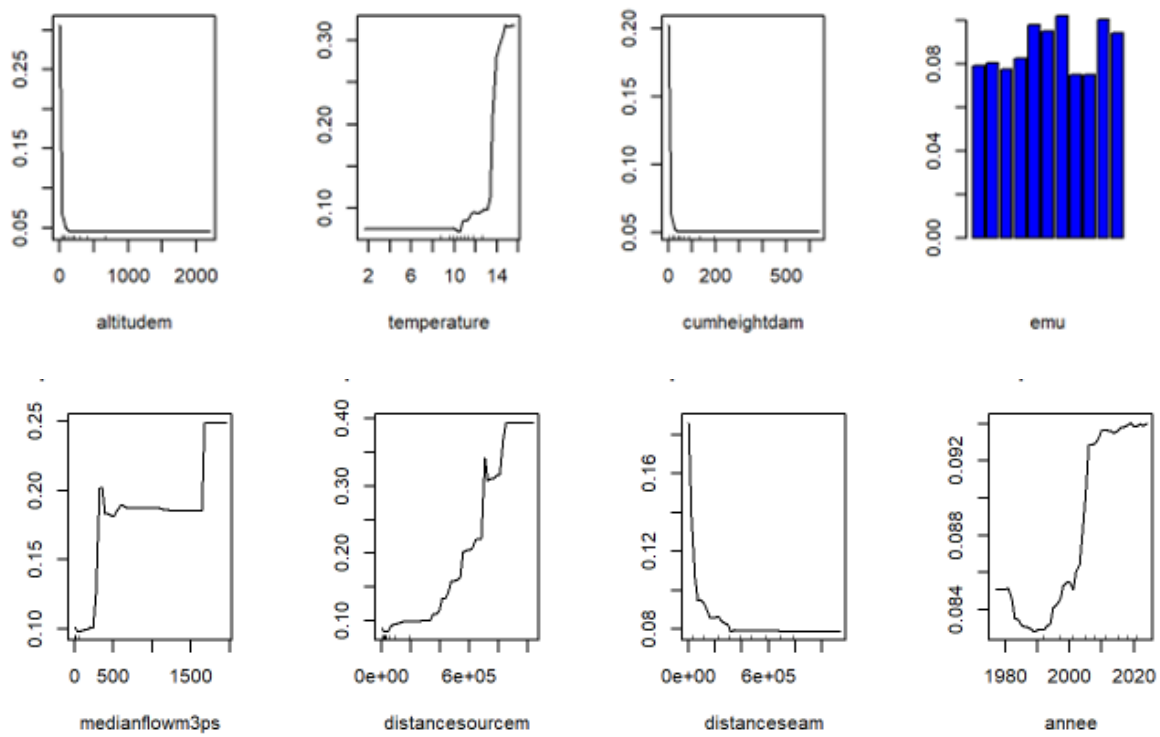
Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population
du mulot porc (*Chelon ramada*) 70/74



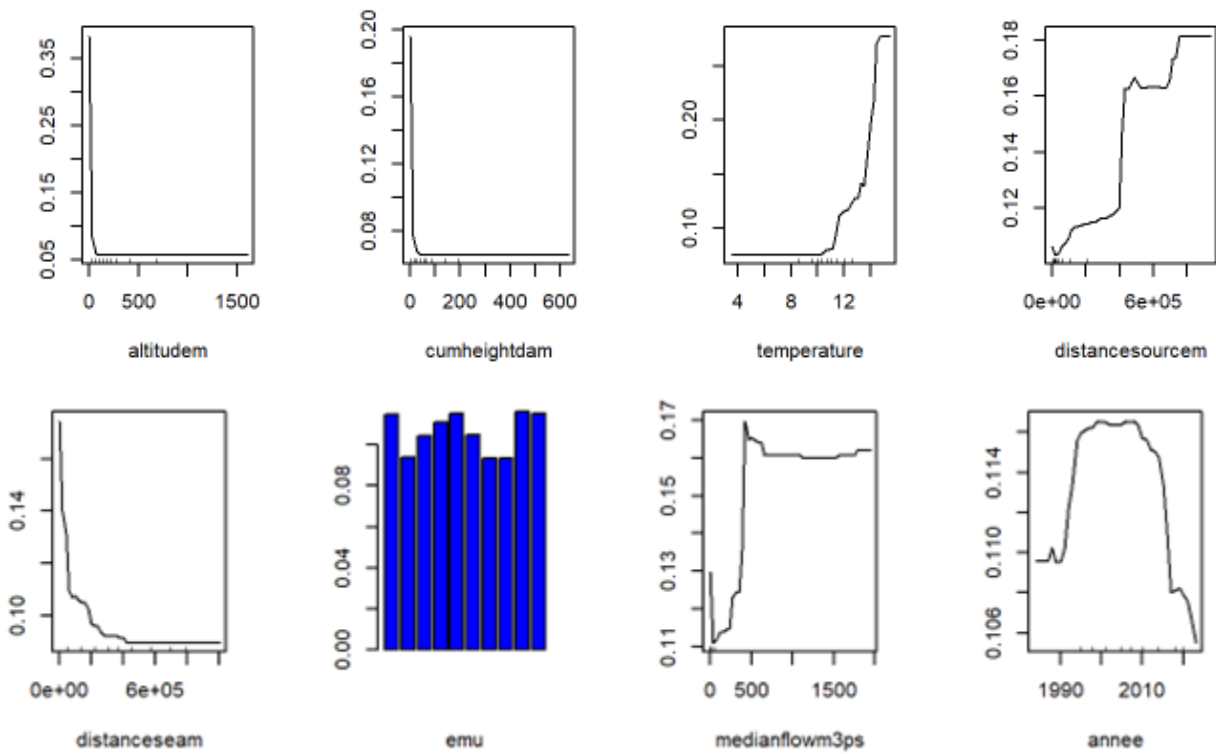
Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement

Identification et distribution des mugilidés de France et dynamique de population
du mullet porc (*Chelon ramada*) 71/74

Annexe 4 : Dépendance partielle des variables altitudes, température, hauteur cumulée des barrages, régions, débit, distance à la mer et année du modèle random forest du mullet porc



Annexe 5 : Dépendance partielle des variables altitudes, hauteur cumulée des barrages, température, distance a la source, distance a la mer, régions, débit, et année du modèle random forest du mullet lippu



Annexe 6 : Individu identifié comme *Mugil cephalus* (en haut) et deux individus identifiés comme *Chelon ramada* (en bas), échantillonnés lors de campagnes de pêche scientifique menées par l'unité EABX durant l'hiver 2024.





**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Avec le soutien financier de :



<https://www.ofb.gouv.fr/>



<http://www.inrae.fr/>



<https://www.institut-agro-rennes-angers.fr/>



www.univ-pau.fr