

**Suivi des populations d'aloses sur le bassin versant de la Charente en 2024 :**  
**migration, reproduction et pressions subies.**



Stage réalisé du 4 mars au 30 août 2024

EPTB Charente, 5 rue Chante Caille, Saintes (Charente-Maritime)

Tuteur de stage : **POSTIC-PUIVIF Audrey**, Chef de projets Poissons Migrateurs

Présenté par **GUAY Charline**

Master 2 de Biodiversité, Ecologie, Evolution parcours Mer, Anthropisation, Diagnostic

Faculté des Sciences, Université d'Angers

2 Boulevard Lavoisier, 49045 Angers

Année universitaire 2023-2024

Tuteur académique : **SCHWEIZER Magali**

Date de soutenance : mardi 3 septembre – mercredi 4 septembre 2024

Université d'Angers Faculté des Sciences 2 Boulevard Lavoisier 49045 Angers	Master 2 Biodiversité Ecologie Evolution Parcours Mer, Anthropisation, Diagnostic
Responsable du parcours MAD de Master 2 : <b>GESLIN Emmanuelle</b>	
Auteur du rapport : <b>GUAY Charline</b>	Organisme d'accueil : <b>EPTB Charente</b>
Année universitaire 2023-2024	Maître de stage : <b>POSTIC-PUIVIF Audrey</b> , Chef de projets Poissons Migrateurs

**Titre du rapport :** Suivi des populations d'aloses sur le bassin versant de la Charente en 2024 : migration, reproduction et pressions subies.

**Résumé :**

Le bassin versant de la Charente est un territoire crucial pour la reproduction et la migration des poissons migrateurs amphihalins, en particulier les aloses. Ces espèces, en déclin depuis le XXe siècle, subissent des pressions anthropiques et naturelles qui perturbent leur cycle de vie, rendant nécessaire une gestion attentive pour leur conservation. Plusieurs suivis annuels de la reproduction des aloses dans la Charente permettent de fournir des données qualitatives et quantitatives sur la dynamique de ces populations. Cette étude se concentre sur l'estimation du nombre de géniteurs d'aloise feinte à la frayère de Taillebourg, où des enregistrements acoustiques ont permis de quantifier l'activité des "bulls", un comportement spécifique de reproduction. Le dénombrement des géniteurs, obtenu par un échantillonnage non invasif, sert d'indicateur, analysé en relation avec les facteurs abiotiques du milieu de fraie. En 2024, une estimation statistique utilisant la méthode Partial Linear Square Regression a révélé que 3 767 géniteurs d'aloise feinte se sont reproduits à Taillebourg, contre 3 143 en 2023. L'activité de reproduction a montré une variation temporelle marquée, étroitement liée à la température de l'eau et au débit. Les résultats suggèrent que les conditions environnementales observées en 2024 laissent espérer une meilleure situation pour les populations d'aloses par rapport à 2023. En conclusion, cette étude a pour but de fournir des indicateurs fiables pour comprendre la dynamique des populations d'aloses dans la Charente et proposer des mesures concrètes pour leur conservation durable.

**Mots clés :** Aloses feintes, bull, estimation de géniteurs, frayère, indicateur

**Abstract :**

The Charente watershed is a crucial area for the reproduction and migration of amphihaline migratory fish, particularly shad. These species, which have been in decline since the 20th century, face both anthropogenic and natural pressures that disrupt their life cycles, making careful management essential for their conservation. Several annual monitoring efforts of shad reproduction in the Charente provide qualitative and quantitative data on the dynamics of these populations. This study focuses on estimating the number of allis shad breeders at the Taillebourg spawning ground, where acoustic recordings have been used to quantify "bulls," a specific reproductive behavior. The counting of breeders, obtained through non-invasive sampling, serves as an indicator, analyzed in relation to the abiotic factors of the spawning environment. In 2024, a statistical estimate using the Partial Linear Square Regression method revealed that 3,767 allis shad breeders spawned at Taillebourg, compared to 3,143 in 2023. The reproductive activity showed significant temporal variation, closely linked to water temperature and flow rate. The results suggest that the environmental conditions observed in 2024 offer hope for an improved situation for shad populations compared to 2023. In conclusion, this study aims to provide reliable indicators to understand the dynamics of shad populations in the Charente and propose concrete measures for their sustainable conservation.

**Keyword :** Twaité shad, bull, breeder estimation, spawning ground, indicator

 ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

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

Signature :



## Remerciements

Tout d'abord, je souhaite exprimer ma profonde gratitude à Audrey POSTIC-PUIVIF, mon maître de stage. Merci pour ton accueil chaleureux, ta disponibilité face à mes nombreuses questions, tes précieux conseils et tout ce que tu m'as enseigné tout au long de ce stage. Je te remercie également de m'avoir fait partager ta passion pour les aloses.

Je tiens également à remercier la team "Poissons" de l'EPTB. Un grand merci à Yann DAVITOGLU (chargé de mission) et Romain MALIGNE (technicien supérieur) pour leur bonne humeur, que ce soit au bureau ou lors des suivis des aloses. Merci à Yann pour sa disponibilité, ses conseils et ses réponses à mes interrogations. Une pensée à Léanne JACOB (technicienne supérieure) qui s'est blessée au tout début de la saison et que je n'ai malheureusement pas pu revoir avant la fin de mon stage pour partager de moments ensemble et échanger sur les poissons migrateurs. Bon rétablissement !

Je tiens à remercier chaleureusement Éric BUARD (chargé de mission CAPENA) et François ALBERT (chargé de mission MIGADO) pour m'avoir donné l'occasion de découvrir d'autres suivis réalisés par la Cellule Migrateurs. Merci également pour votre enthousiasme, vos partages d'expériences, et pour avoir transmis votre passion pour les poissons migrateurs.

Un grand merci à Ludivine PARAGOT (stagiaire MIGADO) et Maxime GUINEE (technicien supérieur MIGADO) pour les moments passés ensemble sur le terrain et pour les nuits aloses.

Merci à Rémy GUERDIN (chargé de mission EPTB) pour son aide dans l'analyse des résultats mais aussi pour sa présence lors d'une nuit alose, qui sans lui, n'aurait pas pu être faite.

Je tiens également à remercier Elise GALLY (stagiaire EPTB), ma camarade stagiaire et colocataire de bureau, pour m'avoir supportée pendant ces six mois passés ensemble. Merci pour tes conseils, ton intérêt pour mon stage et pour "mes" aloses.

Merci également aux Services Départementaux de la Charente et de la Charente-Maritime pour leur aide dans la réalisation des comptages nocturnes.

Un immense merci également à Adrien pour son soutien précieux dans la rédaction de ce rapport !

Enfin, je tiens à adresser un grand merci à toute l'équipe de l'EPTB pour m'avoir permis de réaliser ce stage dans une ambiance toujours positive. Votre accueil chaleureux, ainsi que les repas et moments partagés ensemble, ont rendu cette expérience d'autant plus agréable.

## Table des matières

1.	Introduction.....	1
1.1.	Les poissons migrateurs amphihalins.....	1
1.2.	Les aloses .....	1
1.3.	Zone d'étude .....	6
2.	Matériels et méthodes .....	9
2.1.	Acquisition des variables environnementales .....	9
2.2.	Méthodes de suivis.....	10
2.2.1.	Suivi quantitatif de la reproduction des aloses feintes à la frayère de Taillebourg.....	10
2.2.2.	Analyse des données.....	12
2.2.3.	Suivi qualitatif de la reproduction des aloses feintes et des grandes aloses dans les frayères de la Charente 15	
2.2.4.	Front de migration des aloses feintes et des grandes aloses .....	16
3.	Résultats.....	16
3.1.	Suivi quantitatif de la reproduction des aloses feintes à la frayère de Taillebourg.....	16
3.1.1.	Résultats bruts .....	16
3.1.2.	Résultats manquants.....	20
3.2.	Suivi qualitatif de la reproduction des aloses feintes et des grandes aloses dans les frayères de la Charente	25
3.3.	Front de migration.....	26
4.	Discussion.....	26
4.1.	Influence des conditions environnementales sur la migration et la reproduction des aloses .....	26
4.2.	Pressions anthropiques et biotiques sur les aloses .....	28
4.3.	La frayère de Taillebourg : estimation du nombre de géniteurs .....	29
4.4.	Conclusion et perspectives.....	31
5.	Bibliographie.....	32

## Liste des figures et des tableaux

Figure 1 : Répartition géographique en France de la grande alose (à gauche) et de l’alose feinte (à droite). Source Keith et al, 2020.....	2
Figure 2 : Morphologie de la grande alose (à gauche) et de l’alose feinte (à droite). Source Louisy et al, 2013.....	2
Figure 3 : Cycle biologique de l’alose feinte (André et al., 2018).....	3
Figure 4 : Localisation du bassin versant de la Charente sur la façade atlantique.....	7
Figure 5 : Localisation des frayères recensées sur la Charente. ....	8
Figure 6 : Matériels d'enregistrement utilisés pour le suivi de la reproduction de l'alose en 2024, avec l'Olympus (à gauche) et la SMM (à droite).....	11
Figure 7 : Matrice de corrélation de Spearman entre les variables environnementales et le nombre de bulls entendus sur l’Olympus et sur la SMM. Les corrélations positives sont en rouge (Plus le rouge est foncé, plus la corrélation est forte) tandis que les corrélations négatives sont en bleues (Plus le bleu est foncé, plus la corrélation est forte). Les couleurs claires représentent des corrélations faibles, proches de 0. La taille des cercles est proportionnelle à la force de la corrélation. Plus le cercle est grand, plus la corrélation est forte (qu'elle soit positive ou négative). La légende à droite montre l'échelle des corrélations. Elle aide à interpréter les couleurs des cercles en termes de coefficient de corrélation. ....	13
Figure 8 : Nombre de bulls attaqués et non attaqués enregistré par l’enregistreur Olympus au cours des 27 nuits échantillonnées à Taillebourg en relation avec la température de l’eau à Taillebourg et le débit moyen à Saint-Savinien. Le nombre de bulls lors des 82 autres nuits est inconnu. ....	17
Figure 9 : Nombre de bulls attaqués et non attaqués enregistré par la SMM au cours des 14 nuits échantillonnées à Taillebourg en relation avec la température de l’eau à Taillebourg et le débit moyen à Saint-Savinien. Le nombre de bulls lors des 37 autres nuits n’est pas connu. ....	17
Figure 10 : Nombre de bulls cumulés enregistré par l’enregistreur Olympus (en haut) et la SMM (en bas) sur la frayère de Taillebourg par quart d’heure échantillonné. ....	18
Figure 11 : Représentation des variations de débit au cours de ces quatre dernières années. ....	19
Figure 12 : Nombre cumulé de bulls entendu sur les quarts d’heure dépouillés et prédit sur les quarts d’heure manquants pour la frayère de Taillebourg en 2023. (en haut pour l’Olympus, en bas pour la SMM). ....	22
Figure 13 : Schéma expliquant la méthode pour obtenir l'estimation du nombre de géniteurs pour la SMM sur l'ensemble de la saison. ....	24
Figure 14 : Cartographie représentant l’activité des frayères sur le bassin de la Charente pour la saison 2024. ....	25
Figure 15 : Estimation du nombre de géniteurs d’alose feinte calculé par année depuis 2014. ....	29

Tableau 1 : Comparaison entre les deux méthodes d'enregistrement. ....	20
Tableau 2 : Importance des variables prédictives (VIP) dans la prédiction du nombre de bulls du modèle PLSR à 4 composantes pour l'Olympus. Un VIP > 1 traduit une contribution forte de la variable.....	21
Tableau 3 : Importance des variables prédictives (VIP) dans la prédiction du nombre de bulls du modèle PLSR à 3 composantes pour la SMM. Un VIP > 1 traduit une contribution forte de la variable.....	21
Tableau 4 : Coefficient multiplicateur calculés à partir du nombre total de bulls cumulé entendu pendant les quarts d'heure dépouillés et prédit pour les quarts d'heures non dépouillés. Les valeurs en noir correspondent aux données de l'Olympus et en bleu à la SMM.....	23
Tableau 5 : Nombre total de bulls estimé à Taillebourg pour la saison 2024. Les valeurs en noir correspondent aux données de l'Olympus et en bleu à la SMM.....	23
Tableau 6 : Nombre maximal de bulls par quart d'heure et par frayère en aval de Crouin depuis 2013, avec dégradé de couleur suivant le maximum connu par frayère (vert = maximum et rouge = minimum). ....	26

## Préambule

Suite à la sécheresse historique de 1976, l'Institution du fleuve Charente a été créée l'année suivante par les Conseils généraux de la Charente, la Charente-Maritime, les Deux-Sèvres et la Vienne. Ce n'est qu'en 2007 que l'Institution est reconnue comme Etablissement Public Territorial du Bassin (EPTB) de la Charente. En 2017, l'EPTB est devenu un Syndicat Mixte Ouvert et a changé ses statuts pour pouvoir étendre sa composition aux Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI), aux syndicats de rivières et à la Région. Ces différentes structures ont alors collaboré ensemble pour une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau au niveau du bassin de la Charente. Les diverses études et travaux réalisés vont permettre d'améliorer le régime hydraulique du fleuve aussi bien en crue qu'en étiage mais aussi le maintien et la reconquête de la qualité des eaux et des milieux aquatiques, la valorisation touristique du fleuve et de ses affluents (EPTB Charente, 2023).

Depuis 2009, l'EPTB Charente s'est associé au Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement de Nouvelle-Aquitaine (CAPENA) et à l'association Migrateurs Garonne Dordogne Charente Seudre (MIGADO) pour former la Cellule Migrateurs des bassins Charente et Seudre (CMCS). Ces deux structures sont des associations qui réalisent des missions différentes liées à l'environnement comme le développement de l'aquaculture, de la conchyliculture et de la pêche, la préservation des zones humides et la gestion des zones littorales pour CAPENA ou bien la production piscicole, la conservation et la réintroduction d'espèces, le suivi des milieux aquatiques, l'éducation à l'environnement, l'animation de programme et des sites NATURA 2000 pour MIGADO. L'objectif de la CMCS est de réaliser des actions pour la gestion, la préservation et la restauration des populations de poissons migrateurs amphihalins (grandes aloses (*Alosa alosa*), aloses feintes (*Alosa fallax*), lamproies marines (*Petromyzon marinus*) et fluviatiles (*Lampetra fluviatilis*), anguilles européennes (*Anguilla anguilla*), saumons atlantiques (*Salmo salar*), truites de mer (*Salmo trutta*), mulets porcs (*Chelon ramada*) et flets communs (*Platichthys flesus*)) sur les bassins de la Charente et de la Seudre. Toutes les missions sont regroupées dans des programmes d'actions établis sur une période de trois à cinq ans depuis 2009. Les programmes sont agencés autour de trois parties : la restauration de la continuité écologique, les suivis biologiques, la communication et l'information auprès du grand public ou des acteurs locaux. Le programme d'action actuellement en cours s'étend sur la période 2021-2025. Il a été discuté en 2020 en collaboration entre différents acteurs locaux, régionaux, techniques et financiers. Ce programme est conçu pour respecter les évolutions réglementaires en France et en Europe, en ayant pour objectif principal une dimension piscicole. La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) et le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin (SDAGE) définissent les objectifs stratégiques à atteindre, notamment en matière de qualité de l'eau et de continuité écologique. Ces documents d'orientation sont adaptés à l'échelle des différents bassins versants français et alignés sur les enjeux liés aux poissons migrateurs à travers le Plan de Gestion des Poissons Migrateurs (PlaGePoMi). Ce plan sert de fondation pour

établir les classements réglementaires conformément à la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Article L.214-17 du code de l'environnement). Les PlaGePoMi prévoient, sur une période de six ans, les mesures nécessaires pour favoriser la reproduction, le développement, la conservation et la libre circulation des espèces. Ils déterminent aussi les plans de soutien des populations et les conditions de la pêche dans leurs bassins respectifs.

L'EPTB Charente, via la CMCS, doit actuellement se conformer au PlaGePoMi Garonne, Dordogne, Charente, Seudre et Leyre 2022-2027 (PGDCSL, 2022-2027). Ce plan recommande la mise en œuvre de tous les moyens possibles pour approfondir les connaissances sur les poissons migrateurs dans les bassins de la Charente et de la Seudre. Il comprend une étude pour chaque espèce amphihaline présente, visant à déterminer les limites de migration, cartographier les sites de reproduction actuels et potentiels, évaluer les stocks de migrateurs et caractériser les menaces environnementales. Les espèces amphihalines concernées sont celles citées ci-dessus. Depuis 2009, la CMCS réalise des suivis annuels principalement sur les deux espèces d'aloses car elles sont particulièrement en déclin dans la Charente. De plus, en 2023, des nouveaux suivis ont vu le jour comme la dévalaison des alosons ou bien la télémétrie. Cette année, une nouvelle étude sur la dévalaison des anguilles argentées est envisagée.

Dans le cadre d'un programme pluriannuel d'actions précédent, la CMCS a construit un tableau de bord (début 2010) pour suivre l'évolution des populations de chaque poisson migrateur et évaluer l'efficacité des mesures de gestion dans les bassins de la Charente et de la Seudre. Ces tableaux de bord sont élaborés à partir de données de divers organismes (OFB, Fédération de pêche 16 et 17, INRAe, parcs marins...) et des suivis biologiques de la CMCS. Ces différents acteurs se réunissent annuellement pour évaluer l'état des populations de poissons en leur attribuant un indicateur et une description de leur état actuel. Ils vont alors définir l'état final pour chaque espèce et évaluer l'état des systèmes pour mettre en place des mesures de conservation et de restauration sur le bassin (CMCS, 2024).

En plus des suivis sur les poissons migrateurs, l'EPTB Charente exerce également plusieurs autres missions à l'échelle du bassin charentais :

- Le Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) Charente et Estuaire travaille sur la prévention et la réduction du risque d'inondation. Celui-ci agit contre les submersions marines et les inondations par débordement des cours d'eau. Cette mission se constitue également d'une Stratégie Locale de Gestion du Risque d'Inondation (SLGRI) appliqué au sein du territoire qui est sujet à des risques importants d'inondation notamment sur les villes Saintes-Cognac-Angoulême.
- Le diagnostic de vulnérabilité aux inondations est une action pour évaluer gratuitement la vulnérabilité d'un foyer, d'une entreprise ou d'une activité face aux inondations. Ses objectifs permettent de mieux

comprendre le risque des inondations, de proposer des mesures de sécurité pour limiter les dégâts éventuels, évaluer le coût de ces mesures...

- La directive inondation a pour but d'améliorer la gestion des risques sur le territoire national. Elle a été mise en place en 2007 par la Commission européenne à la suite de plusieurs inondations importantes ces dernières décennies.
- L'Elaboration du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du bassin versant de la Charente vise la gestion équilibrée et durable de la ressource en eau et des milieux aquatiques. Ses objectifs principaux sont d'utiliser, de mettre en valeur, de protéger quantitativement et qualitativement la ressource en eau.
- La gestion des étiages avec le Plan de Gestion des Etiages (PGE) de la Charente a pour but de retrouver un équilibre quantitatif de la ressource en eau. Dans le cadre de ce projet, l'EPTB Charente est propriétaire du barrage de soutien d'étiage de Lavaud (construit en 1988 et localisé sur le cours principal du fleuve en amont) où il en assure sa gestion. Le barrage est un réservoir d'eau avec une retenue d'environ 10 millions de m<sup>3</sup> pouvant soutenir l'étiage sur le bassin charentais. Pendant la période estivale, il permet d'approvisionner les différents acteurs locaux (agriculteurs, industries, tourisme) en eau. L'eau est stockée pendant la période hivernale.
- La reconquête de la qualité des cours d'eau est un programme d'action qui vise à réduire les pollutions aux nitrates et les molécules de produits phytosanitaires d'origine agricole et non agricole.
- Le Réseau d'Evaluation Complémentaire de l'Etat de l'eau et des Milieux Aquatiques (RECEMA) du bassin versant de la Charente et de ses affluents a pour objectif de suivre l'état des eaux superficielles et des milieux aquatiques du bassin de la Charente.

L'EPTB Charente est composé d'une vingtaine d'agents exerçant diverses fonctions telles que l'hydrogéologie, l'écologie, la géomatique ou l'agronomie. Ils interviennent dans les différentes missions pour effectuer au mieux les projets au sein du bassin charentais.

Au sein de l'EPTB Charente et de la CMCS, j'ai dû réaliser plusieurs missions à l'aide d'un protocole créé et approuvé pour le bassin versant de la Charente. Le but était de caractériser qualitativement et quantitativement l'état global de la reproduction de la grande alose et de l'alose feinte pour la saison 2024. Mon travail a comporté la mise en œuvre, l'organisation, la participation et le suivi des opérations, ainsi que la saisie, la synthèse et l'analyse statistique des résultats obtenus. Ma mission principale a été de déterminer le nombre de géniteurs d'aloses feintes à la frayère de Taillebourg, de comparer les données aux années précédentes et de déterminer l'évolution de cette espèce dans la frayère. Ensuite, j'ai également participé à plusieurs suivis de nuit de la grande alose et de l'alose feinte sur plusieurs frayères de la Charente. Enfin, j'ai

apporté mon aide dans quelques tâches annexes telles que la télémétrie, le suivi alosons en estuaire, la dissection d'alosons et la pêche d'anguille en fossés à poissons aux marais de la Seudre. Ces différentes missions vont permettre d'améliorer les connaissances des deux aloses (dévalaison, aire de répartition, identification du front de migration, pressions subies...) et de déterminer un nouvel indicateur annuel de l'état en 2024 pour répondre au cadre de gestion défini par le PlaGePoMi.

Depuis novembre 2023, le fleuve de la Charente a atteint plusieurs fois des niveaux de crues importants (au moins 8 crues) qui se sont prolongées jusqu'au mois de juin 2024. Outre le fait que de nombreuses habitations et infrastructures ont été rudement touchées, ces nombreuses crues successives ont eu un impact considérable sur le suivi de la migration et de la reproduction des aloses dans le fleuve.

## 1. Introduction

### 1.1. Les poissons migrateurs amphihalins

La migration animale est un phénomène particulier présent chez tous les grands taxons animaux (oiseaux, insectes, poissons...). Cette migration dépend de plusieurs facteurs : la séparation géographique, saisonnière et ontogénétique des habitats optimaux pour la reproduction et l'alimentation (Northcote, 1984). Néanmoins, les comportements migratoires, les schémas spatiaux et les bénéfices qui en résultent fluctuent considérablement en fonction des espèces, des individus et de leur environnement (Alerstam et al., 2003 ; Dingle & Drake, 2007). Les poissons migrateurs amphihalins anadromes, comme les aloses, grandissent en eau salée et se reproduisent en eau douce, grâce à la migration des adultes depuis la mer vers les eaux aquatiques continentales (McDowall, 1989). Cette dynamique migratoire représentait avant de subir différentes pressions, un avantage évolutif en renforçant la résilience et la survie des individus (Figge, 2004). La stratégie anadrome favorise également la colonisation de nouveaux habitats et le maintien d'une diversité génétique, essentielle pour estomper les effets des variations de qualité des habitats sur le plan spatial et temporel et utile pour la survie des espèces (Keefer et Caudill, 2014).

### 1.2. Les aloses

La grande alose (*Alosa alosa*) (Linnaeus, 1758) et l'alose feinte (*Alosa fallax*) (Lacépède, 1803) sont des espèces pélagiques potamotoques (i.e anadromes) grégaires appartenant à l'ordre des Clupéiformes et qui sont classées dans la famille des Alosidae (4 genres : *Alosa*, *Brevoortia*, *Sardina* et *Sardinops*) (Aquaportail, 2024). Les 16 espèces du genre *Alosa* sont caractérisées par une échancrure médiane sur la mâchoire supérieure, 8 rayons de nageoires pelviennes et un recouvrement des branchiospines\* inférieures et supérieures entre elles dans l'axe médian de l'arc branchial (Whitehead, 1985). Les aloses colonisent tous les habitats aquatiques disponibles, des zones littorales et pélagiques marines jusqu'aux corridors fluviaux côtiers, aux lacs et aux milieux estuariens. La grande alose se trouve aujourd'hui au Portugal, en Garonne-Dordogne et dans le Rhin, où elle a bénéficié d'un important programme européen de réintroduction de juvéniles (Jatteau et al., 2017). En revanche, l'alose feinte, dotée d'une plus grande plasticité écologique que la grande alose, a vu son aire de répartition diminuer de façon moins drastique au fil du temps. Elle est localisée sur les côtes atlantiques des îles britanniques, au Maroc, au Portugal, en Allemagne et en France. Dans ce dernier pays, les deux aloses résident en faible quantité dans la Seine, mais demeurent abondantes dans d'autres grands fleuves atlantiques comme la Charente (Keith et al., 2020) (Figure 1).

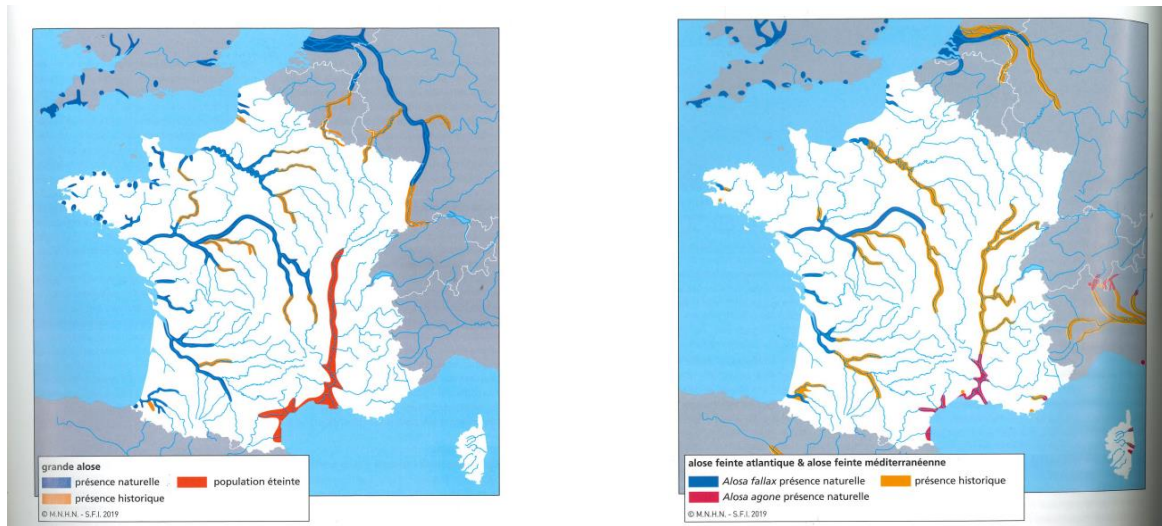


Figure 1 : Répartition géographique en France de la grande alose (à gauche) et de l'aloise feinte (à droite). Source Keith et al, 2020.

L'aloise feinte et la grande alose figurent à l'annexe III des conventions de Berne (Baglinière et al., 2003) et de Barcelone, ainsi qu'aux annexes II et V de la directive « Faune-Flore-Habitat » de la Communauté Economique Européenne (CEE, 1992). Bien qu'elles soient définies comme « préoccupation mineure » sur la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN, 2008), le comité français de l'IUCN les a réévaluées en 2019, classant l'aloise feinte comme « en danger critique d'extinction » et la grande alose comme « quasi menacée » (IUCN Comité français, MNHN, SFI & AFB, 2019). En effet, ces deux espèces ont subi un déclin significatif de leurs populations au cours des dernières années (Limburg et Waldman, 2009).

Au niveau morphologique, elles sont différenciées des autres espèces du genre *Alosa* par le nombre de branchiospines, la taille et l'écaillure. Les deux aloses possèdent des caractéristiques communes dont un corps fusiforme légèrement comprimé latéralement, doté d'une carène ventrale composée de scutelles\* (Whitehead, 1985) (Figure 2).

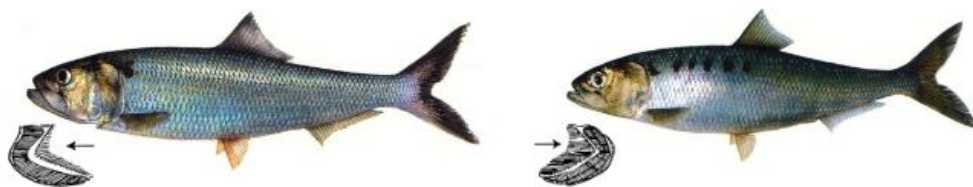


Figure 2 : Morphologie de la grande alose (à gauche) et de l'aloise feinte (à droite). Source Louisy et al, 2013.

De plus, chacune des deux espèces possède des critères propres à elle-même (Annexe 1). Chez l'adulte, après leur maturité sexuelle, il est possible de les distinguer par une caractéristique principale bien précise à savoir le nombre de branchiospines sur le premier arc branchial (Annexe 2). Cet arc forme un filtre branchial efficace

(Whitehead, 1985). La grande alose possède plus de 90 branchiospines très fines alors que l’alose feinte en a moins de 60 mais plus larges (Keith et al., 2020).

Le régime alimentaire est différent entre l’alose feinte et la grande alose. Cette dernière se nourrit principalement de zooplancton comme des petits crustacés pélagiques (Sabatié et Baglinière, 2008) mais aussi d’invertébrés, de petits poissons et de phytoplancton (Rochard et Woillez, 2003). Tandis que l’alose feinte se nourrit uniquement de petits poissons (Sabatié et Baglinière, 2008). Les juvéniles des deux espèces, en revanche, se nourrissent principalement de larves d’insectes aquatiques (Keith et al., 2020). Les deux espèces d’aloses se nourrissent en milieu marin et jeûnent en eau douce lors de la migration et la reproduction (Sabatié et Baglinière, 2008).

Les aloses sont des poissons migrateurs amphihalins anadromes. Elles ont un cycle biologique commun à travers le milieu marin et le milieu d’eau douce (André et al., 2018). Néanmoins, nous retrouvons quelques différences au niveau du temps d’incubation des œufs et de la période de séjour en estuaire (Figure 3).

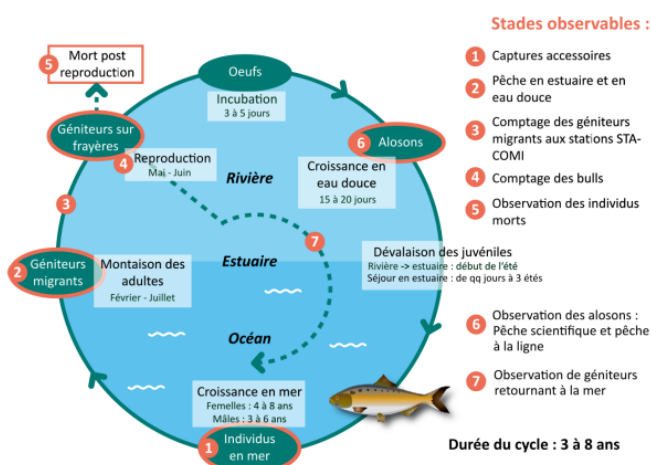


Figure 3 : Cycle biologique de l’alose feinte (André et al., 2018).

Les aloses ont la capacité de vivre et de circuler entre les habitats d’eau salée et d’eau douce à différentes périodes de leur vie selon divers comportements (Annexe 3). L’avantage de ce passage entre un milieu salé et un milieu doux permet d’assurer un recrutement efficace en zone d’alevinage et de bénéficier d’un développement optimal dans des environnements marins très productifs (Bekkaï, 2023). D’ailleurs, dans ce contexte migratoire, les bénéfices en termes de fitness, tels qu’une meilleure croissance ou une survie accrue, surpassent les coûts associés aux déplacements. Le passage entre les eaux douces et salées impose une pression osmotique, et les migrations entraînent une dépense énergétique considérable (Zydlowski & Wilkie, 2012). Il faut une adaptation physiologique de l’espèce (osmorégulation) et un rhéotactisme\* positif pour guider les aloses vers les fleuves (Mennesson-Boisneau et al, 2000). Il se peut aussi, en fonction des conditions

environnementales, que les aloses migrent plus tôt ou plus tard. De plus lors d'une brusque augmentation du débit en milieu fluvial, la migration peut être ralentie voir même stoppée (Mennesson-Boisneau et al, 2000).

Au moment de la période de migration, les aloses adultes vont quitter le milieu marin et se retrouver dans les estuaires pour migrer en banc vers les eaux douces. Ils vont ainsi remonter les fleuves et atteindre les frayères pour se reproduire et pour pondre. Le pic de la reproduction est recensé en mai-juin (Boisneau et al., 1990). Au cours de la saison de reproduction, les géniteurs ne vont se reproduire que la nuit. L'activité de reproduction débute vers 23h00 et se termine vers 6h00 avec un pic d'activité situé entre 1h00 et 3h00. Cependant, ce pic peut être décalé en fonction des marées et de leur coefficient. Les couples d'aloses se constituent à la nuit tombée et viennent à la surface de l'eau pour entreprendre un comportement de reproduction spécifique nommé « bull » (Annexe 4). Pendant un bull, la femelle et le mâle tournent en rond à la surface de l'eau, flanc contre flanc, tout en frappant violemment leur nageoire caudale à la surface (Rochard et Woillez, 2003). Un bull est facilement reconnaissable à l'oreille humaine dû à son bruit spécifique et à sa durée. Effectivement, l'intensité sonore d'un bull peut atteindre 35 à 50 dB (Baglinière et al., 2000) et sa durée peut aller de 3 à 8 secondes pour la grande alose contre 1 à 4 secondes pour l'alose feinte. Ils sont aussi discernables à l'œil nu par des mouvements d'eau spécifiques. Ses caractéristiques permettent de réaliser des suivis de l'activité de reproduction des aloses depuis la berge (Tentelier et al., 2021). Lors de ce rituel de reproduction, les gamètes mâles et femelles sont expulsés dans l'eau. S'ensuit alors une période de fécondation. Après l'éclosion des œufs, les alosons\* vont se développer dans le substrat des graviers des frayères (Rochard et Woillez, 2003). Une fois avoir atteint une taille entre 5 cm et 10 cm, les juvéniles descendent les fleuves de juin à octobre. Ils vont séjourner dans les estuaires jusqu'au printemps avant de rejoindre le milieu marin où ils vont rester plusieurs années pour effectuer la majorité de leur croissance (Arahamian & Arahamian, 2001; Rochard et Woillez, 2003). Les individus peuvent aller jusqu'à 300 km du trait de côte et y rester pendant une période de 2 à 6 ans en attendant la maturité sexuelle (Rochard et Woillez, 2003).

Les aloses choisissent un site pour frayer en fonction des critères hydrauliques, bathymétriques et granulométriques. Il est définie comme étant « une plage de substrat grossier délimitée en amont par un profond, et en aval par une zone peu profonde à courant rapide » (Keith et al., 2020). De plus, les deux espèces d'aloses ne se retrouvent pas dans les mêmes frayères. Les grandes aloses vont plutôt se reproduire en amont des fleuves car elles commencent à migrer plus tôt que l'alose feinte mais aussi par leur grande taille et leur capacité physique à monter plus haut dans le fleuve. Les aloses feintes vont préférer les frayères en aval des fleuves et même pouvoir se reproduire en eau saumâtre comme les estuaires (Whitehead, 1985; McDowald, 1988; Taverny, 1991). Il va donc y avoir une ségrégation spatiale de la localisation et de la reproduction entre les deux espèces d'aloses au cours de cette période. Ponctuellement, des cas d'hybridation peuvent être

observés quand les deux espèces se retrouvent sur la même frayère (Keith et al., 2020; Mennesson-Boisneau, 1990).

La continuité écologique a été adoptée par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) en 2000 et reprise en 2006 par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA). Il s'agit d'une libre circulation des organismes vivants dans les milieux aquatiques pour garantir l'accès à des habitats variés et au bon déroulement du transport naturel des sédiments permettant ainsi de diversifier les habitats (CMCS, 2015). Elle concerne toutes les espèces aussi bien holobiotiques\* qu'amphihalines comme les oiseaux, les poissons, les invertébrés benthiques, les mammifères aquatiques, etc. Elle peut se dérouler de plusieurs façons : soit par une dimension longitudinale (amont-aval), soit par une dimension latérale avec le maintien de la connexion du cours d'eau par ses annexes hydrauliques (zones humides, bras morts), ses berges et sa ripisylve (Annexe 5). La continuité écologique peut être interrompue par différents ouvrages comme les barrages. Cela a un effet sur l'état et le fonctionnement des milieux aquatiques, perturbe les déplacements migratoires des poissons et le transport naturel des sédiments; et entraîne l'appauvrissement des habitats et des écoulements des eaux. Il est donc possible de mettre en place des actions locales pour limiter ces conséquences comme l'aménagement d'ouvrages avec un dispositif de franchissement tel que les passes à poissons (CMCS, 2015).

Ces dernières décennies, un déclin alarmant des populations de poissons migrateurs a été observé, en grande partie dû aux activités anthropiques résultant des impacts croissants des activités humaines (Taverny et al., 2000). La surpêche marine et continentale, le braconnage, la dégradation et la fragmentation des habitats, ainsi que la pollution des eaux (Linburg et Waldman, 2009) ont engendré de multiples pressions et facteurs de stress à de nombreuses populations anadromes. Ce stress a impacté leur cycle de vie, réduisant la fréquence des cycles multiples à un nombre limité d'individus (Turner et Limburg, 2012).

Les barrages constituent plusieurs barrières successives à franchir pour les poissons migrateurs surtout pour les espèces du genre *Alosa*. En effet, contrairement aux Salmonidés, les aloses ont des capacités de nage plus faibles et ne peuvent pas sauter par-dessus les ouvrages. Leur migration dans les fleuves peut-être inhibée et leur cycle de reproduction perturbé (Assis, 1990; Whitehead, 1985). Cela contraint donc les géniteurs d'aloses dans leur choix du site de fraie puisqu'ils colonisent seulement ceux auxquels ils ont accès. Ces sites peuvent être considérés comme forcés et obligent les deux espèces d'alose à partager leur site de reproduction entraînant une reproduction interspécifique. Comme évoqué précédemment, des cas d'hybridation entre la grande alose et l'alose feinte peuvent alors être observés. Cette hybridation accentue le risque de pollution génétique (Alexandrino et al., 2006) et donc une baisse de la survie des œufs (Sabatie & Bagliniere, 2008). En plus d'une hybridation, les obstacles physiques exacerbent aussi la mortalité, le stress, l'épuisement et les blessures suite à des tentatives de franchissement répétées (Larinier et al., 1994; Baudoin et al., 2014). Ces

menaces cumulées compromettent sérieusement la survie des espèces et la pérennité des populations d'aloses dans les écosystèmes fluviaux du bassin de la Charente.

Rendus vulnérables par les activités humaines, les aloses subissent également des agressions naturelles. Elles vont devenir plus sensibles à plusieurs facteurs environnementaux et biologiques tels que le parasitisme, les changements climatiques, les maladies et la prédation (Baudoin et al., 2014; Guillerault et al., 2015; Costa-Dias et al., 2009; Drouineau et al., 2018; Jatteau et al., 2017; Lassalle et al., 2008). Ces effets naturels vont engendrer un stress osmotique, une nage prolongée face aux forts courants, un avancement du départ des migrations lié au réchauffement des eaux (Legrand, 2021) et un déclin des populations. Cette modification du calendrier migratoire peut perturber la reproduction, car les conditions environnementales dans les rivières et les estuaires peuvent ne pas être adéquates au moment où les aloses arrivent pour frayer. La survie des juvéniles est également compromise par ces changements. Les jeunes aloses, qui dépendent de conditions de croissance stables et prévisibles, sont exposées à des eaux plus chaudes ainsi qu'à une augmentation des sécheresses et des crues. En réponse à ces pressions, certaines populations d'aloses montrent des signes d'adaptation. Cependant, ces ajustements comportementaux ne suffisent pas à compenser les effets délétères de la fragmentation de l'habitat et des altérations climatiques. Les études montrent que la continuité écologique est essentielle pour garantir la survie des aloses à long terme.

Les aloses subissent un autre type de pression : la prédation. Depuis son introduction dans l'Est de la France au début des années 1980, le silure glane (*Silurus glanis*) (Linnaeus, 1758), est devenu en moins de 50 ans le plus grand poisson d'eau douce d'Europe occidentale, atteignant parfois plus de 2,5 mètres. Il possède un organe sensoriel lui permettant de capter les vibrations émanant d'animaux à la surface (Loyer, 2022), ce qui est particulièrement utile lors de la chasse d'espèces telles que les aloses, dont la reproduction se déroule uniquement en surface. Une étude a montré que les espèces migratrices anadromes représentaient en moyenne 50% de la consommation des silures (Syväranta et al., 2010). Sur la Charente, cette espèce invasive se développe intensément et participe au déclin des populations (CMCS, 2022). Le suivi annuel des populations d'aloses a révélé une prédation croissante par le silure, en particulier sur les "bulls", ce qui a conduit à l'intégration de cette nouvelle problématique dans les protocoles de suivi dès 2019.

### 1.3. Zone d'étude

Le bassin versant de la Charente situé au nord de la Gironde et au sud de la Loire s'étend sur 10 550km<sup>2</sup>. C'est un bassin sédimentaire qui s'étend sur six départements, situé dans la région de la Nouvelle-Aquitaine (Figure 4). Localisé de façon avantageuse sur la façade atlantique et par la diversité de ses habitats (marais, zones humides, réseau hydrographique dense), le bassin représente un territoire d'une grande importance dans la reproduction, la croissance et le développement de plusieurs espèces dont les poissons

migrateurs amphihalins. Il abrite donc une population historique d'alose feinte et de grande alose qui retourne chaque année dans le fleuve Charente et ses affluents pour frayer (Bry et al, 2004).

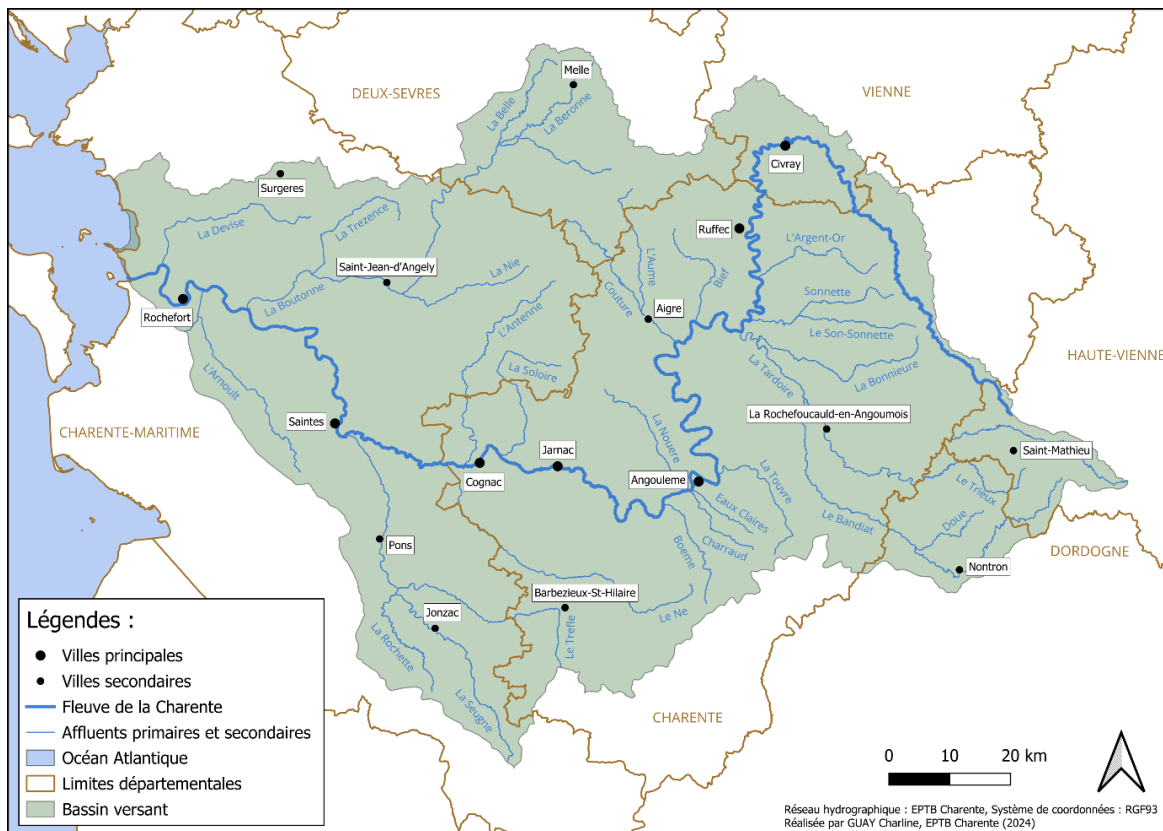


Figure 4 : Localisation du bassin versant de la Charente sur la façade atlantique.

Le bassin est soumis à un climat océanique, une altitude faible (100 m à 200 m) et de faibles précipitations atmosphériques variant de 600 à 900 mm/an, avec une moyenne de 800 mm/an (Bry et al, 2004). Le bassin versant est l'épine dorsale d'un système hydrographique ayant 6 650 km de cours d'eau soutenus par les apports de ces 22 affluents (EPTB, 2023). Sur ce bassin, le fleuve de la Charente prend sa source dans les plateaux du Limousin, à Chéronnac (300 mètres d'altitude) en Haute-Vienne. Il va méandrer sur 365 km pour se jeter dans l'océan Atlantique au niveau de la baie de Marennes Oléron en Charente-Maritime. Il possède 2 514 ouvrages recensés en 2021 et un total de 52 frayères. La Charente est un fleuve plutôt calme dû aux faibles variations de débits mensuels variant de 80 m<sup>3</sup>/s en basses eaux et 210 m<sup>3</sup>/s en hautes eaux dans la ville de Saintes. Le débit moyen annuel à Saintes est de 140 m<sup>3</sup>/s (Duquesne et al., 2020). Ce débit provient du faible apport de ses principaux affluents (la Tardoire et le Bandiat) mais aussi d'une pente moyenne très douce d'environ 0,86‰.

Depuis 2010, l'activité des aloses le long du fleuve est suivie chaque année pour deux objectifs. Le premier est d'observer l'activité de reproduction des aloses dans les différentes frayères. Le second est d'estimer le nombre de géniteurs d'aloses feintes sur la frayère de Taillebourg. Cette dernière a été choisie car c'est l'une

des plus actives du fleuve. Ces différents suivis ont montré que les frayères à l'amont de Crouin sont des frayères à grandes aloses et que celles en aval sont des frayères à aloses feintes (Figure 5).

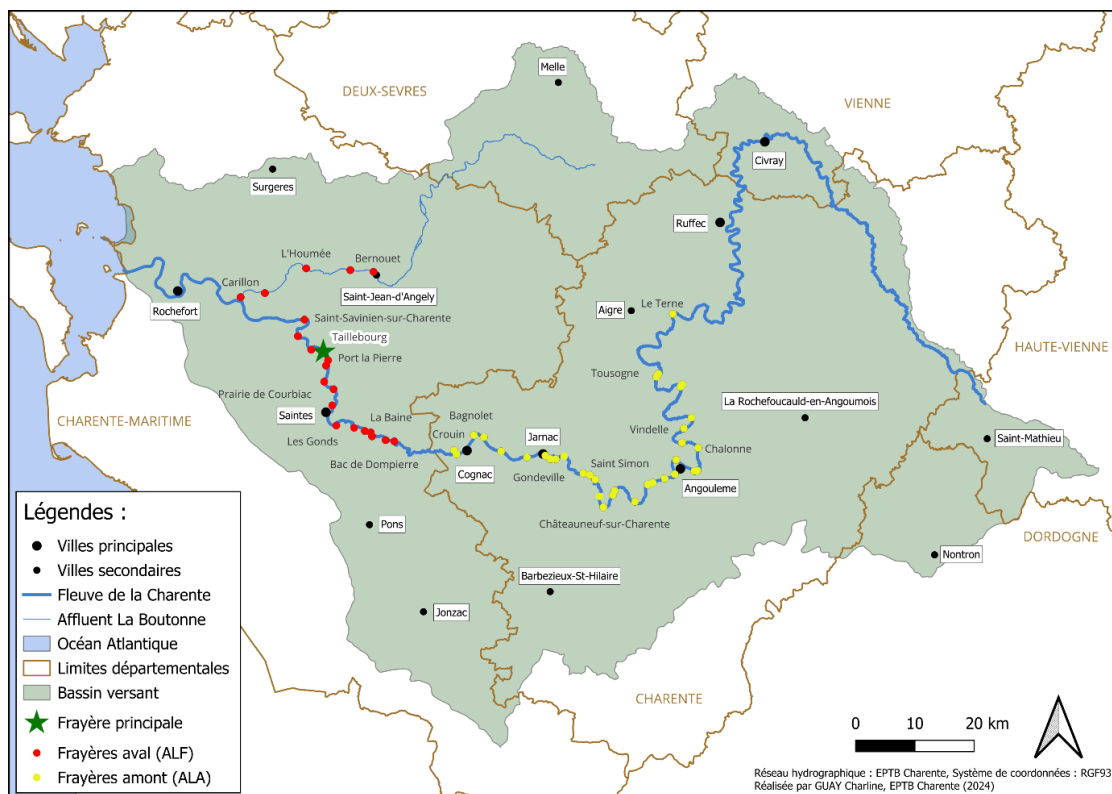


Figure 5 : Localisation des frayères recensées sur la Charente.

La préservation des aloses est devenue une priorité dans de nombreux bassins fluviaux en Europe. Ces espèces jouent un rôle écologique essentiel dans la dynamique des écosystèmes aquatiques mais sont gravement menacées. Dans ce cadre, des suivis précis et rigoureux sont essentiels pour guider les politiques de conservation et permettre des interventions adaptées à la situation locale. Les objectifs principaux de ce mémoire sont donc de fournir au Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (CoGePoMi) des bassins Garonne, Dordogne, Charente, Seudre et Leyre (PGDCSL, 2022-2027) des données fiables permettant une gestion durable des populations d'aloses dans le bassin de la Charente. Plus précisément, cette étude vise à évaluer la dynamique des populations d'aloses en 2024 afin d'identifier les tendances et pressions exercées sur ces espèces, et de proposer des solutions adaptées aux enjeux de conservation. L'un des premiers objectifs est d'estimer le nombre de géniteurs d'aloise feinte dans l'une des plus grandes frayères du bassin versant de la Charente. Cette estimation repose sur une analyse sonore de l'activité de reproduction des aloses. En utilisant cette méthode non intrusive, il est possible de quantifier l'intensité des reproductions et de déduire indirectement la densité des géniteurs présents. Pour affiner cette évaluation, des modélisations statistiques, notamment des régressions polynomiales et PLSR (Partial Least Squares Regression), ont été mises en place. Ces modèles intègrent les facteurs environnementaux tels que la température de l'eau et le débit du fleuve comme prédictors de la dynamique reproductive. Le but est de comprendre comment ces variables

influencent le succès de reproduction et d'ajuster les efforts de conservation en fonction des conditions environnementales observées. Un autre objectif est de réaliser un suivi global sur l'ensemble du bassin versant de la Charente, en intégrant à la fois les phases de reproduction et de migration des aloses. Ce suivi permet de collecter des données quantitatives et qualitatives sur les populations d'aloses. Il est également prévu de comparer ces résultats à ceux des années précédentes, afin de dégager des tendances sur le long terme et d'évaluer l'efficacité des mesures de conservation mises en place jusqu'à présent. L'accent sera mis sur les variations spatio-temporelles des effectifs, les éventuels ajustements dans les comportements migratoires des aloses face aux conditions climatiques changeantes, ainsi que sur la pression de prédation par le silure.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Acquisition des variables environnementales

Le suivi annuel de la reproduction des aloses feintes sur la frayère de Taillebourg est la continuité d'un protocole mis en place par Tommy Brias en 2014. Afin d'avoir une estimation du nombre de géniteurs le plus cohérent possible, il faut prendre en compte certaines variables abiotiques. Ce sont des facteurs hydrauliques et atmosphériques comme la température de l'eau et de l'air, le débit, la pluviométrie, la marée, la pression atmosphérique et l'éclairage lunaire. Le choix de ces variables environnementales repose sur leur capacité à influencer l'activité de la reproduction au cours de la saison, soit le nombre de bulls par nuit, et à mieux déterminer le milieu de fraie. Elles sont sélectionnées à partir de différents rapports bibliographiques et identifiées par la CMCS depuis le début des suivis en 2010 (Bekkaï, 2023).

Les différentes variables environnementales ont été récupérées de plusieurs façons :

- Température de l'eau : une sonde thermique de l'EPTB Charente est installée à Taillebourg et donne la température journalière de l'eau toutes les heures. Les variations de température ont été calculées sur 24h, 48h et 72h.
- Débit de l'eau : il est fourni par le département 17 et équivaut au débit moyen journalier au barrage de Saint-Savinien. Afin d'avoir les données, il faut récupérer les débits mesurés à la station de Beillant sur la Charente et à La Lijardière sur la Seugne, puis de les sommer. Les variations du débit ont aussi été calculées sur 24h, 48h et 72h.
- Marée : les coefficients de marée sont calculés et récupérés par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) au port de l'île d'Aix. Taillebourg est directement impactée par la marée et elle peut influencer la migration (Baglinière et al., 2000) et la reproduction des individus. Le SHOM donne l'amplitude de la marée allant de 20 à 120. Plus le coefficient est élevé, plus la mer est haute en pleine mer et inversement.

- Données météorologiques : le pourcentage de la luminosité lunaire est récupéré dans le calendrier lunaire 2024. Les données météorologiques dont la pression atmosphérique et la nébulosité totale sont issues des observations météorologiques synoptiques historiques (SYNOP) de France disponibles sur le système mondial de télécommunication (SMT) de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Elles sont récupérées quotidiennement pour la station de la Pointe de Chassiron (Île d'Oléron) à heure fixe soit 21 heures. La pluviométrie et la température minimum et maximum de l'air sont récupérées sur la station de Saintes. La température de l'air a été moyennée.

Une corrélation de Spearman est réalisée pour mettre en lien ces différentes variables abiotiques avec le nombre de bull.

## 2.2. Méthodes de suivis

### 2.2.1. Suivi quantitatif de la reproduction des aloses feintes à la frayère de Taillebourg

Une période de suivi est réalisée, incluant les nuits sans reproduction. Pour l'année 2024, elle a commencé plus tôt qu'en 2023 et s'est déroulée du 20 mars au 3 juillet 2024.

#### 2.2.1.1. Surveillance acoustique

Le suivi de la reproduction des aloses feintes est réalisé par une surveillance acoustique passive. On comptabilise ensuite le nombre de bulls enregistrés quotidiennement au cours de la période de fraie. Pour optimiser le temps qu'un agent passe sur le terrain et la récolte d'un maximum de données, deux dispositifs d'enregistrement sonore audionumérique sont installés au bord de la frayère. Ils sont placés sur la rive gauche de Taillebourg. Ils sont dirigés vers le centre de la frayère pour une meilleure absorption des signaux sonores. Ils vont alors permettre d'enregistrer sur des bandes audionumériques des nuits entières tout le long de la période de frai et ainsi capter la réalisation des bulls. Le premier dispositif est un enregistreur Olympus WS-852 utilisé depuis le début des suivis (Figure 6). Les nuits incomplètes où l'enregistreur s'est éteint n'ont pas été prises en compte. Le second enregistreur, la Song Meter Micro (SMM), est installé dans un arbre et y reste pendant toute la saison de reproduction (Figure 6). La SMM est seulement utilisée depuis l'année dernière afin d'être testée. En effet, suite à des échanges entre différentes structures travaillant sur les mêmes suivis mais sur d'autres rivières (MRM et LOGRAMI notamment), il s'est avéré que la SMM était plus performante que l'Olympus. L'objectif principal est d'optimiser l'acquisition du nombre de bulls. L'année dernière, les résultats de la SMM étaient encourageants et montraient un pourcentage plus élevé d'acquisition du nombre de bulls que l'Olympus.



Figure 6 : Matériels d'enregistrement utilisés pour le suivi de la reproduction de l'aloise en 2024, avec l'Olympus (à gauche) et la SMM (à droite).

Il y a également différents avantages que peut apporter la SMM par rapport à l'Olympus, en particulier au niveau du temps de manipulation et de la capacité de stockage des données (Annexe 6).

#### 2.2.1.2. Dépouillements des enregistrements

L'ensemble des enregistrements captés de 23h à 6h du matin sont traités sur le logiciel Audacity. Celui-ci permet un dépouillement optimal de toutes les bandes audionumériques avec une écoute de la nuit et une visualisation d'une fréquence sonore. Cette analyse permet d'identifier les signaux acoustiques caractéristiques d'un bull et ainsi de les comptabiliser. Seuls les bulls supérieurs ou égal à deux secondes sont pris en compte. Les bulls attaqués par le silure diffusant un son particulier sont également notés. Tous les autres bulls ne sont pas pris en compte car ils sont considérés comme incomplets. Brias en 2014, a conclu dans une étude que le pas de temps de référence pour dépouiller les fichiers audionumériques est le quart d'heure. Cela permet de gagner du temps sur le dépouillement et d'avoir une meilleure qualité d'échantillonnage. Depuis, cet effort de réduction est appliqué chaque année et permet donc d'écouter les nuits un quart d'heure sur deux. Il y a donc 14 quarts d'heure au total par nuit. Cette année, nous avons décidé d'optimiser le dépouillement en utilisant un spectrogramme suite au retour d'expérience de partenaires. Celui-ci permet de mieux visualiser la présence d'un bull classique ou d'un bull attaqué grâce à un signal particulier sur le spectrogramme. Cependant, ce signal n'est pas applicable pour les bulls lointains c'est-à-dire les bulls entendus à faible fréquence (Annexe 7). De plus, il se peut que le signal d'un bruit vienne parasiter celui d'un bull. C'est pourquoi, il est préférable de continuer à dépouiller les nuits en écoutant les bandes audionumériques.

#### 2.2.1.3. Calibration

Sur la frayère de Taillebourg, le suivi quantitatif est complété par une surveillance acoustique active : la calibration. Cette dernière a pour but de compter en direct pendant une heure le nombre de bulls par un

binôme d'observateurs. Elle est réalisée la nuit où les deux enregistreurs sont actifs et sur plage horaire correspondant au pic de reproduction des aloses. Les observateurs vont venir se placer au plus près des enregistreurs pour limiter le biais spatial. Comme pour les dépouillements, les mêmes critères de comptage sont appliqués. L'objectif de cette calibration est de comparer ensuite le nombre de bulls entendus sur le terrain par l'oreille humaine avec ceux des enregistreurs Olympus et SMM. En effet, sur les enregistrements, des bulls trop éloignés ne sont pas captés ou des bruits parasites trop gênants peuvent empêcher correctement le comptage. Au total, six calibrations ont été réalisées durant la saison.

### 2.2.2. Analyse des données

L'objectif du protocole analytique est de prévoir les données manquantes concernant le nombre de bulls, en se concentrant sur les nuits et les quarts d'heure. Ce protocole est conçu pour garantir la plus grande robustesse des résultats. Les méthodes statistiques sont choisies après des procédures de validation préalables, révisées chaque année. Un protocole standardisé employé par la CMCS a été amélioré pour simplifier le processus et augmenter la fiabilité des résultats. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 4.0.2 (R Core Team, 2019), en utilisant un seuil de signification de 5%.

#### 2.2.2.1. Traitement des données manquantes

##### 2.2.2.1.1. Prédiction des nuits manquantes

Le but de ce traitement est de quantifier l'activité de reproduction des aloses feintes pendant les nuits non observées, en tenant compte de l'impact relatif des variables abiotiques sur le nombre quotidien de bulls sur chacun des deux enregistreurs. Pour se faire, les données sont prédites à l'aide d'un modèle de régression linéaire basé sur la méthode des moindres carrés partiels (PLSR). Cette approche statistique est particulièrement bien adaptée aux prédictions complexes. En effet, elle est capable de traiter des ensembles de données incomplets. De plus, elle est efficace pour gérer un grand nombre de variables explicatives qui sont fortement corrélées. Cela permet d'éviter les problèmes de surajustement fréquemment rencontrés avec les méthodes de régression multiples classiques (Carrascal et al., 2009; Cushman et al., 2008). Avant tout, la non-normalité de chaque variable environnementale a été testée grâce au test de Shapiro-Wilk. Puis, la corrélation entre celle-ci a été vérifiée en utilisant un seuil de corrélation non paramétrique de Spearman de 0,7 (Figure 7). L'algorithme PLS va permettre de surmonter ces difficultés sans nécessiter la suppression de variables (Bekkaï, 2023).

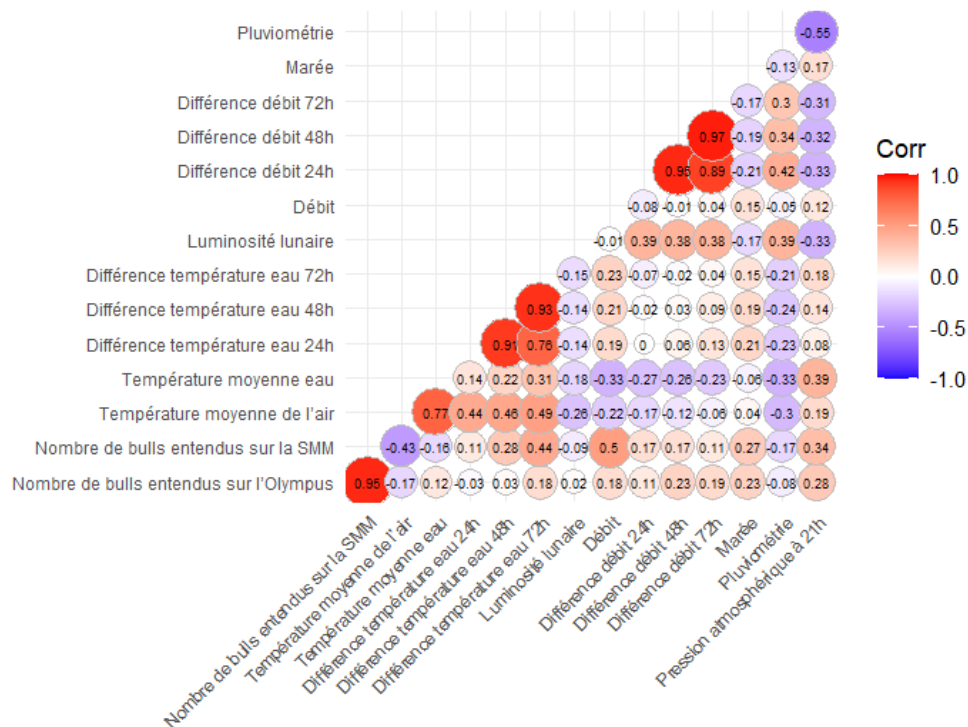


Figure 7 : Matrice de corrélation de Spearman entre les variables environnementales et le nombre de bulls entendus sur l'Olympus et sur la SMM. Les corrélations positives sont en rouge tandis que les corrélations négatives sont en bleues. Plus la couleur est foncée, plus la corrélation est forte. Les couleurs claires représentent des corrélations faibles, proches de 0. La taille des cercles est proportionnelle à la force de la corrélation. Plus le cercle est grand, plus la corrélation est forte (qu'elle soit positive ou négative). La légende à droite montre l'échelle des corrélations. Elle aide à interpréter les couleurs des cercles en termes de coefficient de corrélation.

Cette matrice de corrélation de Spearman montre les relations entre différentes variables environnementales et le nombre de bulls mesurés par deux méthodes (Olympus et SMM). Il y a une très forte corrélation (0.95) entre le nombre de bulls mesurés par Olympus et SMM, indiquant que les deux méthodes capturent des tendances similaires. Les variations de débit sur 48 et 72 heures sont également très fortement corrélées (0.97), suggérant que les variations du débit sur 48 heures et 72 heures sont très similaires. De plus, elles sont cohérentes sur les périodes de suivi, notamment liées aux conditions de crues. La température de l'eau et de l'air sont fortement corrélées (0.77) montrant bien que la température de l'air et de l'eau augmente. Une autre corrélation positive forte (0.93) entre les variations de la température de l'eau sur 24 et 48 heures est constatée, ce qui montre que les changements de température se prolongent souvent sur plusieurs jours. Une corrélation inverse modérée (-0.54) entre la pression atmosphérique et la température de l'eau, suggère des interactions météorologiques. Des variables abiotiques telles que la pluviosité, la luminosité lunaire ou encore les coefficients des marées montrent des corrélations faibles avec le nombre de bulls aussi bien sur l'Olympus que sur la SMM, insinuant peu ou pas d'influence directe. En résumé, la matrice met en évidence les relations fortes entre certaines variables, utiles pour comprendre comment les conditions environnementales influencent la détection des bulls.

Par la suite, notre modèle PLSR prend donc en compte l'ensemble des variables abiotiques disponibles. Il établit une relation linéaire entre de nombreuses variables prédictives et le nombre de bulls tout en comprimant les variables mesurées en quelques composantes principales qui ne sont pas corrélées entre elles. Cependant, dans certains cas, la relation linéaire entre le nombre de bulls et certaines variables prédictives ne convient pas, notamment pour le débit et la température de l'eau qui semblent mieux modélisées par une relation polynomiale non linéaire. Pour introduire cette non-linéarité dans l'approche PLS, nous avons utilisé une méthode quadratique (Wold et al, 1989) en incorporant une relation polynomiale du second degré pour les variables concernées. Le choix du modèle prédictif optimal a été effectué par une validation croisée Leave-One-Out (LOO) (Wold, 1978). Elle permet d'évaluer le nombre optimal de composantes minimisant l'erreur quadratique moyenne de prédiction (RMSEP). L'importance de chaque variable prédictive a été évaluée à l'aide de l'indice VIP.

#### 2.2.2.1.2. Prédiction des quarts d'heure manquants

Pour prédire le nombre de bulls des aloses feintes pendant les périodes non échantillonnées entre 23h00 et 6h00, des modèles linéaires généralisés (GLM) de type poisson ajustés à des degrés polynomiaux variés sont utilisés. Comme l'écoute des nuits n'est pas complète, il est essentiel d'extrapoler les périodes de 15 minutes non écoutées. En effet, nous savons que le nombre de bulls par quart d'heure dans une nuit suit une courbe qui augmente rapidement, atteint un pic, puis diminue progressivement. Ainsi, nous ajustons ces données à une courbe polynomiale. A l'aide du logiciel R, les différents modèles sont évalués pour l'indépendance des résidus et l'homoscédasticité des variances afin de vérifier leur validité. Les performances de prédictions des modèles GLM sont mesurées à l'aide du critère d'information d'Akaike corrigé (AICc), qui est approprié pour notre taille d'échantillon de 14 quarts d'heure dépouillés et pour évaluer l'efficacité du modèle (Akaike, 1974). Le modèle présentant le plus faible AICc est sélectionné comme le plus efficace. Une fois le nombre de bulls pour les quarts d'heure non écoutés estimés, un coefficient multiplicateur est appliqué. Il est obtenu grâce à cette formule :

$$\text{Coefficient} = \frac{\text{nombre cumulé de bulls observé total} + \text{nombre de bulls total prédit}}{\text{nombre cumulé de bulls observé total}}$$

#### 2.2.2.1.3. Calibration

Une correction des résultats est effectuée à l'aide d'une régression linéaire, en calculant les coefficients a et b de l'équation qui relie le nombre de bulls entendus par les agents sur le terrain à ceux captés lors de l'écoute des enregistrements. Cette régression est réalisée à l'aide du logiciel XLstat, en vérifiant que les résidus sont normaux et que les variances sont homoscédastiques pour garantir la validité du modèle. Une fois

les coefficients de l'équation de la droite de régression ( $y = ax + b$ ) déterminés, ils sont appliqués au total des bulls comptabilisés pour les nuits observées et interpolées.

#### 2.2.2.1.4. Estimation du nombre de géniteurs d'alose feinte

Pour estimer le nombre de géniteurs d'alose feinte sur la frayère de Taillebourg pour la saison 2024, une prédiction du nombre total de bulls est réalisée. Elle va alors fournir une approximation du nombre de reproducteurs présents lors de la période de reproduction. En raison des lacunes dans les connaissances sur le comportement reproducteur des aloses, notamment sur le fractionnement de la ponte en lien avec la maturation progressive des ovocytes dans le temps, plusieurs hypothèses sont nécessaires pour cette estimation (Baglinière et al., 2000; Chanseau et al., 2006). Parmi ces hypothèses, il faut considérer que les géniteurs se reproduisent sur une seule frayère, qu'un bull correspond à une ponte impliquant une seule femelle et un mâle, que le sexe ratio sur le site de fraie est de 1:1, qu'une femelle pond en moyenne dix fois durant une saison de reproduction (Chanseau et al., 2006), et que le nombre de géniteurs reste constant sur la frayère, sans émigration ni immigration. Cependant, dans certains cas, il se peut que les aloses feintes se déplacent et changent de frayère. Pour simplifier les calculs et également par manque de connaissances sur le comportement et déplacement individuel des aloses feintes, nous considérons que les aloses se reproduisent sur une seule frayère. Ces différentes hypothèses sont choisies et décidées d'un commun accord avec les observations antérieures de Cassou-Leins (1985, 1986, 1988), les méthodes employées par la CMCS (Chanseau et al., 2006), et les indicateurs du PlaGePoMi pour les bassins de Garonne, Dordogne, Charente, et Seudre (Brias, 2014), permettant ainsi de formuler un calcul algébrique précis pour l'estimation.

$$\text{Nombre de géniteur estimé} = \frac{\text{Nombre de bull total estimé}}{\text{Nombre de ponte}} \times 2$$

Bien que cette méthode d'estimation présente des biais, elle offre un indice d'abondance annuel de géniteurs suffisant pour la gestion de la population d'alose feinte dans le bassin versant de la Charente (Cassou-Leins et al., 2000). De plus, un intervalle de confiance IC<sub>95</sub> est calculé à partir des erreurs standards pour chacune des étapes précédentes : prédiction du nombre de bulls par nuit, par quart d'heure et la calibration. Ce calcul est effectué annuellement depuis 2014 et permet d'avoir un indicateur cohérent sur la frayère de Taillebourg.

#### 2.2.3. Suivi qualitatif de la reproduction des aloses feintes et des grandes aloses dans les frayères de la Charente

Un suivi qualitatif est réalisé sur l'ensemble des frayères de la Charente pendant toute la saison de reproduction. Plusieurs prospections nocturnes sont faites, avec la participation de l'OFB, afin de définir l'état

global de la reproduction des grandes aloses et des aloses feintes. Ce suivi permet également de vérifier leur activité de reproduction et de leur migration ainsi que la fonctionnalité des milieux de fraie.

#### 2.2.4. Front de migration des aloses feintes et des grandes aloses

Les données de migration recueillies grâce au suivi qualitatif de la reproduction des aloses sont enrichies par l'identification du front de leur migration. Elles vont permettre de donner de nouvelles informations sur les conditions de migration au printemps. Plusieurs suivis sont réalisés tous les ans pour définir le front de migration en cherchant, de l'aval vers l'amont, des indices de présence (suivis diurnes, suivis télémetriques, suivis ADN environnemental (ADNe\*), suivis alosons).

### 3. Résultats

#### 3.1. Suivi quantitatif de la reproduction des aloses feintes à la frayère de Taillebourg

##### 3.1.1. Résultats bruts

Au cours de la saison 2024, la frayère de Taillebourg a été suivie pendant 27 nuits avec l'enregistreur Olympus du 20 mars 2024 au 3 juillet 2024. Deux nuits non pas été prises en compte car les enregistrements étaient incomplets. En ce qui concerne la SMM, 14 nuits ont été analysées, réparties sur la période du 13 mai au 3 juillet 2024. La SMM a été posée plus tard dans la saison car nous avons attendu la présence des premiers bulls sur l'Olympus pour pouvoir l'installer. Toutes les nuits de l'Olympus ont été dépouillées alors que pour la SMM seulement les nuits communes avec l'Olympus ont été écoutées afin d'analyser les gains obtenus avec ce nouveau dispositif d'acquisition. Pour chacune des nuits, 14 quarts d'heure sur 28 ont été dépouillés. Au total, 560 quarts d'heure d'enregistrement soit environ 140 heures ont été écoutées pour l'année 2024. Sur l'ensemble de la saison de reproduction, 930 bulls ont été captés par l'enregistreur Olympus contre 950 par la SMM.

Par ailleurs, sur un total de 930 bulls enregistrés avec l'Olympus, 16 ont été attaqué par des silures. La reproduction des aloses était assez irrégulière au cours de la saison avec un minimum de 2 bulls, par nuit, en début de suivi et de 8 bulls en fin de suivi et un maximum de 111 bulls le 10 juin 2024. Cette irrégularité est directement liée aux condition hydro-climatiques très perturbées au cours du printemps (forte pluviométrie, variation des températures, débit soutenu, etc). De plus, pour les mois d'avril, mai et juin, une moyenne respective de 14 bulls, 26 bulls et 21 bulls a été observée. Plusieurs baisses d'activités de reproduction ont été notées notamment durant le pic d'activité cyclique le 2 mai, 30 mai et 17 juin où 12, 31 et 0 bulls ont été recensés (Figure 8).

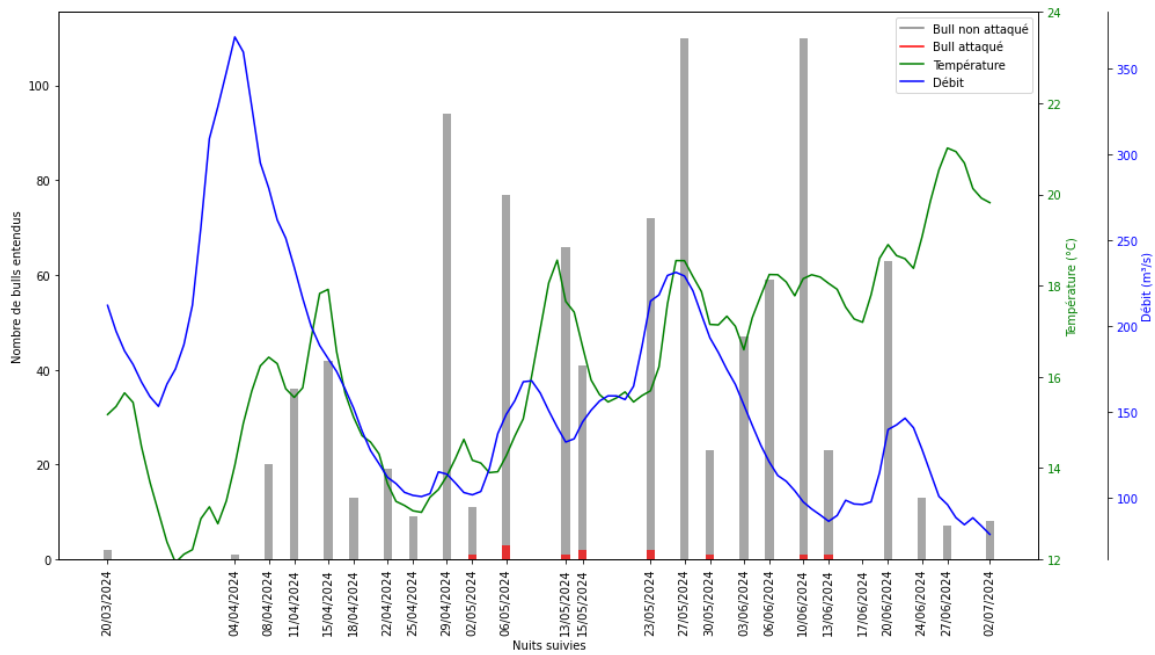


Figure 8 : Nombre de bulls attaqués et non attaqués enregistré par l'enregistreur Olympus au cours des 27 nuits échantillonnées à Taillebourg en relation avec la température de l'eau à Taillebourg et le débit moyen à Saint-Savinien. Le nombre de bulls lors des 82 autres nuits est inconnu.

Les enregistrements captés par la SMM ont recensé un total de 950 bulls dont 12 bulls attaqués. Nous pouvons remarquer que la SMM révèle les mêmes tendances de variations que l'Olympus sur leur période d'enregistrement commune. En effet, ces variations communes sont liées à l'impact des mauvaises conditions climatiques (Figure 9). Lors du pic le 10 juin, un total de 153 bulls a été comptabilisés.

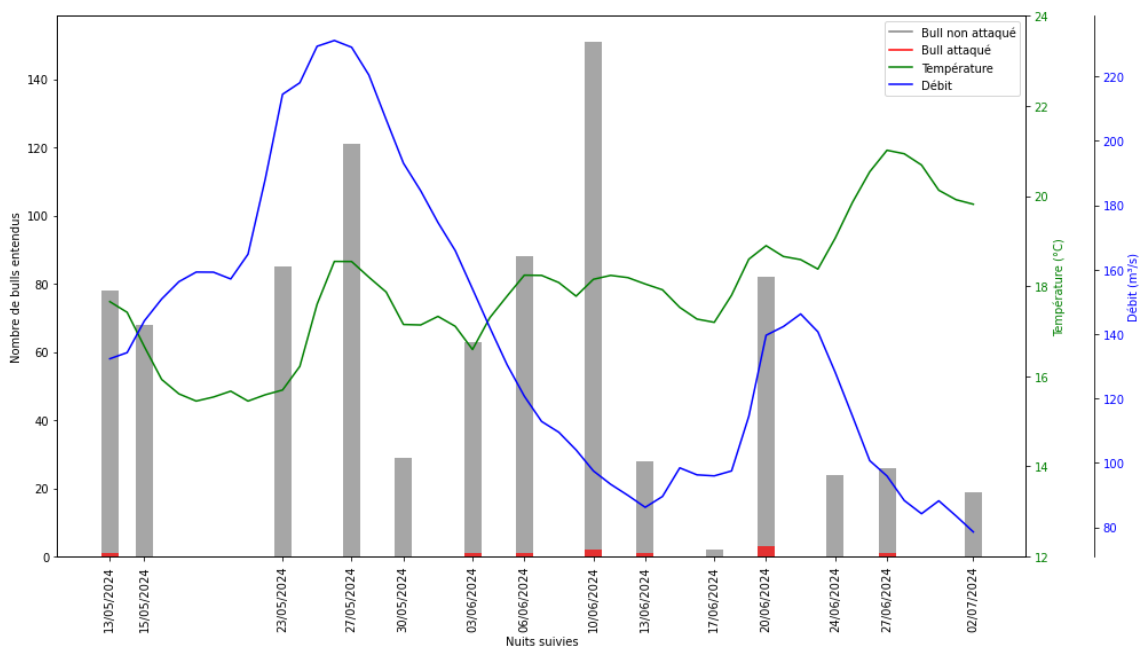


Figure 9 : Nombre de bulls attaqués et non attaqués enregistré par la SMM au cours des 14 nuits échantillonnées à Taillebourg en relation avec la température de l'eau à Taillebourg et le débit moyen à Saint-Savinien. Le nombre de bulls lors des 37 autres nuits n'est pas connu.

Tout d'abord, durant les nuits échantillonnées, l'activité de fraie commence à augmenter rapidement à partir de 23h00. Puis, elle atteint son pic aux alentours de 01h30 / 01h45 sur l'Olympus avec 133 bulls au total sur ce quart d'heure et vers 01h00 / 01h15 pour la SMM avec 121 bulls. La différence du pic s'explique par le fait que les deux enregistreurs n'ont pas été posés pendant la même durée. Enfin, l'activité diminue rapidement jusqu'à 6h00. La répartition temporelle du nombre total de bulls par quart d'heure durant une nuit suit généralement une courbe gaussienne. Elle est centrée autour de 01h00 / 02h00 du matin et se déroule de 23h00 à 6h00. Les graphiques ci-dessous représentent les bulls cumulés par quart d'heure dépouillés pour les nuits suivies (Figure 10). D'ailleurs, le nombre de bulls attaqués par des silures est déterminé à 1.7% pour l'Olympus et à 1.3% pour la SMM contre 3.9% en 2023 et 2.9% pour 2021 et 2020.

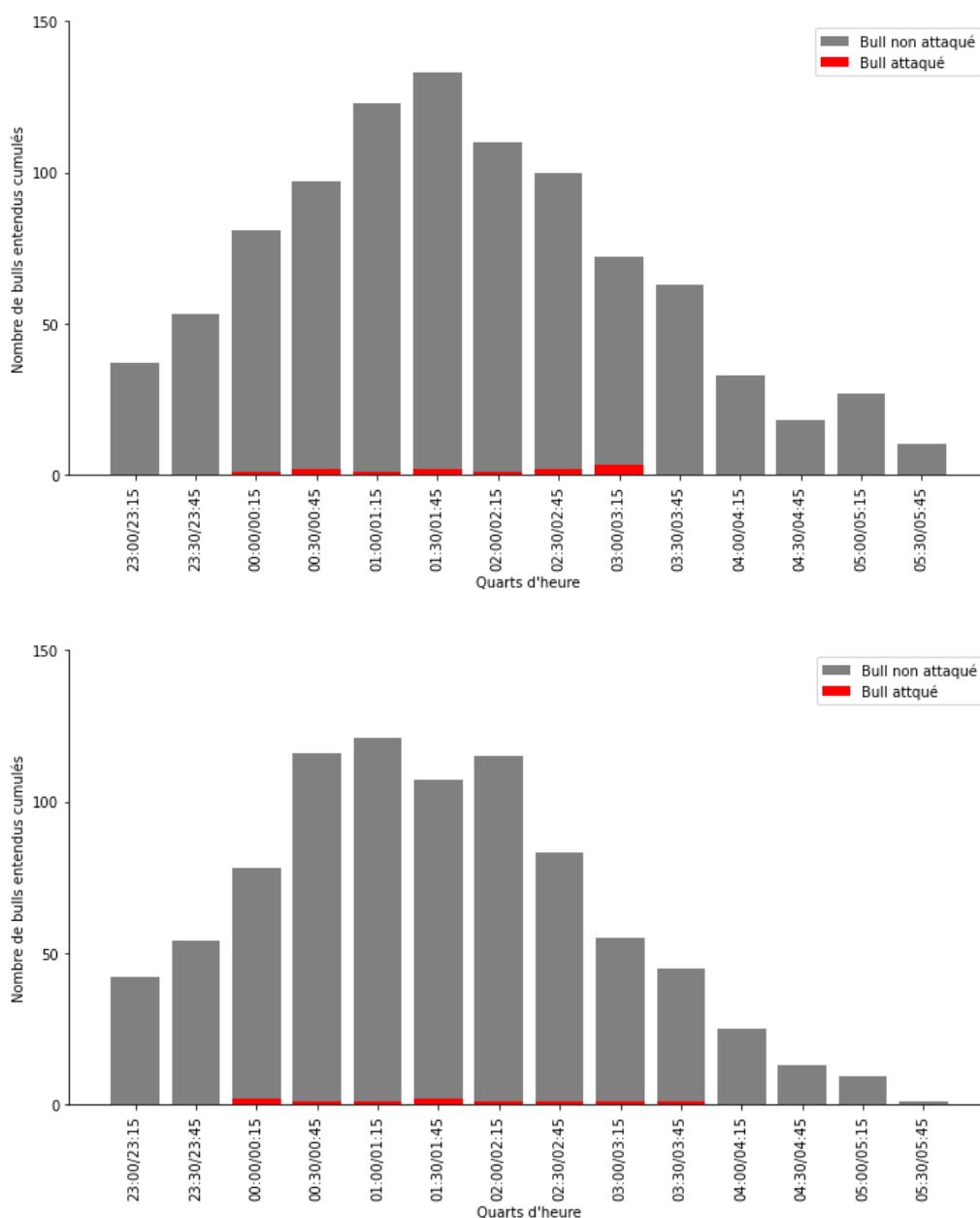


Figure 10 : Nombre de bulls cumulés enregistré par l'enregistreur Olympus (en haut) et la SMM (en bas) sur la frayère de Taillebourg par quart d'heure échantillonné.

Nous pouvons aussi constater que les aloses sont venues se reproduire à Taillebourg lorsque la température de l'eau a atteint 15,2°C et que la reproduction s'est terminée lorsqu'elle était autour de 19,6°C. La température de l'eau a varié tout le long de la saison de reproduction avec un minimum de 11,9°C et un maximum de 21°C. En ce qui concerne le débit, il a varié entre 78,6 m<sup>3</sup>/s et 368,3 m<sup>3</sup>/s au cours de la période de reproduction. Les trois pics de débit qui dépassent un seuil de 150 m<sup>3</sup>/s correspondent au moment où la Charente était en crue. Chacune des crues a été précédée par des journées avec des précipitations importantes : 14,6 mm le 31 mars, 17,6 mm le 4 mai et 22,4 mm le 20 mai. Les débits recensés cette saison (avril, mai et juin) sont clairement supérieurs aux débits des années précédentes (Figure 11). Ces différentes variations de débit et de température tout le long de la saison de reproduction démontre bien pourquoi il y a eu tant de fluctuations dans les nombres de bulls sur chacune des journées.

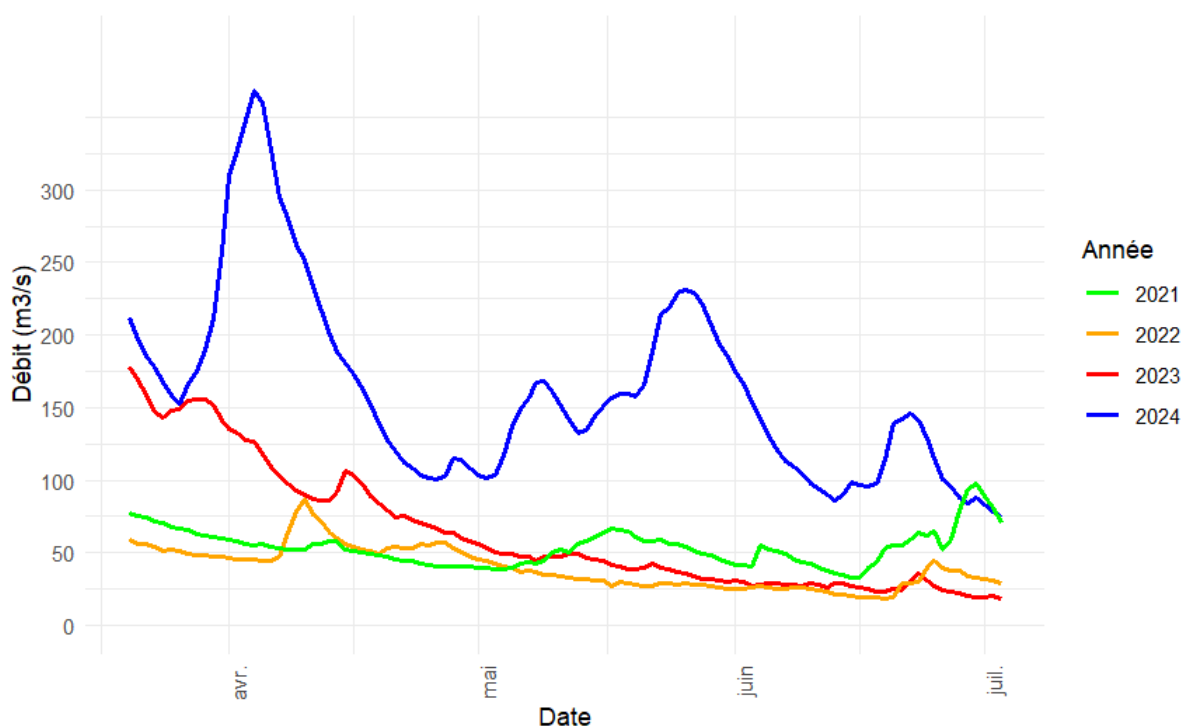


Figure 11 : Représentation des variations de débit au cours de ces quatre dernières années.

De plus, le 17 juin, malgré de bonnes conditions de température et de débit, aucun bull n'a été comptabilisé. Cette absence de bull peut s'expliquer par des conditions orageuses lors de cette nuit. En effet, par temps orageux, il est impossible de compter les bulls sur les enregistrements (vent et pluie).

Afin de mieux comprendre les différences entre l'Olympe et la SMM au niveau des conditions d'utilisation et des données récoltées, un tableau récapitulatif a été fait (Tableau 1).

Tableau 1 : Comparaison entre les deux méthodes d'enregistrement.

	<b>Enregistreur Olympus</b>	<b>Song Meter Micro (SMM)</b>
Durée de la pose	3 mois	1 mois et demi
Nombre nuits échantillonnées	27	14
Nombre bulls dépouillés	930	950
Nombre bulls attaqués	16	12
Date pic des bulls	10 juin 2024	10 juin 2024
Nombre bulls lors du pic	111	153

### 3.1.2. Résultats manquants

#### 3.1.2.1. Prédiction des nuits manquantes

L'impact des variables abiotiques sur la reproduction des aloses feintes au cours de la saison a été modélisé à l'aide d'une régression PLS à 14 composantes. Pour chacun des deux enregistrements, la validation croisée LOO a révélé l'utilisation d'un certain nombre de composante à utiliser pour déterminer notre estimation du nombre de bulls. Nous pouvons avoir ce nombre soit par la racine carrée de l'erreur de prédiction (RMSE) la plus faible, soit le  $R^2$  le plus élevé. Cette méthode a été appliquée pour l'Olympus et la SMM (Annexe 8). Chacun des tests de validation a montré que le nombre de composante à retenir pour l'Olympus était 5 composantes et 4 composantes pour la SMM. Cependant, pour l'Olympus, la variabilité expliquée par un modèle à 5 composantes est de 59.01% contre 56.39% pour un modèle à 4 composantes. Le gain d'information étant trop minime, il vaut mieux garder un modèle PLSR à 4 composantes. En ce qui concerne la SMM, le gain est de 74,46% pour 4 composantes et de 69,25% pour 3 composantes. Pour le même principe que l'Olympus, le nombre de composantes retenue est donc 3. Par ailleurs, l'Importance des Variables Prédicatives (VIP) dans la projection du nombre de bulls a été réalisée sur l'Olympus et sur la SMM à partir de leur modèle PLSR correspondant. Pour l'Olympus, les données du tableau VIP (Tableau 2) montrent que la pression atmosphérique était le facteur le plus important dans la prédiction du nombre de bulls, suivi par les variables polynomiales de différence de débit en 72h, la variable temporelle, la différence de débit en 48h et le débit.

Tableau 2 : Importance des variables prédictives (VIP) dans la prédiction du nombre de bulls du modèle PLSR à 4 composantes pour l'Olympus. Un VIP > 1 traduit une contribution forte de la variable.

Composante	Composante 1	Composante 2	Composante 3	Composante 4
Température de l'air (°C)	0,0260	0,1576	0,1795	0,1699
Δ24h Teau	0,0000	0,0028	0,0036	0,0075
Δ48h Teau	0,0019	0,0094	0,0126	0,0111
Δ72h Teau	0,0064	0,0327	0,0462	0,0585
Luminosité lunaire (%)	0,0671	0,6309	0,5674	0,5137
<b>Débit (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,1109	<b>1,2866</b>	<b>1,7790</b>	<b>1,8156</b>
Δ24h débit	0,0613	0,4986	0,4410	0,5899
<b>Δ48h débit</b>	0,1995	<b>1,4036</b>	<b>1,2337</b>	<b>1,2443</b>
<b>Δ72h débit</b>	0,2653	<b>1,8895</b>	<b>1,6616</b>	<b>1,7607</b>
Marée (coefficient)	0,0986	0,3839	0,5866	0,6925
Pluviométrie (mm)	0,0336	0,1072	0,1928	0,2822
<b>Pression atmosphérique</b>	<b>3,7139</b>	<b>1,7256</b>	<b>1,5166</b>	<b>1,1865</b>
<b>Variable temporelle</b>	0,2502	<b>1,7150</b>	<b>1,7886</b>	<b>1,7906</b>
Température de l'eau (°C)	0,0416	0,2317	0,3482	0,4876

Pour la SMM, les données du tableau VIP (Tableau 3) montrent que la pression atmosphérique était le facteur le plus important dans la prédiction du nombre de bulls, suivi par la variable temporelle et le débit

Tableau 3 : Importance des variables prédictives (VIP) dans la prédiction du nombre de bulls du modèle PLSR à 3 composantes pour la SMM. Un VIP > 1 traduit une contribution forte de la variable.

Composante	Composante 1	Composante 2	Composante 3
Température de l'eau (°C)	0,0416	0,1717	0,3695
Δ24h Teau	0,0014	0,0023	0,0230
Δ48h Teau	0,0059	0,0186	0,0526
Δ72h Teau	0,0126	0,0497	0,1128
Luminosité lunaire (%)	0,0279	0,2136	0,5497
<b>Débit (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,4811	<b>1,9762</b>	<b>2,0792</b>
Température de l'air (°C)	0,0463	0,2570	0,3362
Δ24h débit	0,0756	0,4114	0,3002
Δ48h débit	0,1573	0,8011	0,5844
Δ72h débit	0,1604	0,7003	0,7517
Marée (coefficient)	0,1260	0,2812	0,7052
Pluviométrie (mm)	0,1023	0,3903	0,9675
<b>Pression atmosphérique</b>	<b>3,6876</b>	<b>2,1785</b>	<b>1,5783</b>
<b>Variable temporelle</b>	0,2875	<b>1,9162</b>	<b>2,0465</b>

À partir des deux modèles PLSR, le nombre de bulls est prédit pour l'ensemble des nuits manquantes sur l'Olympus et sur la SMM. La somme des résultats de toutes les nuits, nous donne une première estimation du nombre de bulls sur chacun des appareils. Pour l'Olympus, 3 699 bulls ont été estimés sur la période du 20 mars au 3 juillet. Tandis qu'il y a eu 3 213 bulls pour la SMM sur la période du 13 mai au 3 juillet.

### 3.1.2.2. Prédiction des quarts d'heure manquants

Un modèle linéaire généralisé (GLM) est utilisé pour estimer le nombre de bulls correspondant aux 14 quarts d'heure non analysés. L'ajustement d'un modèle de régression polynomiale de degré 3, selon une distribution de Poisson, a permis d'obtenir le plus faible AICc. Il permet d'indiquer qu'il s'agit d'un modèle optimal pour représenter le nombre cumulé de bulls en fonction de chaque quart d'heure. L'équation de ce modèle amène ensuite une base pour introduire le nombre total de bulls sur la saison pour les 14 quarts d'heure non échantillonnés (Figure 12). Ce modèle a été utilisé pour les deux types d'enregistrements.

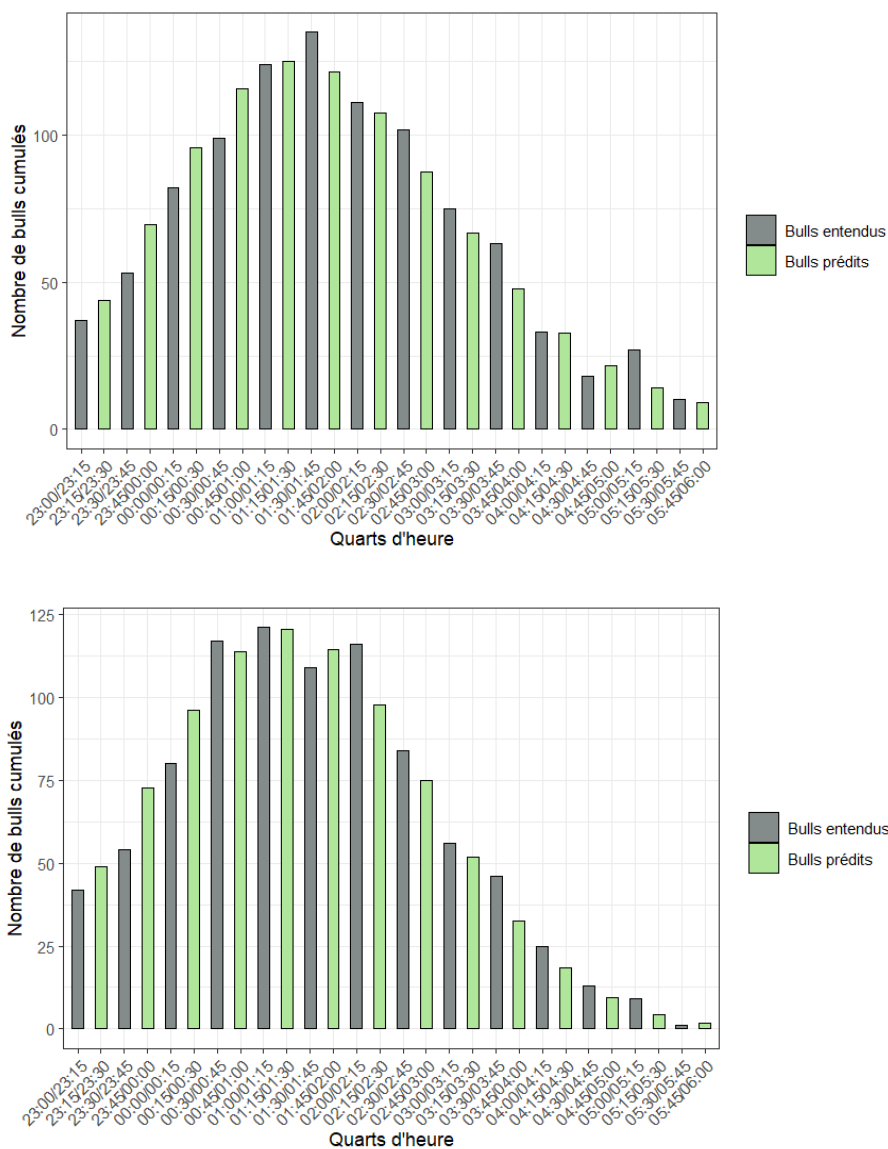


Figure 12 : Nombre cumulé de bulls entendu sur les quarts d'heure dépouillés et prédit sur les quarts d'heure manquants pour la frayère de Taillebourg en 2024 (en haut pour l'Olympus, en bas pour la SMM).

D'après la formule algébrique citée plus haut dans la partie matériel et méthode, nous pouvons obtenir un coefficient multiplicateur (Tableau 4). Il est appliqué à la première estimation du nombre total de bulls obtenue sur l'ensemble des nuits. Une seconde estimation du nombre de bulls total est alors faite. Le nombre total de bulls s'élève donc à 7 360 pour l'Olympus et à 6 323 pour la SMM.

Tableau 4 : Coefficient multiplicateur calculés à partir du nombre total de bulls cumulé entendu pendant les quarts d'heure dépouillés et prédit pour les quarts d'heures non dépouillés. Les valeurs en noir correspondent aux données de l'Olympus et en bleu à la SMM.

	Estimation
Nombre cumulé de bulls prédit total	959 / 856
Nombre cumulé de bulls observés total	969 / 873
Coefficient multiplicateur	1.989 / 1.980

### 3.1.2.3. Calibration des données

Au cours de la saison 2024, six calibrations ont été effectuées pour un total de 24 quart d'heure. Sur le terrain 236 bulls ont été entendus en direct contre 91 sur les enregistrements dépouillés pour l'Olympus et 125 bulls pour la SMM. Un modèle de régression linéaire a été réalisée par faire la relation entre le nombre de bulls entendu sur le terrain et sur les enregistrements (Annexe 9). Une droite de régression et un coefficient de détermination ( $R^2$ ) est ainsi obtenue pour chacun des appareils d'enregistrement :  $R^2 = 0.98$ ,  $y = 2.55966x + 0.24570$  (Olympus) et  $R^2 = 0.98$ ,  $y = 1.8879580x + 0.0004203$  (SMM). Chacune des droites est utilisée pour corriger la seconde estimation. Après calibration, le nombre de bulls total sur la frayère de Taillebourg pour la saison 2024, est estimé à 18 839 pour l'Olympus et à 12 014 pour la SMM.

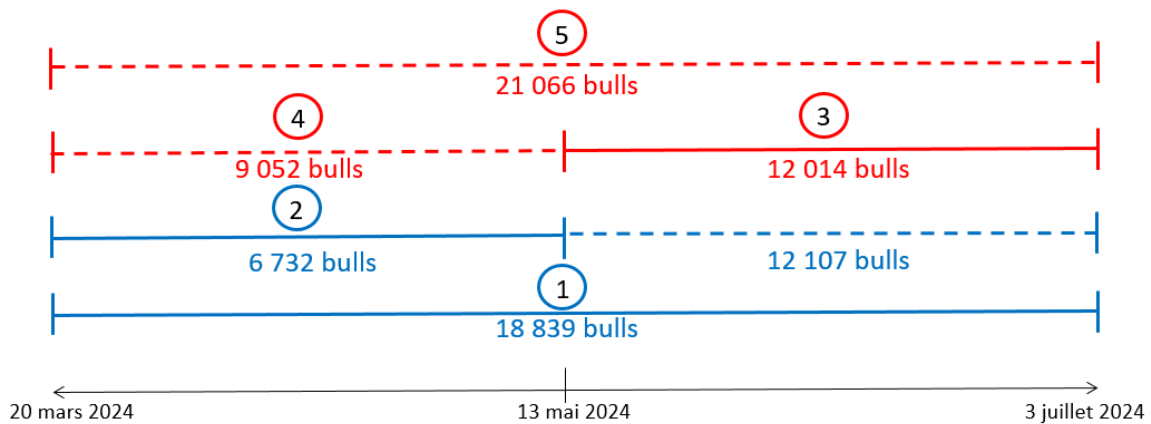
### 3.1.2.4. Estimation du nombre de géniteurs d'aloses feintes dans la frayère de Taillebourg

A l'aide de la formule algébrique citée ci-dessus dans la partie matériels et méthodes, nous pouvons alors estimer notre nombre de géniteurs d'aloses feintes sur la frayère de Taillebourg pour l'année 2024 (Tableau 5). Grâce au nombre de bulls final déterminés, **3 767 géniteurs ont été recensés par l'Olympus et 2 403 géniteurs pour la SMM.**

Tableau 5 : Nombre total de bulls estimé à Taillebourg pour la saison 2024. Les valeurs en noir correspondent aux données de l'Olympus et en bleu à la SMM.

Etapas	Estimation
Nuits manquantes	3 699 / 3 213
Quart d'heure manquants	7 360 / 6 323
Calibration	18 839 / 12 014

Cependant, le nombre de géniteurs obtenu n'est pas comparable entre les deux méthodes d'acquisition car les données récupérées ne se sont pas effectuées sur la même période. Pour rappel, l'Olympus a été posé du 20 mars au 3 juillet 2024 alors que la SMM a été installée du 13 mai au 3 juillet 2024. Nous avons donc une estimation du nombre de géniteurs pour la saison entière avec l'enregistreur Olympus mais seulement sur une partie de la saison avec la SMM. Pour avoir, une estimation complète de géniteurs sur la saison entière pour la SMM, nous devons définir le nombre de bulls total sur la période où la SMM n'a pas été posée soit du 20 mars au 12 mai. Tout d'abord, une comparaison sur le nombre de bulls total a été faite entre les deux enregistreurs pour la même période, soit du 13 mai au 3 juillet. Cette comparaison a été réalisée seulement sur les nuits dépouillées afin de déterminer précisément combien la SMM a capté de bulls en plus que l'Olympus. Le rapport entre les deux appareils a montré que la SMM détectait 34,46% de bulls en plus que l'Olympus. Le détail pour obtenir une nouvelle estimation pour la saison entière avec la SMM est expliquée dans la figure 13.



Légendes :

- ① Estimation du nombre de bulls total avec l'Olympus sur la saison entière de reproduction
- ② Nouvelle estimation du nombre de bulls total avec l'Olympus sur la première partie de la saison de reproduction
- ③ Estimation du nombre de bulls total avec la SMM sur la deuxième partie de la saison de reproduction
- ④ Nouvelle estimation du nombre de bulls total avec la SMM sur la première partie de la saison de reproduction
- ⑤ Nouvelle estimation du nombre de bulls total avec la SMM sur la saison entière de reproduction

Figure 13 : Schéma expliquant la méthode pour obtenir l'estimation du nombre de géniteurs pour la SMM sur l'ensemble de la saison.

Puis, avec la deuxième formule algébrique, le nombre de géniteurs pour la SMM est estimé à 1 810 géniteurs pour cette période. Enfin, nous sommes le nombre de géniteurs sur chacune des deux périodes pour la SMM et nous obtenons 4 213 géniteurs. Nous avons donc un total de **3 767 géniteurs sur l'Olympus et 4 213 géniteurs sur la SMM** pour la saison entière.

### 3.2. Suivi qualitatif de la reproduction des aloses feintes et des grandes aloses dans les frayères de la Charente

Le suivi qualitatif des frayères de la Charente a commencé la nuit du 25 avril 2024 et s'est terminée la nuit du 27 juin 2024. Au total, 16 nuits ont été réalisées. Sur les 54 frayères à aloses, 33 ont été suivies. Une activité de la reproduction a pu être recensée sur 11 frayères repartis entre Port d'Envaux et Châteauneuf-sur-Charente (Figure 14).

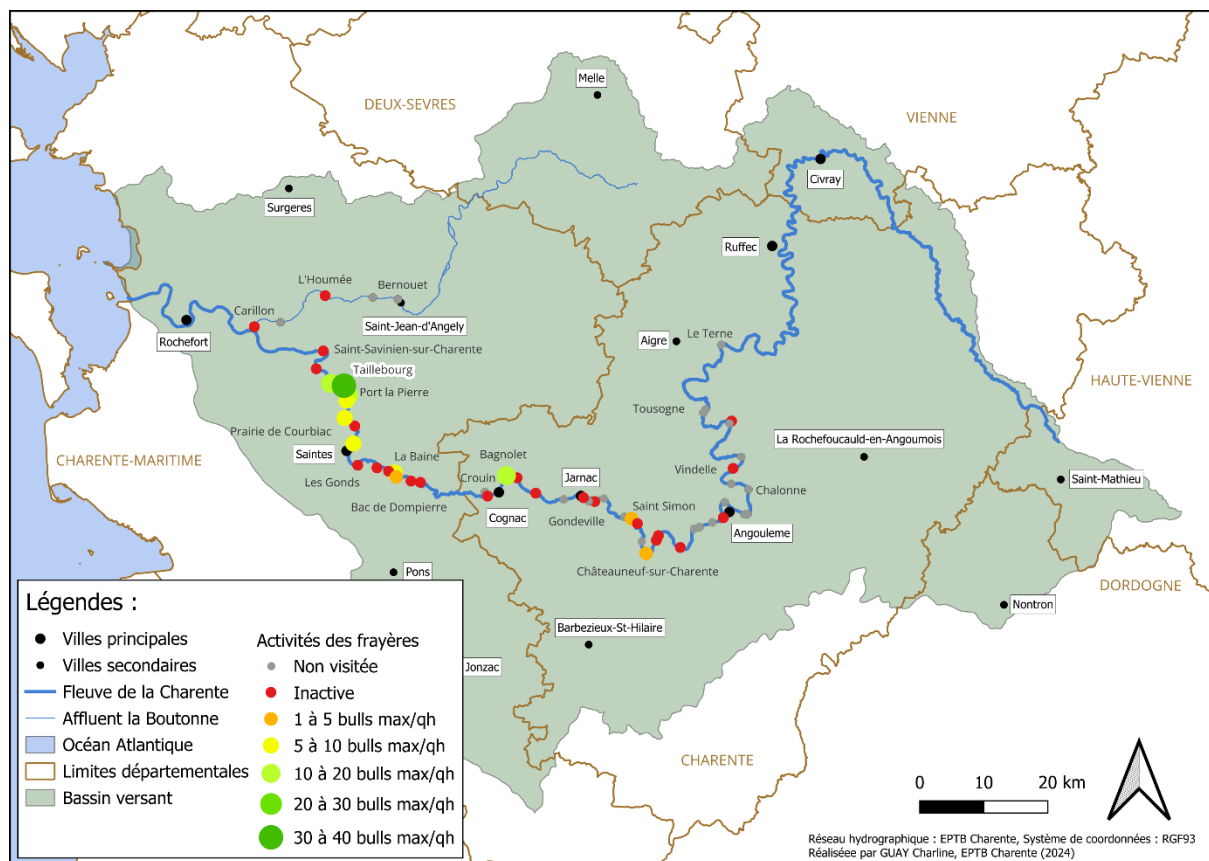


Figure 14 : Cartographie représentant l'activité des frayères sur le bassin de la Charente pour la saison 2024.

Sur les 16 frayères situées à l'aval de Cognac, la moitié a été inactive et sur les 15 frayères à l'amont de Crouin, seulement 3 ont eu une activité de reproduction. Nous pouvons aussi remarquer que l'ensemble de l'activité de la reproduction des aloses reste faible. En effet, sur les frayères visitées, entre 1 et 16 bulls ont été entendus en quinze minutes. Seule la frayère de Taillbourg a eu une activité intéressante avec un maximum de 30 bulls écoutés sur un quart d'heure.

D'après l'historique de l'activité de la reproduction des aloses sur les frayères, l'année 2024 est une mauvaise année comparée aux autres. De plus, peu de frayères cette année ont eu une activité plus importante qu'une autre année (Tableau 6).

Tableau 6 : Nombre maximal de bulls par quart d'heure et par frayère en aval de Crouin depuis 2013, avec dégradé de couleur suivant le maximum connu par frayère (vert = maximum et rouge = minimum).

Site	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Saint-Savinien	6	134	47	12	32	9	23	22	7	26	51	0
Canal Moussard	6	14	7	10	1	3	2	0	4	7	4	0
Port d'Envaux	3	7	12	9	3	1	2	23	8	5	6	12
<b>Taillebourg</b>	84	202	94	37	69	61	25	104	52	33	43	31
Port à Clou	33	56	4	10	6	43	2	10	17	6	19	9
Port la Pierre	39	27	22	15	14	7	7	0	11	3	18	12
Saint-Thomas	51	32	5	25	4	4	11	29	9	3	7	8
Prairie Courbiac	3	14	2	39	9	3	5	6	23	7	26	0
Port la Rousselle	95	26	42	39	3	5	2	10	51	44	24	10
Les Gonds	5	4	4	3	7	4	4	0	3	6	1	0
Port Hublé	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	0
Bac de Chaniers	18	23	7	4	4	18	6	4	3	6	6	0
<b>La Baine</b>	114	174	58	85	22	24	2	15	18	12	3	1
Moulin de la Baine	65	11	3	9	10	0	1	0	1	10	3	6
Pas des Charettes	24	31	2	16	14	5	12	2	17	54	8	0
Bac de Dompierre	8	0	3	NA	2	2	1	0	1	1	0	0
<b>Crouin</b>	122	129	32	34	27	24	16	4	7	4	9	0

### 3.3. Front de migration

Le suivi qualitatif de l'activité de reproduction des aloses sur les frayères du bassin a permis de localiser un premier front de migration des grandes aloses. Il se trouve à Châteauneuf-sur-Charente. Cependant, un pêcheur, nous a fait part de la présence d'un cadavre d'une grande alose au niveau des bancs de sable de la Minoterie de Vars vers mi-juillet (Annexe 10). C'est la première fois que le front de migration est aussi haut depuis que les suivis sont réalisés. Cette nouvelle donnée situe un nouveau front de migration en amont de Châteauneuf-sur-Charente.

## 4. Discussion

Pour la saison 2024, notre étude scientifique avait pour objectif principal d'évaluer et de comprendre les dynamiques reproductives des populations d'aloses dans le bassin versant de la Charente. Le suivi annuel de la migration et de l'activité des frayères revêt une importance capitale, compte tenu de l'urgence d'estimer les effectifs des géniteurs, de mesurer le succès du frai, et de renforcer les connaissances sur le comportement de ces espèces. Pour obtenir des résultats, il est crucial d'aborder plusieurs aspects clés de l'étude menée, notamment les méthodes utilisées, les résultats obtenus, et les implications de ces résultats sur la gestion et la conservation des populations d'aloses. L'importance de ce suivi a été amplifiée par les pressions environnementales croissantes, notamment le réchauffement climatique, la prédation du silure, ainsi que par les impacts anthropiques tels que les barrages qui perturbent les cycles naturels de ces espèces.

### 4.1. Influence des conditions environnementales sur la migration et la reproduction des aloses

Les aloses sont extrêmement sensibles aux variations environnementales. Cette année, le débit de l'eau a été identifié comme un facteur clé influant leur migration et leur reproduction. Au niveau du bassin versant de la Charente, les suivis linéaires réalisés depuis 2010 fournissent des informations sur les principaux sites

de fraie de la grande alose et de l'alose feinte. Pour la saison 2024, les résultats du suivi qualitatif ont été mauvais dans la migration et la reproduction des grandes aloses et des aloses feintes sur l'ensemble des frayères de la Charente. En effet, les suivis ont montré une répartition inégale entre amont et aval de l'activité de reproduction le long de l'axe migratoire du fleuve. Une plus grande activité reproductive a été constatée en aval de Cognac, tandis que les zones en amont montrent une activité beaucoup plus réduite. Cette inégalité a été confirmée par le nombre de passage d'aloses par la station de vidéo-comptage de Crouin où seulement 17 aloses ont été observées. Cependant, ce suivi n'est pas représentatif de la population d'aloses car le barrage a été submergé une bonne partie du printemps et elles ont pu franchir directement le barrage sans emprunter la passe à poissons. Nous savons aussi qu'il y a eu une petite activité reproductive chez l'alose feinte vu qu'elle ne se reproduit que dans les zones aval du fleuve. En ce qui concerne, la grande alose, son activité de reproduction a aussi été très faible et il a été difficile de déterminer son front de migration. Au contraire, pour l'année 2023, le suivi qualitatif a été meilleur. Toutes les frayères en aval de Cognac sauf le bac de Dompierre ont été actives. Dans l'ensemble, une très forte activité est observée sur les frayères de Saint-Savinien et Taillebourg avec plus de 40 à 60 bulls entendus en quinze minutes (Annexe 11). La frayère de Châteauneuf-sur-Charente a également montré des signes d'activité en 2024 identifiant ainsi le front de migration par le suivi qualitatif au cours de la saison.

En 2024, les conditions environnementales ont permis aux aloses d'entreprendre leur reproduction mais le succès de cette dernière a été impacté. En effet, après la période de reproduction, la température de l'eau a baissé en dessous de 16°C et les débits étaient toujours élevés. Ces facteurs ont probablement empêché les aloses de se développer dans des conditions optimales. Pour un bon développement et un meilleur taux de survie des larves, il faut que la température de l'eau se trouve entre 16,6°C et 24,8°C (Jatteau et al., 2017) et que le débit soit « raisonnable ». A l'inverse les années 2017 et 2022, ont été marquées par des températures élevées et des étiages importants, où un impact négatif sur la remontée des aloses et leur activité reproductive a été montré (Labedan, 2017; Gaudron, 2022). Ces résultats corroborent les études antérieures qui suggèrent que les changements climatiques influencent fortement le comportement migratoire des aloses et confirme les résultats de Legrand (2021). De plus, d'autres études ont démontré qu'une température de l'eau inférieure à 15°C et supérieure à 23°C inhibait leur reproduction tandis qu'une température intermédiaire la stimulait (Boisneau et al., 1990; Aprahamian et al., 2003). Ce constat est affirmé par Hochachka & Somero (2002) et Rome (2007) qui ont prouvé un lien entre la température de l'eau et tous les processus majeurs du cycle de vie des espèces. Fry (1971) démontre également que la physiologie et le comportement de ces poissons sont dynamisées par la température de l'eau.

Les données des études précédentes montrent que le débit et la température de l'eau peuvent être des facteurs déterminant pour la reproduction des aloses (Baglinière et al., 2003), notamment pour le choix du lieu de ponte. Une diminution du débit, souvent liée à des températures élevées et à une faible pluviométrie, peut

affecter négativement le comportement reproducteur en modifiant la structure des frayères, surtout en ce qui concerne la hauteur et les zones de courant, les rendant moins favorables à la ponte (Cassou-Leins, 1981; Boisneau et al., 1990). Une étude de Lambert et al. a démontré que les géniteurs choisissent les sites de frai et qu'ils sont capables d'adapter leur ponte face aux variations de température et de débit pour maximiser la survie des œufs et des juvéniles. Cela pourrait expliquer les différentes fluctuations quotidiennes du nombre de bulls entendus sur la frayère de Taillebourg durant la saison de reproduction en fonction des conditions climatiques de cette année. La température permet également de servir d'indicateur pour les aloses en déterminant la présence et l'abondance de nourriture pour les alosons (McNamara & Houston, 2008). L'alimentation principale de ces derniers étant le zooplancton qui va apparaître en fonction de la température. Malgré de fort débit cette année, les conditions ont été propices à la reproduction de l'alse feinte sur la Charente mais pas le dépôt des œufs. Ces derniers, pour éclore, doivent être déposés par le courant sur un substrat de gravier en eaux peu profondes et à faible débit (Aprahamian et al., 2003). De fortes crues et des débits importants peuvent, au contraire, les emporter hors de ces zones propices. C'est le cas de cette année, confirmé par la faible présence d'alosons récupérés lors des suivis estuariens et fluviaux. L'indicateur basé sur ces différents suivis de pêche pour évaluer la qualité des habitats et mieux comprendre la dynamique de ces poissons risque d'être compliqué à déterminer d'autant que peu de données comparatives peuvent être étudiées vu que les premiers suivis ont commencé en 2023.

#### 4.2. Pressions anthropiques et biotiques sur les aloses

D'autres facteurs influencent également la dynamique de leur reproduction. En effet, le comportement des poissons est modelé non seulement par la température de l'eau et le débit, mais aussi par une interaction complexe de facteurs anthropiques et biotiques. La répartition inégale des aloses dans le bassin est aussi exacerbée par la présence successive d'ouvrages hydrauliques qui vient ralentir ou empêcher leur remontée et les oblige à se reproduire plus en aval (surtout chez la grande alose). Elle confirme bien une rupture écologique que subit le fleuve Charente. Bien que ces ouvrages soient équipées de dispositifs de franchissement pour la plupart, leur efficacité reste partielle notamment à cause des aspects cumulatifs. Cette année, à Crouin, les aloses n'ont eu aucune difficulté à franchir le barrage du fait qu'il a été submergé pendant une grande partie de la période migratoire. Au contraire, en 2023, des difficultés de gestion des clapets de ce barrage ont particulièrement altéré l'attractivité de la passe à poisson, réduisant ainsi les chances de succès reproductif en amont (Bekkai, 2023). En plus des ouvrages hydrauliques, la prédation par le silure joue aussi un rôle perturbateur dans la reproduction des aloses. Il représente l'une des principales pressions biotiques sur les aloses dans la Charente. Pour évaluer l'impact des silures sur les aloses et tester des solutions, une expérimentation d'effarouchement par pêche a été réalisé en 2023 sur une frayère et au pied de deux barrages par la CMCS. Les premiers résultats ont mis en évidence une légère diminution du taux de prédation des silures sur les bulls. Cependant, les silures ont aussi montré un comportement adaptatif face à cette nouvelle

technique qui leur permettent de détecter la présence d'un leurre et ainsi de rester éloigné. Un groupe de travail doit se réunir prochainement pour discuter et envisager des solutions concrètes afin de maintenir une gestion équilibrée.

#### 4.3. La frayère de Taillebourg : estimation du nombre de géniteurs

Pour la saison reproductive 2024, le nombre de géniteurs d'alose feinte est estimé à 3 767 individus sur la frayère de Taillebourg. Ce dernier est plus élevé que les trois années précédentes mais reste légèrement plus faible que 2021 (Figure 15).

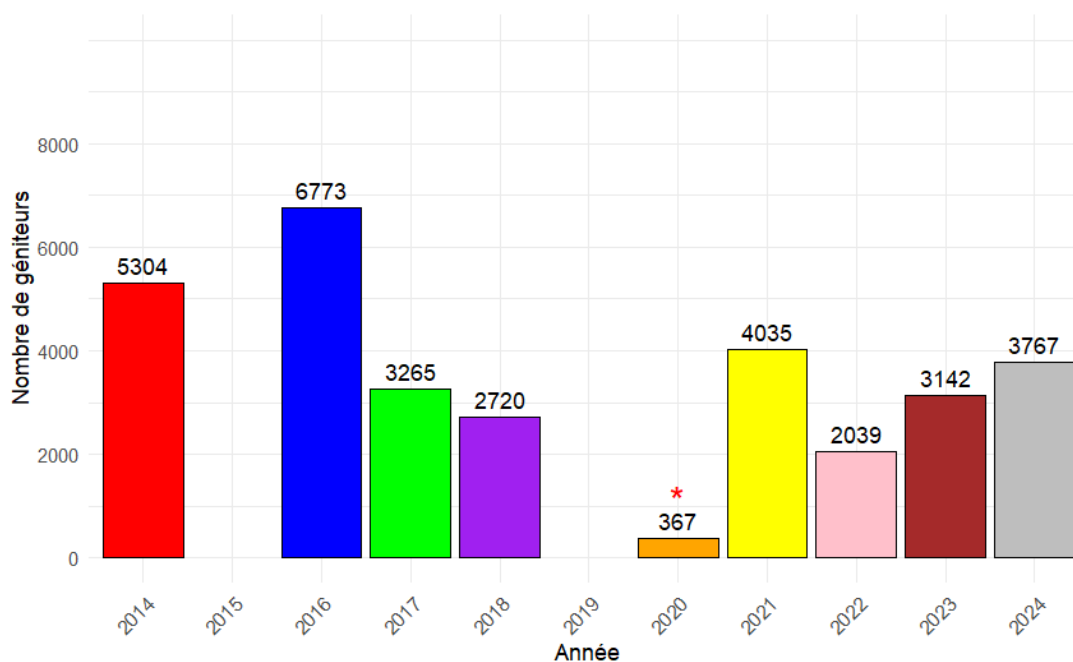


Figure 15 : Estimation du nombre de géniteurs d'alose feinte calculé par année depuis 2014.

L'année 2024 est la quatrième meilleure année d'estimation de géniteurs depuis le début des suivis réalisés avec la nouvelle méthode de 2014. Nous pouvons également constater, une chute du nombre de géniteurs au court de ces dix dernières années. Les années 2015 et 2019 n'ont pas d'estimation car les suivis n'ont pas pu être effectués. L'année 2020 montre un très faible taux de géniteurs comparés aux autres années. Avec le recul de ces quatre dernières années, cette estimation paraît faible et il faudrait la recalculer avec les données correspondantes. De plus, en 2020, nous étions en confinement et les pressions anthropiques étaient très restreintes. Nous aurions dû avoir une plus haute estimation du nombre de géniteurs que 367 pour cette année-là. Ces variations dans le nombre de géniteurs au cours du temps sont liées aux activités anthropiques, à la prédation du silure et aux conditions environnementales. Depuis 2014, les études menées par la CMCS sur l'estimation du nombre de géniteurs d'aloses feintes dans la frayère de Taillebourg ont fourni de précieuses informations. Elles ont permis d'évaluer la santé et la dynamique reproductive des populations dans le bassin de la Charente en lien avec les facteurs environnementaux qui influencent leur succès reproductif. Le recours à des méthodes de surveillance acoustique, combinées à des analyses statistiques avancées telles que la

régression PLSR et le modèle GLM, a permis d'obtenir une image détaillée de l'activité reproductive de ces poissons au cours de la saison 2024, notamment pour prédire les données manquantes. Cependant, l'estimation du nombre de géniteurs présente des limites, notamment en ce qui concerne la précision des données collectées et les biais potentiels. En effet, il y a eu quelques différences entre les années dû au moyen humain et aux conditions environnementales, ce qui introduit des variations dans les résultats. De plus, le nombre d'enregistrements effectués par semaine, par mois et par saison, ainsi que les dates de début et de fin du suivi, n'ont pas été constants. La standardisation de l'effort d'échantillonnage est cruciale pour améliorer la fiabilité des indicateurs, ainsi que la calibration des enregistrements pour minimiser les biais liés aux opérateurs. La précision, les biais et les intervalles de confiance associés à la prédiction des données manquantes peuvent limiter l'efficacité de l'estimation (Walther & Morand, 1998; Walther & Moore, 2005). Pour améliorer la fiabilité de l'indicateur, il est nécessaire de standardiser l'effort d'échantillonnage au fil des années et des mois, en appliquant un rythme d'échantillonnage maximal et systématique tout au long de la saison. C'est pourquoi l'utilisation de la SMM pourrait permettre cette fidélité des indicateurs qui serait nettement plus avantageuse qu'avec l'enregistreur Olympus. De plus, elle permet de capter plus de bulls que l'Olympus et de réduire la marge d'erreur dans l'estimation du nombre de géniteurs. Ce constat est aussi confirmé du fait que les résultats de la SMM soient beaucoup proches de la calibration que l'Olympus. Les phases de calibration devraient être réalisées par le même opérateur, de manière régulière et durant les périodes de forte activité, afin de garantir une meilleure représentativité des résultats. L'estimation du nombre de géniteurs dépend aussi de la méthode statistique utilisée et du mode de calcul appliqué. Depuis 2014, l'approche basée sur la modélisation PLSR et GLM a été maintenue constante, ce qui est essentiel pour assurer une comparaison fiable des résultats au fil du temps. Une prédiction des données manquantes en utilisant uniquement le modèle GLM a donné des estimations similaires, mais avec des marges d'erreur plus faibles. Cela s'explique par le fait que la régression PLSR inclut l'ensemble des variables explicatives pour modéliser la variation du nombre de bulls. Il devient donc pertinent de se demander s'il est vraiment nécessaire de prendre en compte toutes les variables, ou s'il serait plus efficace de se concentrer uniquement sur celles qui ont le plus d'impact sur la reproduction, à savoir la température de l'eau et le débit. Nous pouvons simplifier le modèle statistique en se concentrant uniquement sur le débit et la température de l'eau, en abandonnant la modélisation PLSR pour un modèle de régression plus simple, comme le GLM. Cela permettrait de réduire les marges d'erreur et de mieux comprendre l'impact direct de ces deux variables clés sur la reproduction des aloses, facilitant ainsi des décisions de gestion plus éclairées.

D'après Bekkaï (2023), une analyse approfondie du comportement des poissons migrateurs des aloses feintes dans le bassin de la Charente serait également bénéfique. Cela offrirait l'occasion de revisiter la méthode de calcul du nombre total de géniteurs, actuellement basée sur les hypothèses proposées par Cassou-Leins et al. (2000). Ces hypothèses reposent sur des constantes biologiques qui ont été estimées sur d'autres populations

d'aloses, ce qui pourrait entraîner de grandes variations. Il serait donc important de réévaluer des aspects clés tels que le sexe-ratio, le nombre de pontes et la fidélité des reproducteurs à une seule frayère.

#### 4.4. Conclusion et perspectives

Le suivi des populations d'aloses dans le bassin de la Charente, basé sur près de dix années de données, reste essentiel pour suivre et évaluer l'évolution de ces espèces. Les indicateurs biologiques, comme l'estimation du nombre de géniteurs, sont cruciaux pour comprendre la santé et la dynamique des populations. Pour obtenir une vision plus robuste, il est important de combiner plusieurs indicateurs, surtout dans un contexte de fluctuations naturelles des populations.

Ces variations soulèvent également des questions sur l'impact du changement climatique sur la reproduction des aloses et mettent en lumière la nécessité de continuer à surveiller ces populations, d'explorer de nouvelles frayères et de réévaluer les stratégies de suivi en fonction des évolutions environnementales. La gestion de la pression exercée par les silures est également une priorité. La compréhension de ces dynamiques est essentielle pour développer des stratégies de gestion efficaces et assurer la préservation des populations d'aloses dans le bassin de la Charente.

Pour améliorer la continuité écologique, il est impératif de développer des solutions plus efficaces, comme augmenter le nombre de passes à poissons adaptées spécifiquement aux besoins des espèces migratrices et aux conditions locales. Par conséquent, la sensibilité des aloses aux conditions de franchissement en fait un indicateur clé de la continuité écologique du bassin fluvial, reflétant la libre circulation des organismes vivants. Toutefois, il est important de noter que les passes à poissons, bien qu'elles facilitent leur passage, ne permettent pas aux sédiments de transiter, ce qui est également vital pour maintenir les habitats naturels en aval.

Par ailleurs, les nouveaux suivis (télémétrie radio, alosons et ADNe) pourront révéler la présence des aloses malgré l'absence d'observations visuelles directes et tentent aujourd'hui d'apporter des informations supplémentaires sur leur comportement lors de la migration et de la reproduction sur la Charente, afin d'orienter au mieux les modes de gestion et d'optimiser le fonctionnement des ouvrages.

Nous pourrions optimiser l'analyse des résultats en dépouillant des nuits supplémentaires de la SMM. Cela nous aurait permis de comparer les résultats obtenus avec l'Olympus pour les nuits estimées et de déterminer avec plus de précision le rapport entre les deux appareils.

## 5. Bibliographie

- Akaike, H.**, (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Alerstam, T.**, et al. (2003). Long-distance migration : Evolution and determinants. *Oikos*, 103(2), 247-260. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12559.x>
- André, G.**, et al. (2018). Synthèse sur la répartition des lamproies et des aloses amphihalines en France (161 p.) [Rapport, AFB ; INRA]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03006782>
- Assis, CA.**, (1990). Threats to the survival of anadromous fishes in the River Tagus, Portugal. *J Fish Biol* 27(Suppl A):225–226
- Alexandrino, P.**, et al. (2006). Interspecific differentiation and intraspecific substructure in two closely related clupeids with extensive hybridization, *Alosa alosa* and *Alosa fallax*. *Journal of Fish Biology*, 69(sup), 242-259. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2006.01289.x>
- Aprahamian, M. W. & Aprahamian, C. D.** (2001). The influence of water temperature and flow on year class strength of twaite shad (*alosa fallax fallax*) from the river severn, england. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 362-363, 953-972. <https://doi.org/10.1051/kmae:2001030>
- Aprahamian, M. W.**, et al. (2003). Biology, Status, and Conservation of the Anadromous Atlantic Twaite Shad *Alosa fallax fallax*.
- Baglinière J.L.**, 2000. Introduction : Le genre *Alosa* sp. p 3-30. IN BAGLINIERE J.L., and ELIE P., editors. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.). Cemagref, INRA.
- Baglinière, J. L.**, et al. (2000). Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.). Ecobiologie et variabilité des populations (Cemagref Editions et INRA editions).
- Baglinière, J.-L.**, et al. (2003). The Allis Shad *Alosa alosa*: Biology, Ecology, Range and Status of Populations. Biology, Status and Conservation of the World's Shads, 35, *American Fisheries Society*. 1-888569-51-4. ( [hal-02832505](https://doi.org/10.1007/978-1-888569-51-4))
- Baudoin, J.-M.**, et al. (2014). Évaluer le franchissement des obstacles par les poissons. *Principes et méthodes*. ONEMA
- Bekkaï, A.** (2023). Suivi alose 2023. Rapport de stage.
- Boisneau, P.**, et al. (1990). Description d'une frayère et comportement de reproduction de la grande Alose (*Alosa alosa* L.) dans le cours supérieur de la Loire. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 316, 15-23. <https://doi.org/10.1051/kmae:1990022>
- Brias, T.** (2014). Suivi alose 2014 : Ajustement du protocole de suivi et du calcul d'estimation des géniteurs d'aloses sur le bassin Charente. Rapport de stage.
- Bry, C., Hoflack, P.** (2004). Le bassin versant de la Charente : une illustration des problèmes posés par la gestion quantitative de l'eau. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 2004, 52 (52), pp.81-96. ( [hal-01199434](https://doi.org/10.1007/978-2-291-02434-4))
- Carrascal, L. M.**, et al. (2009). Partial least squares regression as an alternative to current regression methods used in ecology. *Oikos*, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.16881.x>
- Cassou-Leins, F., Cassou-Leins, J.J.** (1981). Recherches sur la biologie et l'halieutique des migrateurs de la Garonne et principalement de l'Alose, *Alosa alosa* L. Thèse doctorat 3è cycle, *Institut National Polytechnique de Toulouse*, 382p.
- Cassou-Leins, F., Cassou-Leins, J.J.** (1985). Étude de la frayère d'aloses. Rap. ENSA Toulouse, 12 p.
- Cassou-Leins, F., Cassou-Leins, J.J.** (1986). Étude de la reproduction de l'Alose. Rap. ENSA Toulouse, 12 p.
- Cassou-Leins, F., Cassou-Leins, J.J.** (1988). Suivi de la réserve naturelle de la frayère d'alse. Année 1988. DEE, ENSA Toulouse, 12 p.
- Cassou-Leins, J. J.**, et al. (2000). La reproduction. In Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.): Ecobiologie et variabilité des populations (Baglinière, J. L. & Elie, P., eds). *Institute Nationale de la Recherche Agronomique (INRA)*.
- Cellule Migrateurs Charente Seudre.** (2022). Rapport des actions 2021. Programme d'actions 2021-2025 pour la sauvegarde et la restauration des poissons migrateurs amphihalins sur les bassins Charente et Seudre. EPTB Charente, MIGADO, CAPENA. 114 pages.
- Chanseau, M.**, et al. (2006). Suivi de la reproduction de la grande alose (*Alosa alosa* L.) et de la lamproie marine (*Petromyzon marinus* L.) sur la Dordogne en aval du barrage de Tuilières -Estimation des stocks reproducteurs 2005 (41 p.). MIGADO.
- Communauté Economique Européenne.** (1992). Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages. *Official Journal L* 206, 22/07/1992 P. 0007-0050.
- Costa-Dias, S.**, et al. (2009). The decline of diadromous fish in Western Europe inland waters : Mains causes and consequence.

- Cushman, S. A., et al.** (2008). Parsimony in landscape metrics : Strength, universality, and consistency. *Ecological Indicators*, 691-703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.12.002>
- Dingle, H., & Drake, V. A.** (2007). What Is Migration? *BioScience*, 57(2), 113-121. <https://doi.org/10.1641/B570206>
- Drouineau, H., et al.** (2018). Freshwater eels : A symbol of the effects of global change. *Fish and Fisheries*, 19(5), 903-930. <https://doi.org/10.1111/faf.12300>
- Duquesne, A., et al.** (2020). Trajectoire d'évolution d'un cours d'eau à très faible énergie : Le cas de la Charente entre Angoulême et Saintes (Ouest de la France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 26(2), 97-115. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.14411>
- Figge, F.** (2004). Bio-folio : A.pplying portfolio theory to biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 13(4), 827-849. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000011729.93889.34>
- Fry, F. E. J.** (1971). The Effect of Environmental Factors on the Physiology of Fish. In *Fish Physiology* (Vol. 6, p. 198). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(08\)60146-6](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(08)60146-6)
- Gaudron, M.** (2022). Suivi alose 2022. Rapport de stage.
- GdcsI, (2022-2027).** Plan de Gestion des Poissons Migrateurs Garonne Dordogne Charente Seudre Leyre.
- Guillerault, N., et al.** (2015). Does the non-native European catfish *Silurus glanis* threaten French river fish populations? *Freshwater Biology*, 922-928. <https://doi.org/10.1111/fwb.12545>
- Hochachka, P. W. & Somero, G. N.** (2002) Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution. *Oxford University Press*, New York
- IUCN Comité français, MNHN, SFI & AFB** (2019). La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Paris, France.
- IUCN.** (2008). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2008-2.
- Jatteau, P., et al.** (2017). Thermal tolerance of allis shad (*Alosa alosa*) embryos and larvae : Modeling and potential applications. *Aquatic Living Resources*, <https://doi.org/10.1051/alr/2016033>
- Keefer, M. L., & Caudill, C. C.** (2014). Homing and straying by anadromous salmonids : A review of mechanisms and rates. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(1), 333-368. <https://doi.org/10.1007/s11160-013-9334-6>
- Keith, P., et al.** (2020). *Les Poissons d'eau douce de France*. Deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 704 p. (Inventaires & biodiversité ; 18).
- Larnier, J.P., et al.** (1994). Passes à poissons : expertise, conception des ouvrages de franchissement. CSP, pp.336, Coll. ( hal-02576509)
- Lassalle, G., et al.** (2008). Diadromous fish conservation plans need to consider global warming issues : An approach using biogeographical models. *Biological Conservation*, 141(4), 1105-1118. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.02.010>
- Lebedan, M.** (2017). Estimation du nombre de géniteurs d'aloses sur le bassin versant de la Charente et suivi des migration. Rapport de stage.
- Legrand, M.** (2021). Les poissons amphihalins de France face au changement climatique : Évolution des effectifs et modification de la phénologie migratoire [Thèse de doctorat, Toulouse, INPT]. <http://www.theses.fr/2021INPT0039>
- Limburg, K. E., & Waldman, J. R.** (2009). Dramatic Declines in North Atlantic Diadromous Fishes. *BioScience*, 59(11), 955-965. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.7>
- Louisy, P.** (2013). *Poissons d'eau douce* ([Nouvelle éd.]). Milan.
- Menesson-Boisneau C.**, 1990. Migration, répartition, reproduction et caractéristiques biologiques des aloses *Alosa* sp. dans le bassin de la Loire. Université de Rennes I. Thèse de Doctorat. 106 p.
- Menesson-Boisneau C.**, et al. 2000b. Biologie des aloses : Remontée migratoire des adultes. p 55-72. IN BAGLINIERE J.L., and ELIE P., editors. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.). Cemagref, INRA.
- McDowall R.M.**, 1988. Diadromy in fishes. Migrations between freshwater and marine environments. Croom Helm and Timber Press. London and Portland. 308 p.
- McDowall, R. M.** (1989). Fish Migration Diadromy in Fishes : Migrations between Freshwater and Marine Environments. *BioScience*, 565-566. <https://doi.org/10.2307/1310981>
- Northcote, T. G.** (1984). Mechanisms of Fish Migration in Rivers. *Mechanisms of Migration in Fishes* (p. 317-355). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2763-9\\_20](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2763-9_20)

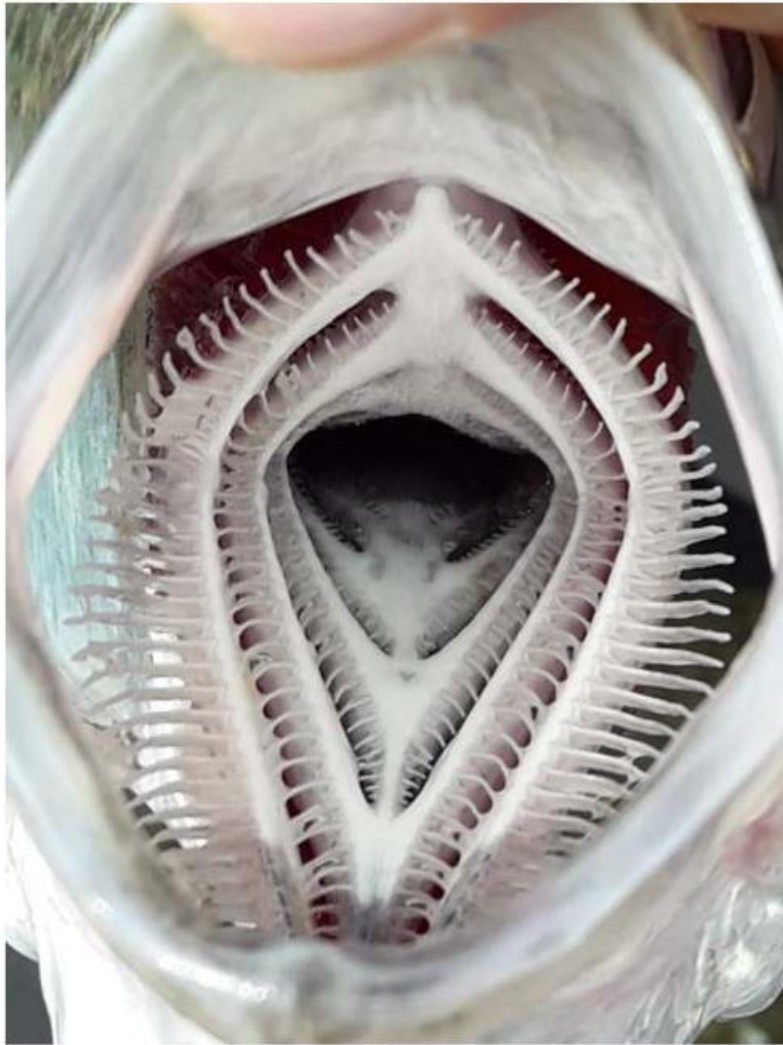
- Quignard, J.-P. and C. Douchement.** (1991). *Alosa alosa* (Linnaeus 1758). p. 89-126. In H. Hoestlandt. *The freshwater fishes of Europe*. Vol. 2. Clupeidae, Anguillidae.
- R Core Team.** (2019). R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Rochar E., & Woillez M.,** 2003. Tableau de bord, un outil pour le suivi des poissons migrateurs : concept et réflexion sur le choix d'indicateurs pour la population de grande alose sur le bassin versant Gironde Garonne Dordogne. p 47. Cemagref.
- Rome, L. C.** (2007). The effect of temperature and thermal acclimation on the sustainable performance of swimming scup. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1487), 19952016. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2083>
- Sabatié, M. R.** (1993). Recherches sur l'écologie et la biologie des aloses au Maroc (*Alosa Alosa* Linne, 1758 et *Alosa Fallax* Lacépède, 1803) : exploitation et taxinomie des populations atlantiques : bioécologie des aloses de l'Oued Sebou.
- Sabatié R., & Baglinière J.L.,** 2008. Les aloses de France et d'ailleurs...Alose feinte (*Alosa fallax* Lac.) et grande Alose (*Alosa alosa* L.) : Biologie, écologie. Les Rencontres Migrateurs LOGRAMI. UMR INRA, AGROCAMPUS ESE Rennes, Orléans.
- Syväranta, J., et al.** (2010). Dietary breadth and trophic position of introduced European catfish *Silurus glanis* in the River Tarn (Garonne River basin), southwest France. *Aquatic Biology*, 8, 137-144. <https://doi.org/10.3354/ab00220>
- Taverny, C.,** (1991) Contribution à la connaissance de la dynamique des populations d'aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax*) dans le système fluvio-estuarien de la Gironde : Pêche, biologie, écologie. Étude particulière de la dévalaison et de l'impact des activités humaines. Doctorat Biologie des populations et écosystèmes, Université de Bordeaux I,
- Taverny, C., et al.** (2000). From the egg to the adult at sea. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, pp.93-124. ( hal-02582550)
- Tentelier, C., Bouchard, et al.** (2021). The dynamics of spawning acts by a semelparous fish and its associated energetic costs. *Peer Community Journal*, 1. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.56>
- Turner, S. M., & Limburg, K. E.** (2012). Comparison of Juvenile Alewife Growth and Movement in a Large and a Small Watershed. *Marine and Coastal Fisheries*, 4(1), 337-345. <https://doi.org/10.1080/19425120.2012.675974>
- Walther, B. A., & Moore, J. L.** (2005). The concepts of bias, precision and accuracy, and their use in testing the performance of species richness estimators, with a literature review of estimator performance. *Ecography*, 28(6), 815829. <https://doi.org/10.1111/j.2005.0906-7590.04112.x>
- Walther, B. A., & Morand, S.** (1998). Comparative performance of species richness estimation methods. *Parasitology*, 116(4), 395405. <https://doi.org/10.1017/S0031182097002230>
- Whitehead, P. J. P.** (1985). Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, anchovies and wolf-herrings. FAOFisheries Synopsis 125(7). Thèse, 190 p. ENSA Rennes
- Wold, S.** (1978). Cross-Validatory Estimation of the Number of Components in Factor and Principal Components Models. *Technometrics*. <https://doi.org/10.1080/00401706.1978.10489693>
- Wold, S., et al.** (1989). Nonlinear PLS modeling. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 53-65. [https://doi.org/10.1016/0169-7439\(89\)80111-X](https://doi.org/10.1016/0169-7439(89)80111-X)
- Zydlowski, J., & Wilkie, M. P.** (2012). Freshwater to Seawater Transitions in Migratory Fishes. In *Fish Physiology* (Vol. 32, p. 253-326). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396951-4.00006-2>

## Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques morphologiques des deux espèces d'aloses (Rochard et Woillez, 2003; Bensettiti & Gaudillat, 2004; Bensettiti & Gaudillat, 2004; Cassou-Leins, 1981; Keith et al., 2020).

	<b>Grande alose</b>	<b>Alose feinte</b>
<b>Corps</b>	robuste  profil dorsal très courbé	élancé et forme cylindrique  profil dorsal peu incurvé
<b>Tête</b>	grande tache noire derrière l'opercule, parfois suivie d'une ou plusieurs petites taches  large bouche orientée vers le haut	rangée de 4 à 8 taches noires derrière l'opercule
<b>Couleur</b>	bleu sombre sur le dos et des flancs blancs argentés	bleu sombre sur le dos et des flancs blancs argentés
<b>Taille</b>	entre 30 cm et 70 cm	entre 30 cm et 50 cm
<b>Poids</b>	environ 1,4 kg au stade adulte  (max 3,5 kg)	environ 0,66 kg au stade adulte  (max 1,7 kg)
<b>Dimorphisme sexuelle</b>	femelle plus grande que le mâle	femelle plus grande que le mâle
<b>Ecailles</b>	disposées de manière irrégulière le long de la ligne longitudinale	agencées de façon régulière le long de la ligne longitudinale
<b>Branchiospines</b>	plus de 90 branchiospines très fines	moins de 60 branchiospines larges

Annexe 2 : Branchiospines d'une alose feinte (Maelle Gaudron, stagiaire EPTB, 2022).



Annexe 3 : Comparaison du comportement migrateur et reproducteur de la grande alose et de l'alose feinte (Mennesson-Boisneau et al, 2000 ; Baglinière et al., 2000; Keith et al., 2020, Douchement, 1981 ; Gallois, 1946); Rochard et Woillez, 2003; Bensettiti & Gaudillat, 2004); Cassou-Leins, 1981).

	<b>Grande alose</b>	<b>Alose feinte</b>
<b>Distance de migration maximale</b>	plus de 650 km de la mer	plus de 250 km de la mer
<b>Période de migration</b>	février à juillet	mars à juillet
<b>Durée de montaison</b>	4 à 4,5 mois	3 à 3,5 mois
<b>Âge lors de la montaison</b>	3 à 7 ans	3 à 8 ans
<b>Température optimale de l'eau pour migrer</b>	supérieure à 11°C (13°C – 15°C)	supérieure à 11°C (14°C – 16°C)
<b>Autres facteurs environnementaux modifiant la migration</b>	marée, débit d'eau, houle, turbidité, salinité, vent, latitude et configuration de l'estuaire	
<b>Température optimale de l'eau pour se reproduire</b>	12°C à 19°C	18°C et 22°C
<b>Stratégie de reproduction</b>	sémelpare*	itéropare*
<b>Nombre d'oeufs pondus</b>	50 000 à 200 000 œufs	85 000 à 150 000 œufs

Annexe 4 : Bull d'alse (Source Association Migrateurs Rhône-Méditerranée).



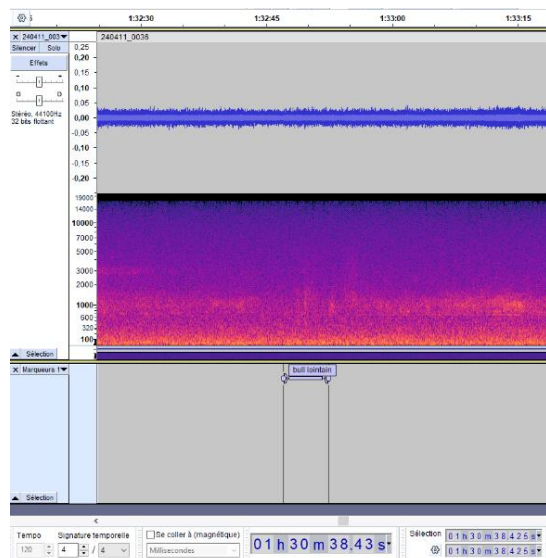
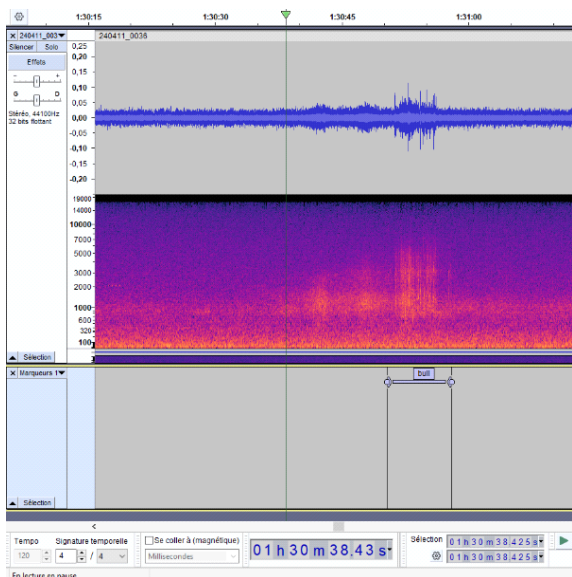
Annexe 5 : Continuité écologique, échanges entre les différents milieux aquatiques (Source EPTB Sèvre Nantaise).



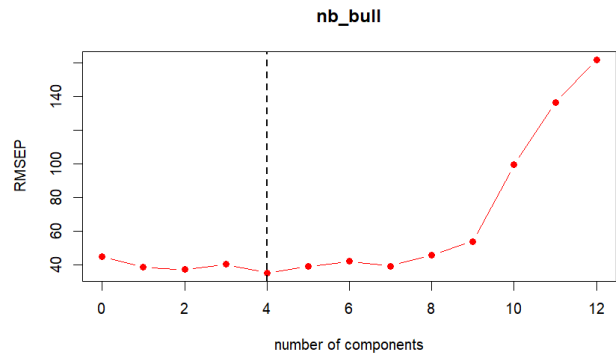
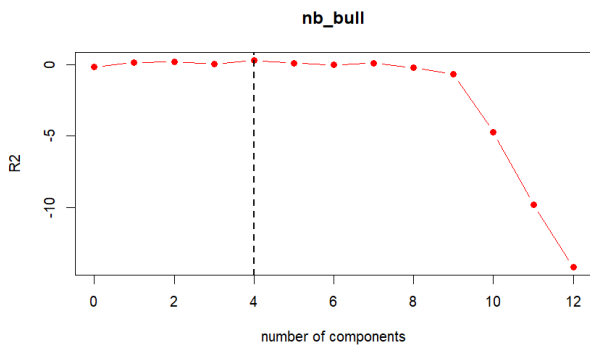
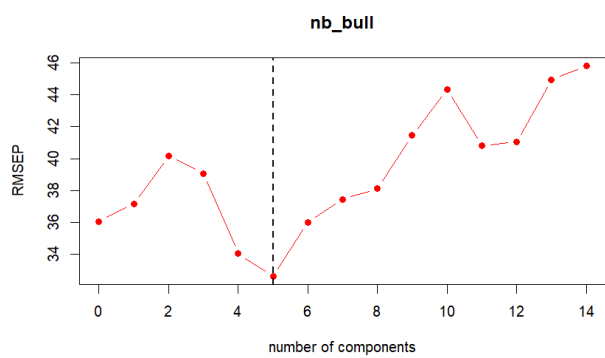
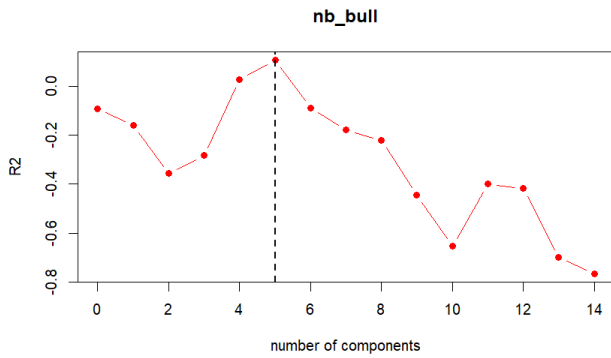
Annexe 6 : Avantages / inconvénients entre les deux méthodes d'enregistrement.

	Enregistreur Olympus	Song Meter Micro (SMM)
<b>Pose / relève</b>	Soir / Matin 1 fois / semaine en début et fin saison 2 fois / semaine lors du pic de reproduction	1 fois / saison
<b>Activation</b>	Sur place	A distance
<b>Paramètres d'enregistrement</b>	Par défaut	Prédéfinis (23h – 6h, chaque nuit)
<b>Récupération de données</b>	A chaque relève	1 fois / semaine (carte SD)
<b>Capacité de stockage</b>	Faible	Elevée
<b>Avantages / inconvénients</b>	Visible, encombrant, risque de vol, durée enregistrement limité (piles)	Discret, facilité de transport, fiabilité, grande autonomie
<b>Dépendance du niveau de la Charente (crue, marée)</b>	Elevé	Nulle
<b>Coût</b>	Elevé (parabole spécifique)	Abordable

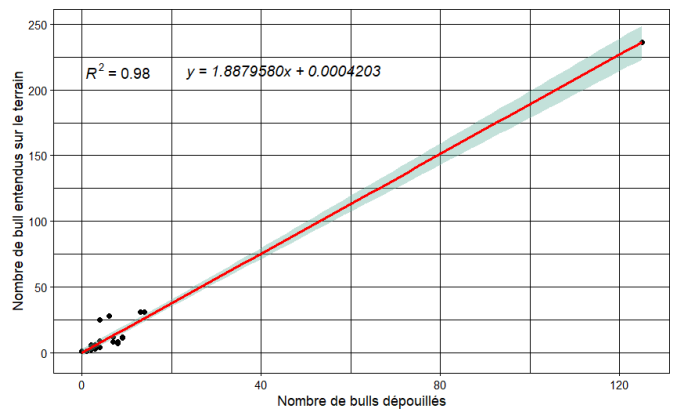
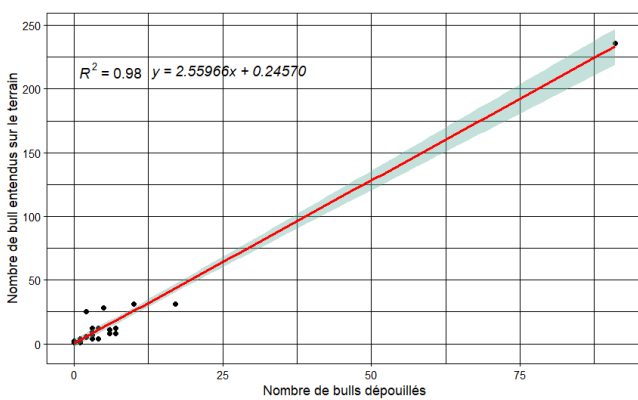
Annexe 7 : Visualisation d'un bull et d'un bull lointain sur le logiciel Audacity.



Annexe 8 : Choix de la composante grâce aux valeurs du RMSEP et de  $R^2$  pour l'Olympus (en haut) et pour la SMM (en bas).



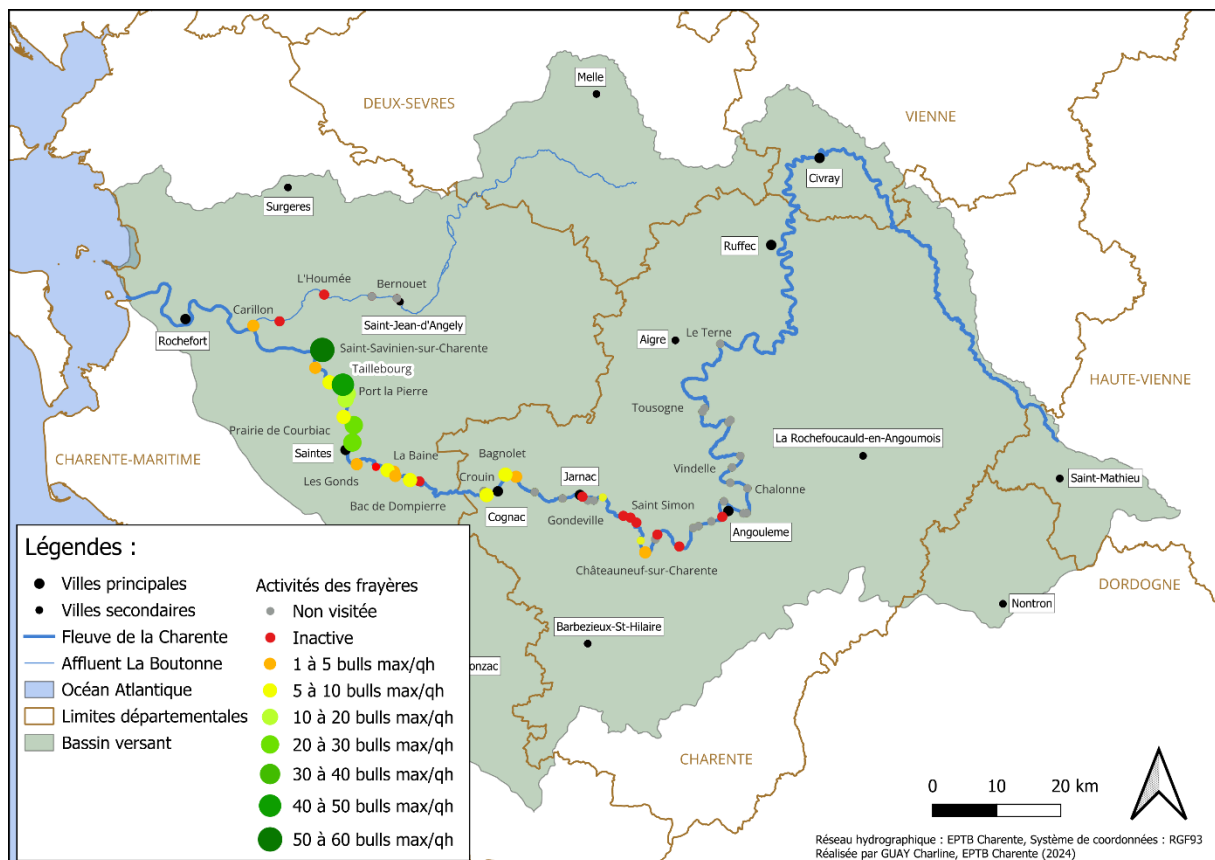
Annexe 9 : Relation entre le nombre de bull entendu directement sur le terrain et le nombre de bull entendu sur les enregistrements dépouillés (à gauche pour l'Olympus, à droite pour la SMM).



Annexe 10 : Cadavre de grande alose à Vars observée mi-juillet (Fédération de pêche 17).



Annexe 11 : Cartographie représentant l'activité des frayères sur le bassin de la Charente pour la saison 2023.



## **Glossaire**

ADNe : ADN environnemental

AICc : Critère d'Information d'Akaike corrigé

CAPENA : Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement de Nouvelle-Aquitaine

CEE : Communauté Economique Européenne

CMCS : Cellule Migrateurs Charente Seudre

CoGePoMi : Comité de Gestion des Poissons Migrateurs

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

EPTB : Etablissement Public Territorial de Bassin

EPCI : Etablissements Publics de Coopération Intercommunale

GLM : Modèle Linéaire Généralisé

INRAe : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

IUCN : Union International pour la Conservation de la Nature

LEMA : Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques

LOGRAMI : Loire Grands Migrateurs

LOO : Leave-One-Out

MIGADO : Association Migrateurs Garonne Dordogne Charente-Seudre

MRM : Association Migrateurs Rhône Méditerranée

OFB : Office Français de la Biodiversité

OMM : Organisation Météorologique Mondiale

PAPI : Programme d'Actions de Prévention des Inondations

PGE : Plan de Gestion des Etiages

PGDCSL : Plagepomi Garonne Dordogne Charente Seudre et Leyre

PlaGePoMi : Plan de Gestion des Poissons Migrateurs

PLS : Partial Least Square

PLSR : Partial Linear Square Regression

RECEMA : Réseau d'Evaluation Complémentaire de l'Etat de l'eau et des Milieux Aquatiques

RMSEP : Root Mean Square Error of the Prediction (Racine carrée de l'erreur de prédiction)

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SHOM : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

SLGRI : Stratégie Locale de Gestion du Risque d'Inondation

SMM : Song Meter Micro

SMT : Système Mondial de Télécommunication

SYNOP : Données d'observations des messages internationaux

VIP : Variable Importance in the Prediction

## **Lexique**

ADNe : évaluer la biodiversité et la provenance d'une espèce en collectant de l'ADN directement dans l'environnement (eau, sédiments, sol) sans réaliser de mise en piège ou d'expérience direct sur l'espèce concernée.

Alosons : juvéniles d'aloses

Branchiospines : structures fines et allongées situées sur les arcs branchiaux des poissons. Elles se trouvent à l'intérieur des branchies, juste avant les filaments branchiaux. Leur fonction principale est liée à l'alimentation.

Espèces holobiotiques : espèces qui réalisent leurs déplacements uniquement en eau douce

Rhéotactisme : réponse comportementale des organismes aquatiques, notamment des poissons, à un courant d'eau. Il s'agit de l'orientation et du mouvement des organismes en réaction au flux de l'eau, et il peut être positif (déplacement face au courant) ou négatif (déplacement avec le courant)

Scutelles : écailles spéciales dirigées vers l'arrière