

MASTER BE (Ecologie & Biodiversité)

Spécialité : Bioressources **Aquatiques** en Environnement **Méditerranéen** et **Tropical**



Rapport de stage de M2

Année 2020 / 2021

Suivi de la reproduction des aloses sur le bassin versant de la Charente en 2021 :
Estimation du nombre de géniteurs d'aloses feintes sur la frayère de Taillebourg



Jérémy EGEA

Réalisé sous la direction de **Audrey POSTIC-PUIVIF**, Chef de Projets Poissons Migrateurs
Mail : audrey.postic-puivif@fleuve-charente.net, Tel : 05 46 74 00 02

EPTB Charente
5 rue Chante-Caille
Z.I. des Charriers
17100 SAINTES



EPTB Charente
Etablissement Public Territorial de Bassin Charente

Septembre 2021

PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

L'EPTB Charente (Établissement Public Territorial de Bassin de la Charente) a été créé en 1977 suite à la sécheresse historique de 1976 à l'initiative des départements de la région Poitou-Charentes : Charente, Charente-Maritime, Deux-Sèvre et Vienne.

Cet établissement agissant à l'échelle du bassin versant de la Charente, a pour mission de promouvoir la gestion de l'eau. Celle-ci se fait via des études et travaux permettant l'amélioration du régime hydraulique tant en crue qu'en étiage, de maintenir ou reconquérir la qualité des eaux et des milieux aquatiques ainsi que de valoriser le tourisme du fleuve et de ses affluents. De plus il favorise la concertation entre les collectivités territoriales compétentes pour cette gestion.

Une étude, menée par l'EPTB Charente et réalisée par Hydroconcept en 2003, a permis de dresser un bilan des connaissances sur les espèces de poissons migrateurs et les capacités d'accueil des bassins Charente et Seudre.

Cependant, jusqu'en 2007 très peu d'actions en faveur des poissons migrateurs étaient mises en œuvre, engendrant un réel manque de connaissances concernant ces espèces sur ce bassin. La sortie de plusieurs outils réglementaires comme le classement des cours d'eau au titre de l'article L214-17, le règlement européen sur l'Anguille européenne, ont permis de lancer une dynamique sur le bassin de la Charente pour la prise en compte des espèces et leur préservation.

C'est dans ce contexte que la Cellule Migrateurs Charente et Seudre a vu le jour en 2008. Elle se compose de trois acteurs : l'EPTB Charente, l'Association Migrateurs Garonne Dordogne Charente Seudre et le Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement de Nouvelle-Aquitaine. Ainsi, elle met en œuvre des actions inscrites dans des programmes pluriannuels depuis 2009, et assure la sauvegarde et la restauration des populations de poissons migrateurs amphihalins.

Concernant sa configuration actuelle, elle s'appuie sur les études complémentaires de trois animateurs représentant les trois acteurs de la CMCS : Audrey POSTIC-PUIVIF (EPTB Charente), François ALBERT (MIGADO), et Éric BUARD (CAPENA). Ce stage s'est effectué au sein de l'EPTB Charente sous la supervision scientifique d'Audrey POSTIC-PUIVIF.



EPTB Charente

Etablissement Public Territorial de Bassin Charente



REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier grandement Audrey POSTIC-PUIVIF, Chef de projet Poissons Migrateurs, pour avoir accepté ma candidature et fait en sorte de m'accueillir du mieux possible lors de ce stage. Merci pour ta disponibilité, le partage de tes connaissances et tes conseils avisés, le tout dans la bonne humeur.

Merci également à Eric BUARD de CAPENA et François ALBERT de MIGADO, pour les échanges enrichissants et pour avoir rendu les sorties terrains encore plus agréables.

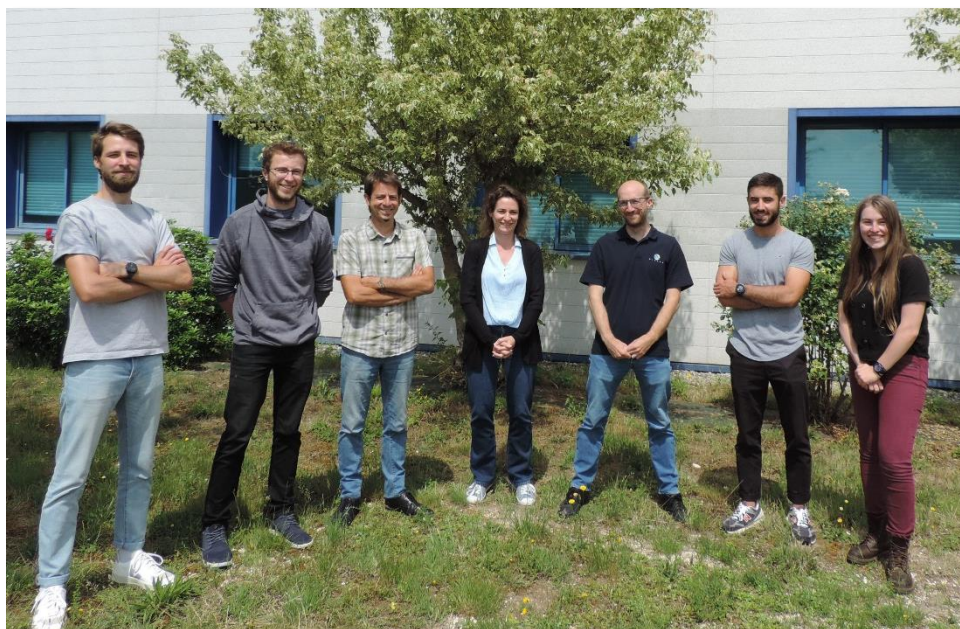
Je n'oublie évidemment pas de remercier Marc-Antoine COLLEU et Robin SZCZEPANIAK, les collègues « Poissons » de l'EPTB Charente, pour leur sympathie et les bons moments partagés au bureau, lors des suivis nocturnes ou autour d'un verre.

J'adresse ensuite mes remerciements à David CAZAUBON et Pierre AUDONNET de la FDPPMA 17, pour leur appui sans faille lors des comptages nocturnes cette saison et pour la nuit partagée ensemble.

Un grand merci à toute l'équipe de l'EPTB Charente pour son accueil chaleureux, les pauses et les repas partagés, et les conditions de travail agréables rencontrées en permanence lors de ce stage.

Merci aussi aux camarades stagiaires Amélie, Amaya et Paul pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon sujet de stage.

Et enfin, merci aux aloses (feintes) !



Cellule Migrateurs Charente Seudre 2021 : avec de gauche à droite Robin SZCZEPANIAK et Marc-Antoine COLLEU de l'EPTB, Eric BUARD de CAPENA, Audrey POSTIC-PUIVIF, François ALBERT de MIGADO, moi-même et Amaya GAUVIN de MIGADO.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
1. MATERIEL ET METHODE	4
1.1. Site d'étude	4
1.1.1. Généralités sur le bassin Charente	4
1.1.2. Frayère(s) étudiée(s)	4
1.2. Matériel biologique	4
1.2.1. L'alose feinte <i>Alosa fallax</i>	4
1.2.2. Répartition géographique	6
1.2.3. Cycle biologique et reproduction	6
1.3. Estimation du nombre de géniteurs d'aloses feintes sur la frayère de Taillebourg	8
1.3.1. Suivi par enregistrements audio-numériques de l'activité de reproduction	8
1.3.2. Suivi terrain nocturne	8
1.3.3. Dépouillement des enregistrements	8
1.3.4. Acquisition des variables environnementales sur la période de suivi	8
1.3.5. Analyses statistiques et reconstitution des données manquantes	10
2. RESULTATS	12
2.1. Nombre de bulls en 2021 et effort d'échantillonnage	12
2.2. Rythme de reproduction et variables environnementales	12
2.3. Extrapolation des données manquantes et calibration de l'enregistreur	14
2.4. Calcul du nombre de géniteurs, nombre de bulls maximal par nuit et comparaisons interannuelles	21
3. DISCUSSION	21
3.1. Comptage des bulls à Taillebourg : un indicateur annuel de l'effectif de géniteurs d'aloses feintes sur la Charente	21
3.2. Limites des calculs	23
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	24

LISTE DES SIGLES

ADNe ADN environnemental

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

CMCS Cellule Migrateurs Charente Seudre

EPTB Etablissement Public Territorial de Bassin

FDPPMA Fédération Départementale de Pêche et de Protection des Milieux Aquatiques

GGD Système Gironde-Garonne-Dordogne

MIGADO Association Migrateurs Garonne Dordogne Charente Seudre

PLAGEPOMI Plan de Gestion des Poissons Migrateurs

POMI Poissons Migrateurs

SAGE Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

STACOMI Station de Contrôle des Migrateurs

UICN Union Internationale pour la Conservation de la Nature

INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Évolution interannuelle de l'estimation du nombre d'aloses feintes et de grandes aloses comptabilisées à la STACOMI de Crouin ; Source : CMCS, 2020.....	3
Figure 2 : Nombre de géniteurs d'aloses estimés sur les 3 principales frayères de la Charente.....	3
Figure 3 : Bassin versant de la Charente et bassin versant de la Seudre ; Source : FISH-PASS, Août 2020.....	5
Figure 4 : Carte des frayères à aloses sur la Charente ; Source : CMCS.....	5
Figure 5 : Cycle biologique de l'alose feinte ; Source : MIGADO.....	5
Figure 6 : Photos de bulls d'aloses ; Source MRM.....	7
Figure 7 : Dispositif d'enregistrement posé sur le site de Taillebourg la nuit du 18 mai 2021	7
Figure 8 : Spectre caractéristique d'un bull sur le logiciel Audacity.....	9
Figure 9 : Nombre de bulls par nuit, évolution de la température de l'eau (a) et du débit (b) de la Charente, et cumul des précipitations journalières sur Saintes (c) en 2021.....	13
Figure 10 : Nombre de bulls par nuit, hauteur d'eau moyenne (a) et variation brute de la hauteur d'eau (b) à Rochefort entre 00h et 02h en 2021	15
Figure 11 : Nombre de bulls par nuit, évolution de la pression atmosphérique (a), de la nébulosité totale moyenne entre 00h et 6h à Chassiron et de la luminosité de la lune (b).....	15
Figure 12 : Résultats de l'ACP réalisée sur le nombre de bulls et les variables environnementales ; graphique de corrélation des variables avec un gradient de couleur selon leur contribution à la définition des dimensions (a), pourcentages de variances expliquées.....	16
Figure 13 : Matrice de corrélations avec nuages de points entre les variables environnementales et le nombre de bulls à Taillebourg en 2021 ;.....	16
Figure 14 : Racine Carrée de l'Erreur Quadratique (RMSEP) (a) et R2 (b) en fonction du nombre de composantes de la régression PLS du nombre de bulls et des variables environnementales	17
Figure 15 : Nombre de bulls observés et théoriques calculés à partir du modèle de régression PLS en fonction des variables gTemps, gTeau, Diff_Teau_24, Debit, Diff_deb_24, Pluvio_jour, Tair_moy_jour, H_moy_rochefort, Diff_h_00h02h_rochefort, Lune, Neb, P_atm_nuit et Tend_patm_24.....	17
Figure 16 : Régression linéaire entre le nombre de bulls perçus sur le terrain et le nombre de bulls dépouillés avec l'enregistreur.....	19
Figure 17 : Nombre total de bulls observés par quart d'heure et prédiction du nombre de bulls pour les ¼ d'heure manquants avec intervalle de confiance à 95% selon l'ajustement d'une courbe polynomiale de degré 3	20
Figure 18 : Nombre de géniteurs d'aloses feintes estimé annuellement sur la frayère de Taillebourg sur la Charente	22
Figure 19 : Nombre maximal de bulls par nuit observé annuellement sur la frayère de Taillebourg grâce aux enregistrements acoustiques ; avec n = nombre de nuits échantillonnées dans la saison	22

INDEX DES TABLEAUX

Tableau I : Etats/tendances et indicateurs annuels du tableau de bord de la CMCS pour les 2 espèces d'aloses de 2012 à 2019 ; Source : CMCS, 2020.....	3
Tableau II : Valeurs de l'indice VIP (Variable Importance in the Prediction) et coefficients de régression pour chaque variable selon le modèle de régression PLS du nombre de bulls à Taillebourg en 2021	17
Tableau III : Résultats de la calibration entre le total de bulls capturé par l'enregistreur et les agents sur le terrain, par régression linéaire simple.....	19
Tableau IV : AICc des équations de régression polynomiales testée pour l'estimation du nombre de bulls sur les ¼ d'heure manquants	20

INTRODUCTION

Lorsque l'on s'interroge sur la qualité des habitats aquatiques et l'érosion de la biodiversité, les poissons migrateurs constituent d'excellents modèles d'études. En effet, ces espèces diadromes réalisent leur cycle de vie sur un continuum fleuve-estuaire-mer, et permettent ainsi d'appréhender la fonctionnalité et la connectivité de ces 3 milieux. Parmi elles, les espèces anadromes, dont les jeunes stades naissent et grandissent en eau douce, représentent d'excellents indicateurs de la qualité des fleuves et des estuaires (Baglinière *et al*, 2003).

La grande alose *Alosa alosa* et l'alse feinte *Alosa fallax* sont des poissons migrateurs anadromes appartenant à la famille des Clupéidés. Leur reproduction a lieu en eau douce dans le cours moyen-supérieur des rivières, où se déroule également le développement des larves et des juvéniles, avant que ceux-ci ne migrent vers la mer pour leur phase de grossissement (Taverny *et al*, 2000). En raison de leur cycle de vie, la grande alose et l'alse feinte sont exposées à de nombreuses pressions naturelles et anthropiques, notamment au cours de leurs migrations de reproduction et de dévalaison (température, hypoxie, ruptures de connectivité, pollutions...) (Mota & Antunes, 2012 ; Rougier *et al*, 2012). Leurs populations représentent un patrimoine écologique européen de grande valeur, mais, comme d'autres espèces de migrateurs amphihalins, elles sont en déclin à l'échelle de leur aire de répartition (Baglinière, 2000 ; Limburg & Waldman, 2009). Ce déclin dans son ensemble, est supposé être lié à des effets synergiques impliquant la surpêche, l'implantation de barrages et la dégradation des habitats constituant les zones de fraie (Baudouin *et al*, 2014 ; De Groot, 2002 ; Baglinière *et al*, 2003). Le réchauffement climatique, qui constitue une menace potentielle pour toutes les populations de migrateurs anadromes, pourrait également avoir une influence particulièrement négative sur le statut de la grande alose (Lassalle *et al*, 2009 ; Jatteau *et al*, 2017). En 2019, une nouvelle évaluation du comité français de l'UICN classe la grande alose en « danger critique d'extinction » et l'alse feinte « quasi menacée » sur la liste rouge des poissons d'eau douce de France métropolitaine (UICN France, 2020).

Situés au nord de la Gironde et au sud de la Loire, les bassins de la Charente et de la Seudre sont en lien directs avec les pertuis charentais. De part cette position stratégique sur la façade atlantique et la diversité des habitats qu'ils offrent (marais et zones humides, réseau hydrographique dense), les bassins de la Charente et de la Seudre représentent des territoires d'importance pour la reproduction, la croissance et le développement des poissons migrateurs amphihalins (Hydro Concept, 2003). Parmi les principales espèces présentes, on retrouve les deux espèces d'alse (grande alose et alose feinte), l'anguille européenne, les deux espèces de lamproie (lamproie marine et lamproie fluviatile), le saumon Atlantique, ainsi que la truite de mer. Depuis 13 ans, la Cellule Migrateurs Charente Seudre, fruit d'une collaboration locale entre l'EPTB Charente, CAPENA et MIGADO, s'emploie à mettre en place un programme pluriannuel d'actions s'articulant autour de 3 thématiques : la connaissance de l'état des populations, la restauration de la continuité écologique et la communication pour sensibiliser les acteurs locaux dans la sauvegarde des poissons grands migrateurs.

En octobre 2019, l'EPTB Charente, avec ses partenaires CAPENA et MIGADO, a engagé une étude visant à effectuer une analyse des données acquises depuis 10 ans par la Cellule Migrateurs Charente-Seudre, à identifier des projets d'intérêt commun et à préparer le prochain programme d'actions 2021-2025. Avec l'appui financier de l'Agence de l'eau Adour-Garonne et de la Région Nouvelle-Aquitaine, cette étude a été confiée au groupement de bureaux d'études SCIMABIO Interface – FISH PASS. Elle a permis de répondre aux mesures du PLAGEPOMI 2015-2019 « Garonne, Dordogne, Charente, Seudre, Leyre » (prolongé jusqu'en 2021), et des SAGE locaux qui visent, notamment, la connaissance des espèces et l'amélioration de la continuité écologique.

Elle correspondait, de plus, à un besoin du territoire. En effet, une étude des potentialités piscicoles portée par l'EPTB Charente et réalisée par Hydro Concept en 2003 sert encore de référence sur les ouvrages (position géographique et franchissabilité) et sur l'inventaire des frayères actives et potentielles des poissons migrateurs. Depuis 2008, des suivis biologiques pour améliorer les connaissances, tant sur le plan des effectifs que de l'activité de reproduction ont été réalisés annuellement par la CMCS. Une STACOMI (par vidéo-comptage) a été mise en service à Crouin en 2009 et une chronique de 7 ans de données est aujourd'hui disponible. Qui plus est, le contexte migratoire a également évolué grâce aux différents aménagements pour l'amélioration de la continuité écologique.

Les états et tendances des différentes espèces de POMI sur les bassins Charente et Seudre sont déterminés annuellement par le groupe de travail « Tableau de Bord ». Pour cela, les membres de ce groupe de travail se basent sur les indicateurs annuels issus des différents suivis et leur évolution par rapport aux années récentes. Malheureusement, l'état général des populations d'aloses sur la Charente est considéré « mauvais », quel que soit l'année considérée depuis 2012 (*Tableau I*). En termes de tendance, le constat est d'autant plus inquiétant que sur les 8 années concernées, on enregistre 5 années à la baisse (donc une aggravation de l'état déjà jugé « mauvais » antérieurement), 2 années stables et une seule année en augmentation, en 2012. Ainsi, l'état des populations d'aloses de la Charente semble suivre la même tendance que celle précédemment décrite à l'échelle totale de fonctionnalité de ces 2 espèces. Les effectifs d'aloses en migrations comptabilisés à la STACOMI de Crouin, le nombre de géniteurs estimés sur les frayères majeures, ainsi que le front de colonisation constituent les principaux indicateurs pour les deux espèces.

Les comptages d'individus à la STACOMI de Crouin témoignent en premier lieu d'une forte variabilité interannuelle des flux de passages. Les effectifs comptabilisés sont très faibles sur 2018 et 2019, l'année 2020 s'inscrivant dans cette tendance avec seulement 204 individus pour les 2 espèces réunies (*Figure 1*). À noter que les facteurs mésologiques permettant d'expliquer la forte variabilité interannuelle sont difficiles à identifier. Les années à faible hydrologie printanière semblent toutefois bien corrélées aux années à faibles effectifs comptabilisés à la STACOMI de Crouin (Abdallah *et al*, 2021 ; CMCS, 2020).

Le fait que la STACOMI soit localisée en amont d'un nombre important de frayères actives constitue une vraie limite dans l'interprétation des comptages réalisés à Crouin. La CMCS considère que les frayères localisées en aval de Crouin sont très majoritairement fréquentées par des aloses feintes. À l'inverse, les frayères situées en amont de Crouin sont fréquentées par les grandes aloses. Pour l'amont, cette hypothèse est confirmée par le vidéocomptage avec une discrimination des 2 espèces réalisées à partir de la taille des individus (Dartiguelongue, 2019). En revanche, pour l'aval, cette hypothèse est surtout basée sur la durée des bulls, les bulls longs étant attribués aux grandes aloses. Il est supposé qu'une part inconnue mais sûrement faible de grandes aloses se reproduit vraisemblablement sur des frayères en aval de Crouin, avec de fait un chevauchement avec les frayères d'aloses feintes engendrant de possibles hybridations entre les 2 espèces (Jolly *et al*, 2011).

Les suivis nocturnes réalisés en routine sur les 3 principales frayères d'aloses en aval de Crouin permettent d'aboutir chaque année à une estimation grossière du nombre de géniteurs présents sur ces frayères. Les chiffres confirment la tendance nette à la baisse des effectifs entre 2010 et 2018 (*Figure 2*). La distinction entre la grande alose et l'alose feinte lors des suivis est une problématique particulière, à prendre en considération dans l'évaluation de l'état des populations d'aloses sur la Charente. C'est pourquoi dès 2021, la CMCS a choisi de retenir le suivi avec enregistreurs de la frayère de Taillebourg, comme l'indicateur reconnu de l'activité de reproduction pour les aloses feintes.

Tableau I : Etats/tendances et indicateurs annuels du tableau de bord de la CMCS pour les 2 espèces d'aloses de 2012 à 2019 ; Source : CMCS, 2020.

Indicateurs analysés		Année de suivi																					
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		2019													
Synthèse																							
Etat général		ALO ALF ALO ALF																					
Tendance		↗	↘	↘	→	↘	↘	↘	↘	→	→												
Population																							
Front de migration																							
<table><tr><th colspan="2">Légendes</th></tr><tr><td>Etat</td><td>Tendance</td></tr><tr><td>Bon</td><td>↗</td></tr><tr><td>Moyen</td><td>↘</td></tr><tr><td>Mauvais</td><td>→</td></tr><tr><td>Non défini</td><td>?</td></tr></table>		Légendes		Etat	Tendance	Bon	↗	Moyen	↘	Mauvais	→	Non défini	?	↗	↘	↘	↗	↘	→	→	→	→	→
Légendes																							
Etat	Tendance																						
Bon	↗																						
Moyen	↘																						
Mauvais	→																						
Non défini	?																						
Effectif en migration																							
		?	↘	↗	↗	?	→	↘	↘	↘	↘												
Effectif de géniteurs																							
		?	?	↘	?	↗	↘	↘	↘	?	?												
Milieu et continuité																							
Aménagements des ouvrages impactant la montaison																							
		↗	→	↗	→	→	→	→	→	↗	↗												
Linéaire accessible																							
		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→												

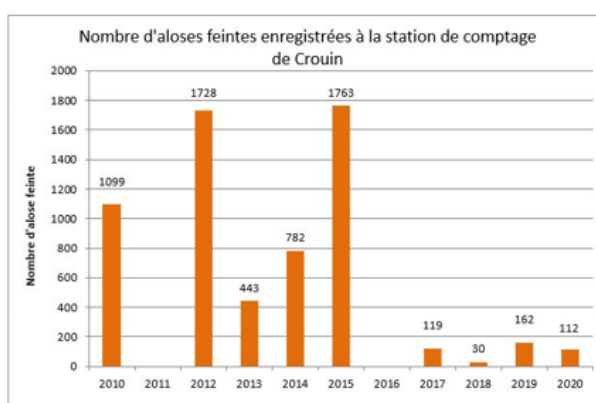
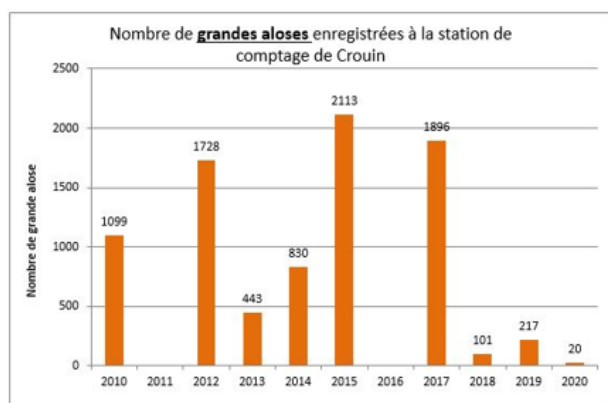


Figure 1 : Évolution interannuelle de l'estimation du nombre d'aloses feintes et de grandes aloses comptabilisées à la STACOMI de Crouin ; Source : CMCS, 2020.

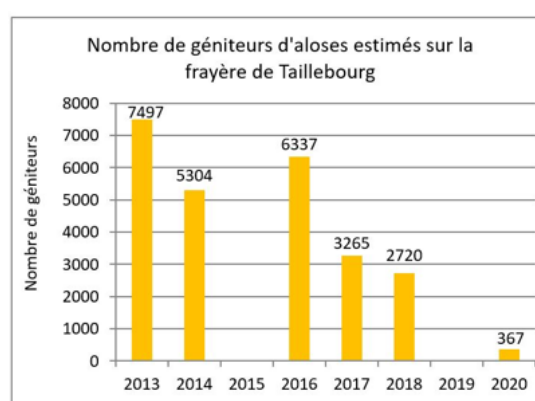
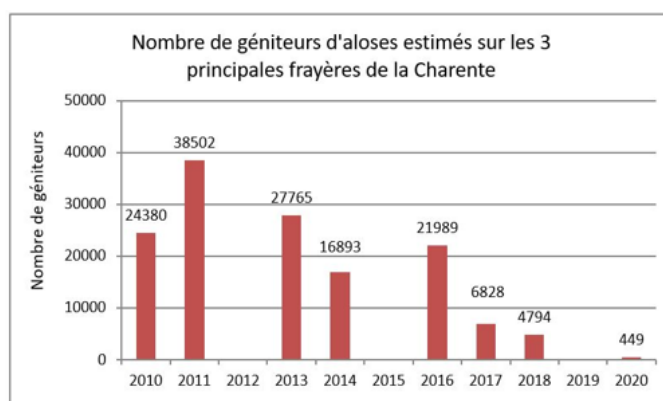


Figure 2 : Nombre de géniteurs d'aloses estimés sur les 3 principales frayères de la Charente
Source : CMCS, 2020.

Les objectifs du présent stage consistent à **assurer le suivi de la reproduction et identifier le front de colonisation des aloses pour la saison 2021**, à travers un protocole mis en place et validé depuis 2014 par la CMCS. Ce dernier se traduit habituellement par la pose d'enregistreurs numériques en routine sur les trois frayères principales que sont Taillebourg, La Baine et Crouin. Les prospections plus ponctuelles de frayères secondaires par des agents de terrain venant compléter le dispositif d'étude.

Cette année, le suivi automatique des frayères de La Baine et Crouin n'a pas été reconduit. L'estimation du nombre de géniteurs ne concerne en 2021 que la frayère de Taillebourg et constitue désormais l'indicateur de la population d'aloses feintes de la Charente. **Seule cette mission fera l'objet du présent rapport.**

Les résultats supplémentaires traitant du suivi linéaire de l'activité de reproduction sur les autres frayères, de l'identification du front de migration des aloses, et de l'estimation de la prédation par les silures pourront être consultables dans le rapport des actions 2021 de la CMCS.

1. MATERIEL ET METHODE

1.1. Site d'étude

1.1.1. Généralités sur le bassin Charente

Le bassin de la Charente (*Figure 3*) est localisé entre la Loire au nord et la Gironde au sud. Sa superficie de 10 549 km² en fait le plus petit bassin versant d'Adour-Garonne (CMCS, 2018). Situé en région Nouvelle Aquitaine, il s'étend principalement sur quatre départements (la Charente, la Charente-Maritime, la Dordogne, et les Deux-Sèvres) et sur une portion de la Vienne et la Haute-Vienne. Le fleuve Charente est soutenu par 22 affluents et est l'épine dorsale d'un système hydrographique comportant 6 650 km de cours d'eau. Il est caractérisé par une faible pente de l'ordre de 1 ‰ (1m pour 1 km). Il offre donc une grande diversité d'habitats, propice à la reproduction et au développement des poissons migrateurs amphihalins.

1.1.2. Frayère(s) étudiée(s)

Une quarantaine de frayères sont connues et prospectées annuellement pour les aloses sur la Charente et ses affluents (*Figure 4*). Trois frayères sont considérées comme représentantes à elles seules d'environ 50% de l'activité totale de reproduction pour les deux espèces : Taillebourg, La Baine et Crouin. Elles sont suivies de manière plus importante et font l'objet de l'estimation du nombre de géniteurs et ce depuis 2010.

1.2. Matériel biologique

1.2.1. L'alose feinte *Alosa fallax*

Les aloses feintes sont légèrement plus petites (30 à 50cm) que les grandes aloses avec un corps moins compact. D'une durée de vie de 3 à 7 ans, on trouve la présence de 4 à 8 petites taches noires en arrière de l'opercule, jusqu'à environ la moitié du corps. Le principal critère de différenciation entre les deux espèces reste le nombre de branchiospines sur le premier arc branchial (Lochet, 2006). On en compte en général un nombre inférieur à 60 pour l'alose feinte et supérieur à 90 pour la grande alose.

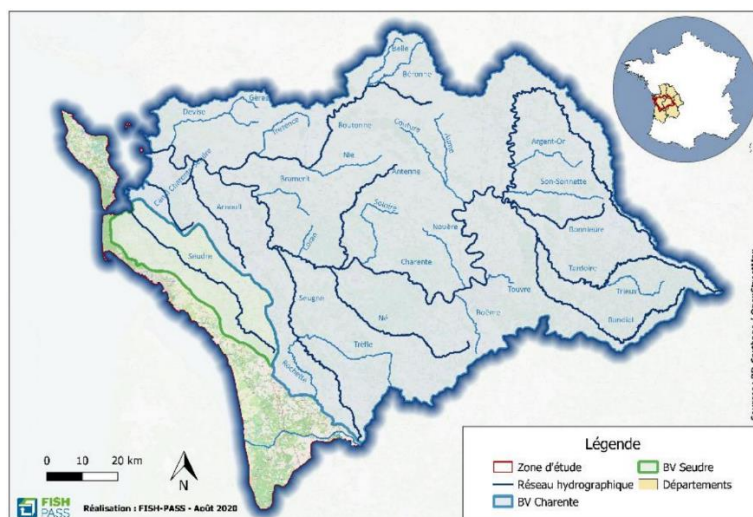


Figure 3 : Bassin versant de la Charente et bassin versant de la Seudre ; Source : FISH-PASS, Août 2020

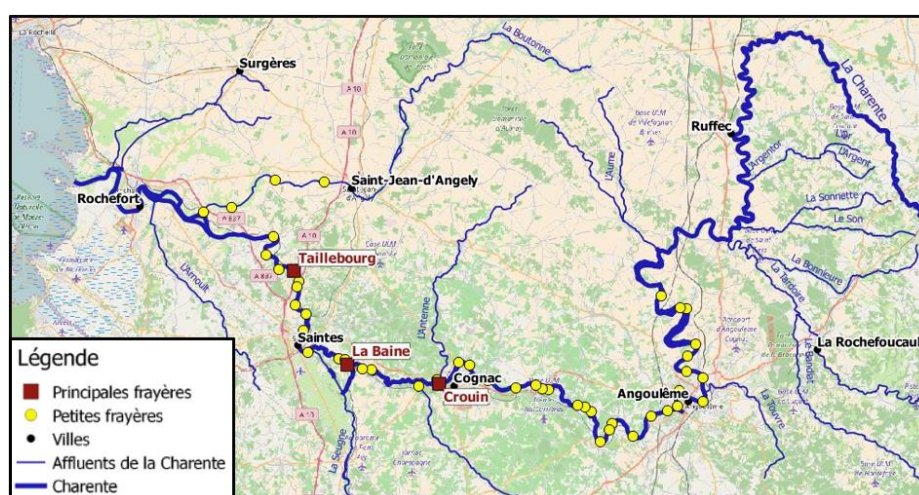


Figure 4 : Carte des frayères à aloses sur la Charente ; Source : CMCS

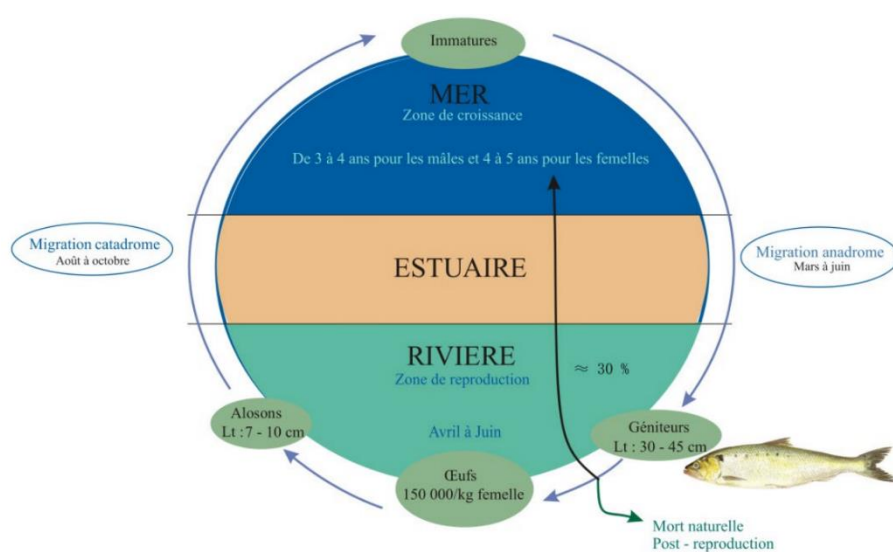


Figure 5 : Cycle biologique de l'alose feinte ; Source : MIGADO

1.2.2. Répartition géographique

L'aloise feinte possède une plasticité écologique supérieure à la grande alose. Autrefois présente de la Scandinavie jusqu'au sud du Maroc en passant par l'Islande, son aire de répartition actuelle ne s'étend plus que des îles britanniques jusqu'au nord du Maroc (Baglinière & Elie, 2000). En France, elle colonise majoritairement tous les grands bassins fluviaux français encore fréquentés par la grande alose (Loire, Système GGD, Adour) et certains fleuves de plus petite taille du littoral Manche-Atlantique.

1.2.3. Cycle biologique et reproduction

Après une croissance en mer en zone littorale et sur le plateau continental, jusqu'à l'âge de 3 à 4 ans pour les mâles et 4 à 5 ans pour les femelles (Taverny, 1991), les géniteurs d'aloses feintes remontent les fleuves depuis l'océan pour se reproduire lors de leur migration de montaison, de mars à juin (*Figure 5*).

Lors de la migration, les individus se déplacent sous forme de flux dynamique de géniteurs et ces flux sont influencés par différents facteurs. Les 2 principaux facteurs ayant un impact sur la migration de l'aloise feinte sont la température de l'eau et le débit.

La migration est fortement diminuée, voire stoppée en dessous du seuil 10-11°C (Baglinière & Elie, 2000). Le débit, quant à lui, agit plutôt comme un facteur de modulation des mouvements migratoires en interaction avec la température. Lors de fortes crues, le flux de géniteurs est stoppé ou ralenti dans sa migration (Sabatié, 1993).

La reproduction commence à partir du mois d'avril. Les frayères se trouvent au-dessus de la limite de salure des eaux dans des zones soumises à l'influence de la marée dynamique. Cette espèce se reproduit donc dans la partie basse des bassins versants, plus en aval que la grande alose (Aprahamian *et al*, 2003).

Le choix des zones de fraie est lié à des paramètres hydrauliques : débit, hauteur d'eau, type de courant et de façon indirecte, de type de substrat. La profondeur doit être inférieure à 3 m (Aprahamian, 1982). La présence d'une zone de mouille à l'amont suivie d'un haut-fond ou radier à l'aval est préférable (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981).

La reproduction dure de 1 à 2 mois entre avril et juin (Boisneau *et al*, 1990). Elle débute lorsque les géniteurs sont matures. La phase finale de la maturation serait provoquée par le regroupement des géniteurs sur les frayères et une température entre 16 et 22°C (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981). La période et la durée de l'activité de ponte dépendent fortement des conditions climatiques et hydrologiques (températures et débits). Le type de substrat ne semble pas avoir d'influence sur l'acte de reproduction en lui-même mais est essentiel au bon développement des œufs (de manière générale, les substrats colmatés induisent des mortalités dans l'incubation et la survie des larves) (Aprahamian *et al*, 2003).

Le cycle circadien a un rôle important puisque la reproduction a lieu exclusivement la nuit entre 22h et 5h, avec un pic d'activité plus marqué entre 2h et 3h. Les couples montent à la surface flanc contre flanc et, à demi-émergé, frappent violemment la surface de l'eau avec leur nageoire caudale en exécutant un déplacement circulaire. Les produits génitaux sont libérés et la fécondation a lieu dans le tourbillon provoqué.

Cette phase de 2 à 10 secondes, appelée « **bull** », est audible avec une intensité sonore pouvant atteindre 50 dB et est facilement visible sur les zones de frai (*Figure 6*). Cet acte de reproduction est caractéristique, et cela en fait élément important dans le suivi des populations d'aloses : c'est la phase du cycle biologique la plus étudiée (Baglinière, 2000).



Figure 6 : Photos de bulls d'aloses ; Source MRM



Figure 7 : Dispositif d'enregistrement posé sur le site de Taillebourg la nuit du 18 mai 2021

En fin de saison de reproduction, le phénomène d'itéroparité chez les aloses feintes étant possible, il n'est pas rare d'observer des géniteurs qui retournent à la mer dans l'attente de se reproduire une seconde ou une troisième fois (Taverny, 1991).

1.3. Estimation du nombre de géniteurs d'aloses feintes sur la frayère de Taillebourg

1.3.1. Suivi par enregistrements audio-numériques de l'activité de reproduction

Du fait du caractère sonore de la reproduction, il est possible d'identifier à l'ouïe les bulls et donc d'enregistrer l'activité sur les frayères la nuit (Baglinière & Elie, 2000).

Un dispositif d'enregistrement sonore (*Figure 7*) a été utilisé pour écouter de façon automatisée les bulls sur la frayère de Taillebourg. Il est composé d'une parabole en composite fixée sur un manche en bois, d'un microphone Olympus® placé au centre de cette parabole, d'un enregistreur Olympus® relié au micro et placé dans une boîte hermétique.

L'enregistreur a été placé deux fois par semaine au même endroit sur la frayère, du 7 avril au 7 juillet (pose en fin de soirée et relève le lendemain matin). L'effort d'échantillonnage s'élève à 25 nuits en 2021.

1.3.2. Suivi terrain nocturne

Afin de quantifier le pourcentage de bulls réellement entendus par l'oreille humaine par rapport au nombre de bulls enregistrés via l'appareil, des heures d'écoute manuelle à proximité immédiate de l'enregistreur ont été réalisées sur la frayère par des agents de la CMCS et de la FDPPMA 17. Selon le protocole appliqué les années passées, l'idéal est d'écouter au minimum une heure en continu au moment du pic de reproduction, entre 1h et 2h du matin.

Cette saison, 38 quarts d'heure de calibration ont été effectués sur 7 nuits de suivi.

1.3.3. Dépouillement des enregistrements

Chaque enregistrement a été écouté grâce au logiciel Audacity, de 23h à 5h45 à raison d'un quart d'heure sur deux (14 quarts d'heure dépouillés par nuit au total). Cette méthode permet d'obtenir une estimation correcte du nombre total de bulls dans une nuit en limitant le temps d'écoute.

L'écoute en continu des quarts d'heure et le repérage des spectres caractéristiques des bulls (*Figure 8*) sur les bandes permettent de détecter les actes de reproduction. Seuls les bulls d'une durée supérieure à deux secondes sont comptabilisés.

1.3.4. Acquisition des variables environnementales sur la période de suivi

La frayère n'étant pas suivie de manière exhaustive, une extrapolation du nombre de bulls lors des nuits manquantes a été réalisée en ajustant un modèle de régression PLS du nombre de bulls observés en fonction des variables environnementales.

Les variables qui suivent ont toutes été sélectionnées selon leur pertinence (d'après la littérature et les observations passées de la CMCS concernant leurs influences théoriques sur l'activité de reproduction), afin d'être testée dans le modèle.

La température de l'eau est mesurée toutes les heures par une sonde thermique placée dans la passe à poissons de Saint-Savinien. Une moyenne journalière a été calculée.

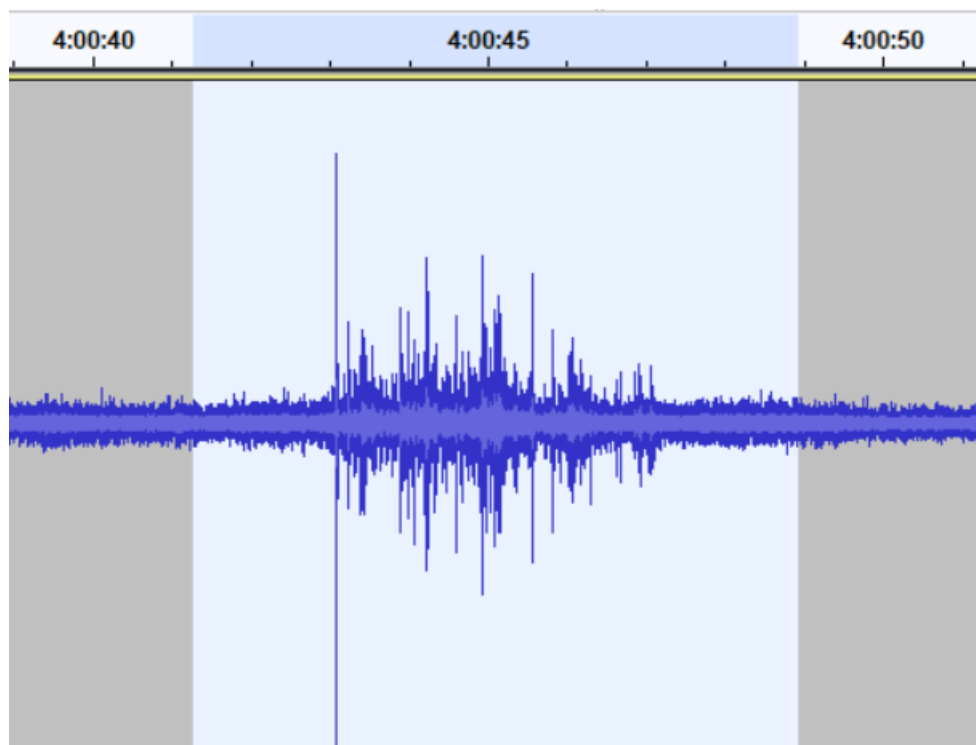


Figure 8 : Spectre caractéristique d'un bull sur le logiciel Audacity

Le débit journalier de la Charente à Saint-Savinien est obtenu en sommant les valeurs mesurées à la station de Beillant sur la Charente et de la Lijardière sur la Seugne. Les mesures ont été récupérées via la Banque Hydro du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire.

Les différences de température et de débit en 24h sont calculées pour chaque jour.

En ce qui concerne la marée, les hauteurs d'eau mesurées par le Marégraphe de Rochefort ont été obtenues pour chaque nuit sur le site data.shom.fr. Une moyenne de la hauteur d'eau à Rochefort entre 00h et 02h a été calculée, ainsi que la variation de hauteur d'eau entre 00h et 02h.

Les données météorologiques de pluviométrie journalière, de nébulosité totale, de pression atmosphérique, et de variation de pression atmosphérique en 24h sont issues des données d'observations des messages internationaux d'observation en surface (SYNOP) circulant sur le système mondial de télécommunication (SMT) de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), et proviennent de la station de Chassiron (située à 60km de Taillebourg). La nébulosité et la pression atmosphérique moyenne entre 00h et 06h ont été calculées pour chaque nuit.

Le pourcentage de luminosité de la lune est obtenu via le calendrier lunaire de 2021.

1.3.5. Analyses statistiques et reconstitution des données manquantes

Le traitement des données a été réalisé avec le logiciel Rstudio Version 1.4.1106 (R Core Team, 2019), et l'utilitaire d'analyse d'Excel.

Analyse descriptive de la corrélation des variables avec le nombre de bulls

Une ACP et une matrice de corrélation de Spearman ont permis de visualiser le jeu de données et les éventuelles corrélations significatives entre les variables environnementales elles-mêmes et le nombre de bulls par nuit.

Extrapolation du nombre de bulls des nuits manquantes par régression PLS

En plus des variables environnementales précédemment citées, un indice temporel a aussi été ajouté aux données. Le jour 1 correspond au premier jour du suivi soit le 7 avril et le jour 92, au dernier jour de suivi, le 7 juillet.

La première étape consistait à transformer les variables explicatives dépendantes de manière non linéaire à l'activité de reproduction : l'indice temporel et la température de l'eau. En effet, la température peut avoir un effet activateur ou inhibiteur si elle devient trop forte. De même, l'activité est théoriquement plus importante en mai et juin qu'en avril ou juillet (Boisneau *et al*, 1990).

Il fallait donc ajuster une courbe de Gauss aux valeurs pour ces deux variables. Pour se faire, le nombre de bulls bruts par nuit a été transformé en logarithme naturel puis une parabole a été ajustée au nuage de points de $\ln(\text{nombre de bulls})$ en fonction de l'indice temporel ou de la température (Borcard, 2000). Les coefficients de l'équation polynomiale ajustée servent ensuite à construire la courbe de Gauss (*Annexe 1*).

Un modèle prédictif basé sur une régression PLS avec validation croisée 'leave-one-out' du nombre de bulls observés en fonction des variables environnementales, permet de modéliser un nombre de bulls théorique en fonction de l'ensemble des variables, pour chacune des 92 nuits de la période de suivi.

L'intervalle de confiance à 95% est obtenu suite à la régression linéaire entre les valeurs observées et celles prédites par le modèle. La marge d'erreur relative est ensuite calculée afin d'estimer la précision des prédictions.

Calibration des enregistreurs

Les coefficients de la régression linéaire simple et de son intervalle de confiance, obtenue entre le nombre de bulls enregistrés et le nombre de bulls entendus par les agents de terrain, sont appliqués aux résultats de l'extrapolation. La marge d'erreur relative est estimée.

Extrapolation du nombre de bulls sur les quarts d'heure non dépouillés

Cette étape a été réalisée par ajustement d'une courbe de régression polynomiale avec ses intervalles de confiance sur le nombre de bulls totaux cumulés par quart d'heure de toute la saison. La comparaison des Critères d'Informations d'Akaike corrigés (AICc) a permis de choisir le meilleur modèle.

Calcul du nombre de géniteurs

Ce dernier est basé sur nombre de bulls estimé sur toute la saison en utilisant plusieurs hypothèses basées sur le fractionnement de la ponte des aloses en relation avec la maturation progressive des ovocytes dans le temps (Chanseau *et al*, 2006).

Les hypothèses de calcul utilisées sont :

- Les géniteurs ne se reproduisent que sur une seule frayère,
- Un bull donne lieu à une ponte
- Un bull correspond une seule femelle et un mâle,
- Une femelle pond en moyenne 10 fois au cours d'une saison de reproduction (Chanseau, 2006).

L'estimation du nombre de géniteurs venus se reproduire sur la frayère de Taillebourg en 2021 est finalement calculé d'après la formule :

$$\frac{\text{Nombre de bulls total estimé en 2021}}{\text{Nombre de pontes (=10)}} \times 2$$

2. RESULTATS

2.1. Nombre de bulls en 2021 et effort d'échantillonnage

Pour la saison 2021, le dépouillement des 25 enregistrements correspondant à chaque nuit échantillonnée entre le 7 avril et le 7 juillet, a permis de décompter un total de **1 851** bulls sur la frayère de Taillebourg. Les premiers actes de reproduction ont été observés dans la nuit du 15 avril. Le nombre de nuits de suivi sur cette frayère est constant depuis 2016 avec une stabilisation à une quinzaine de nuits par saison depuis 2018. De 2020 à 2021, ce chiffre a progressivement été augmenté de 20 à 25 nuits, en partie pour réduire un maximum la marge d'erreur et améliorer la précision des estimations de géniteurs d'aloses feintes.

2.2. Rythme de reproduction et variables environnementales

2.2.1. Analyses descriptives au regard de la température de l'eau, du débit, de la pluviométrie, de la marée, de la pression atmosphérique, de la lune et de la nébulosité

Cette année, le début de la reproduction sur la Charente à Taillebourg a été constatée pour une température de l'eau de 13°C, et les dernières observations de bulls ont été faites avec une température de 20°C. Il est à noter qu'en 2021, les températures sont globalement plus fraîches que les autres années (*Annexe 2*). La température maximale relevée lors de l'activité de reproduction s'élève à 24°C. Le nombre de bulls entendus en 2021 est inférieur avec des températures basses et hautes. Les nombres maximums de bulls par nuit ont été observés pour des températures de 15 à 18°C (*Figure 9a*).

La saison de reproduction des aloses feintes en 2021 est caractérisée par des débits moyens d'avril et début mai légèrement inférieurs à ceux observés habituellement (*Annexe 3*). Pendant la majeure partie de l'activité de reproduction, constatée entre le 3 mai et le 14 juin, le débit a fluctué entre 40 et 70 m³/s. On peut observer une augmentation progressive de 30 m³/s au cours du mois de mai, entraînée par une pluviométrie constante de 2 à 12 mm par jour. De fortes précipitations à partir du 18 juin, entraînant une hausse du débit jusqu'à 100 m³/s, viennent marquer la fin de l'activité de reproduction (*Figures 9b et 9c*).

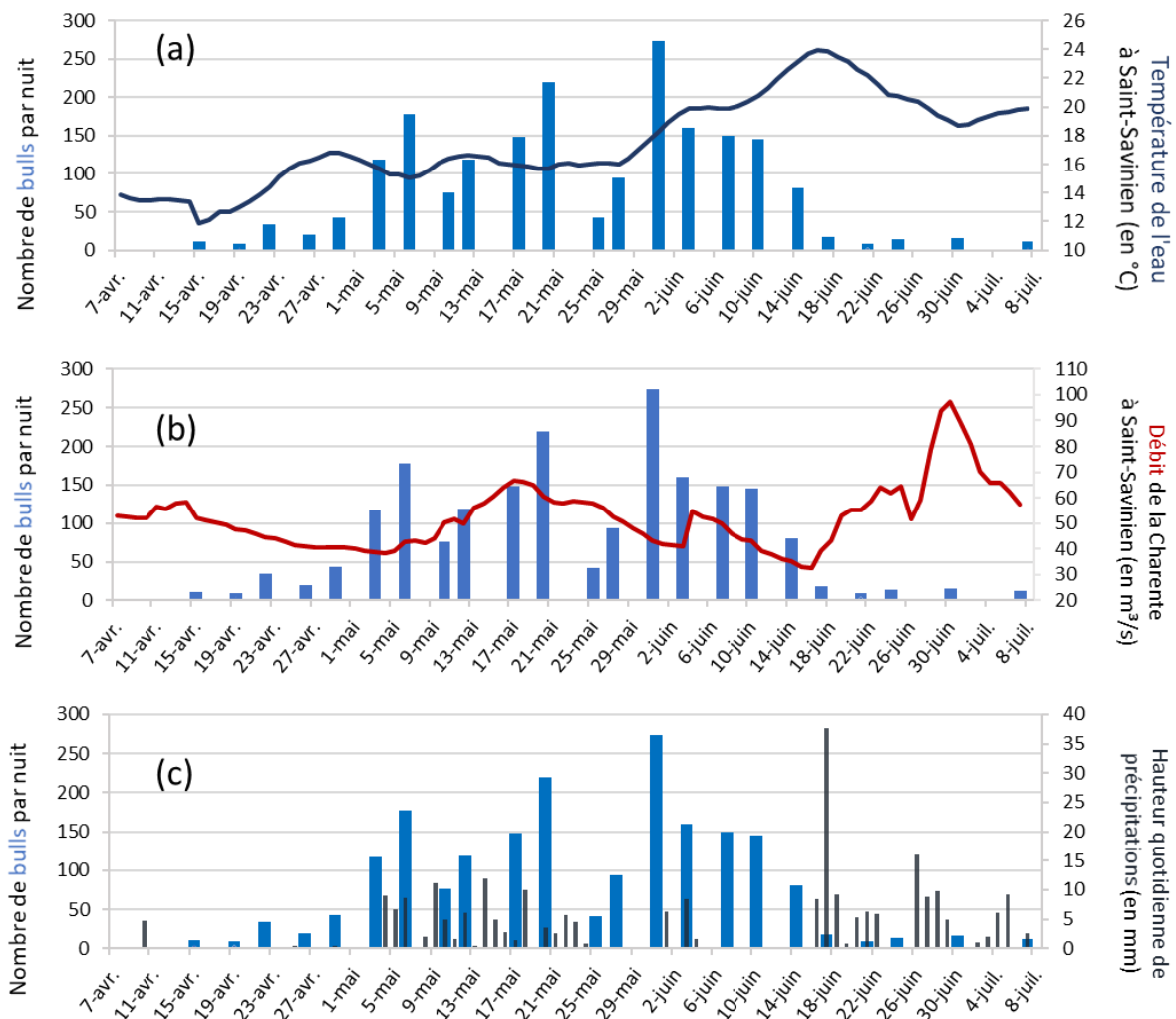


Figure 9 : Nombre de bulls par nuit, évolution de la température de l'eau (a) et du débit (b) de la Charente, et cumul des précipitations journalières sur Saintes (c) en 2021

Des relevés importants de hauteurs d'eau à Rochefort durant la nuit (supérieurs à 5 m) semblent coïncider avec certains pics d'activité observés durant la saison, les 6 et 20 mai (172 et **213** bulls respectivement), et les 3, 7 et 10 juin (autour de **150** bulls) (*Figure 10a*). Les légères baisses du nombre de bulls par nuit dans la saison sont constatées conjointement à des variations positives importantes de la hauteur d'eau à Rochefort entre 00h et 02h (supérieure à 3 m) (*Figure 10b*).

En ce qui concerne la variation de la pression atmosphérique (très liée à la pluviométrie et la présence de nuages), les diminutions du nombre de bulls de début et fin mai semblent se produire simultanément à des périodes de pluies et de dépressions notables (*Figure 11a*). Les périodes de pleine et nouvelle lune sont difficilement comparables à l'activité de reproduction, et aucune tendance nette ne se dégage (*Figure 11b*).

2.2.2. Représentation sous Analyse en Composantes Principales et matrice de corrélations des variables environnementales et du nombre de bulls en 2021

L'ACP et la matrice de corrélation de Spearman réalisés sur le nombre de bulls par nuit et les 13 variables environnementales permettent de visualiser de façon exploratoire les possibles corrélations et influences entre les données. Les dimensions retenues (ncp = 5) capturent 70% de l'inertie totale contenue dans les données (*Figure 12a*).

Premièrement, le nombre de bulls paraît corrélé positivement et significativement à la transformation gaussienne de l'indice temporel ($p\text{-value} < 0,001$) et dans de moindres mesures à celle de la température de l'eau ($p\text{-value} < 0,05$) (*Figure 13*).

On peut constater également, avec des qualités de représentation moins importantes, que la variation de pression en 24h serait corrélée négativement mais de manière non significative au nombre de bulls. Le débit, la luminosité de lune, les données de marée, et la température de l'air n'expliquent qu'une partie très faible du jeu de données et ne semblent pas vraiment corrélés avec le nombre de bulls (*Figure 12b*).

La différence de débit en 24h, la pluviométrie journalière, la nébulosité et la pression atmosphérique sont, comme on pouvait le supposer, significativement corrélées.

2.3. Extrapolation des données manquantes et calibration de l'enregistreur

2.3.1. Extrapolation du nombre de bulls des nuits manquantes

Le modèle prédictif réalisé à partir de la régression PLS entre le nombre de bulls et les variables environnementales se base sur la première composante, qui présente la plus faible valeur de RMSEP et un R^2 plus élevé (*Figure 14*). Le calcul de l'indice VIP (Variance Importance in the Prédiction) de chaque variable montre que c'est la transformation gaussienne de l'indice temporel qui possède un poids majeur dans le modèle de régression ($VIP > 1$). Aussi, le signe des différents coefficients de régression du modèle pour chaque variable correspond à ceux observés dans la précédente analyse des corrélations (*Tableau II*).

La Figure 15 permet de donner un aperçu des prédictions du modèle avec leurs intervalles de confiance à 95%. Sur toute la saison de reproduction 2021, le nombre total de bulls ainsi estimé sur la frayère de Taillebourg avec l'extrapolation des nuits non échantillonnées s'élève à **6 657**. La borne inférieure de l'intervalle de confiance à 95% de cette estimation est de **4 351** bulls et la borne supérieure de **9 006** bulls. La marge d'erreur relative autour de ce nombre théorique est donc de 35%.

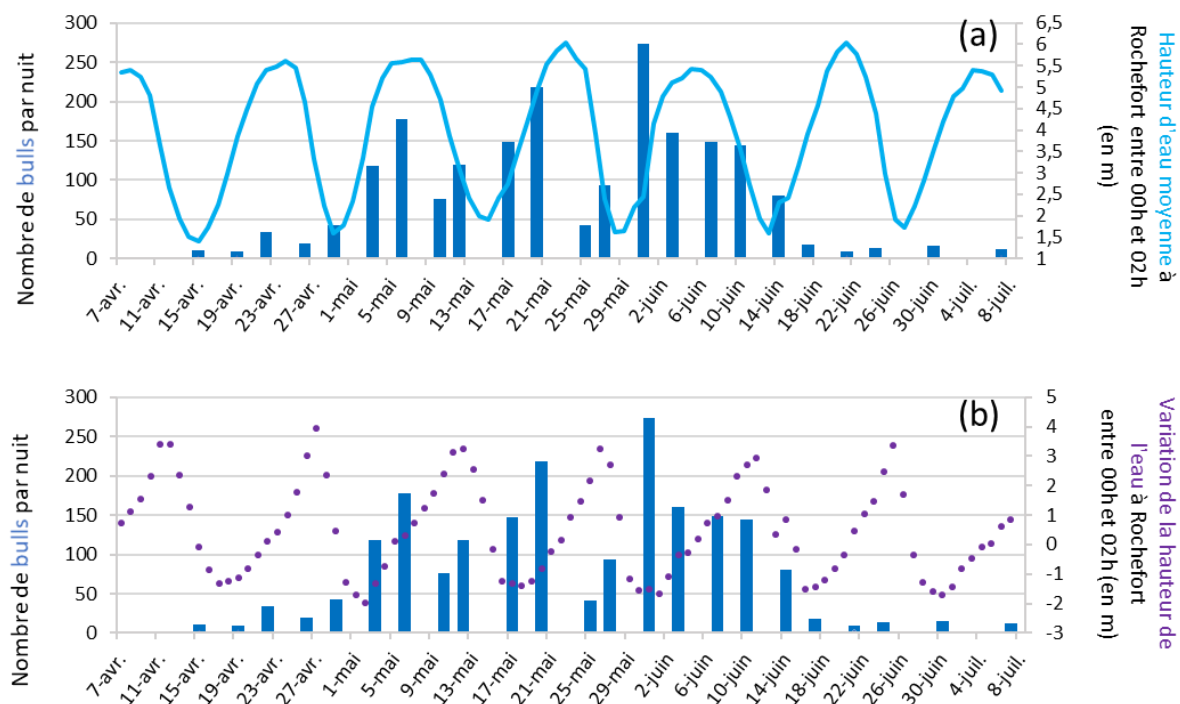


Figure 10 : Nombre de bulls par nuit, hauteur d'eau moyenne (a) et variation brute de la hauteur d'eau (b) à Rochefort entre 00h et 02h en 2021

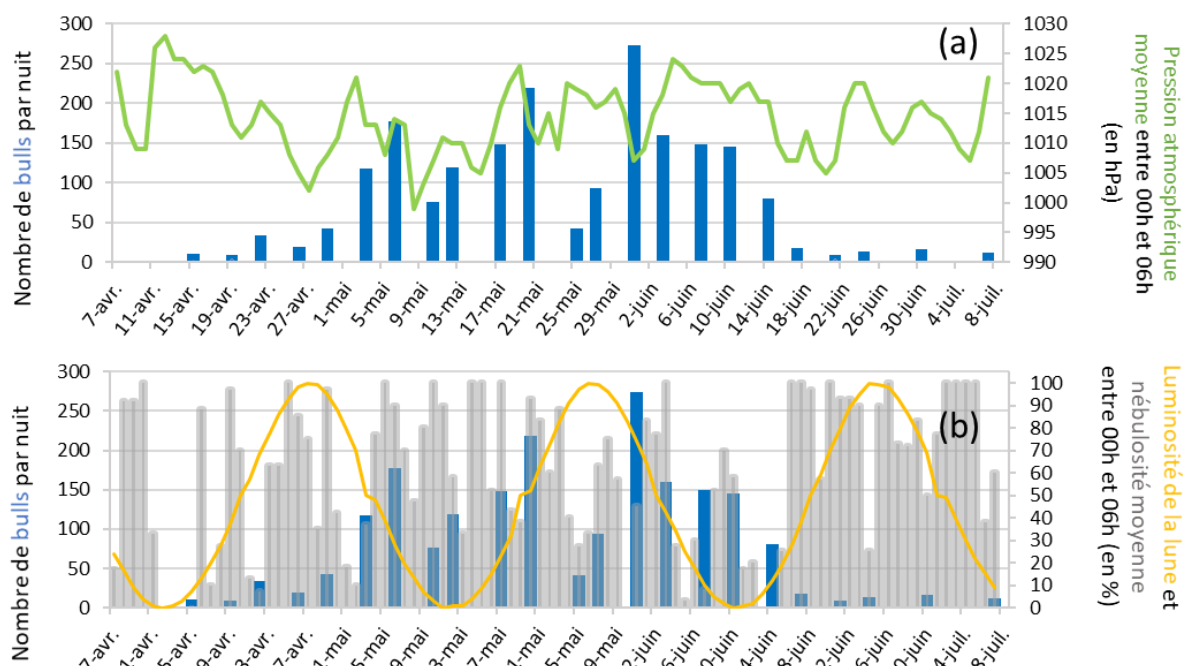


Figure 11 : Nombre de bulls par nuit, évolution de la pression atmosphérique (a), de la nébulosité totale moyenne entre 00h et 6h à Chassiron et de la luminosité de la lune (b)

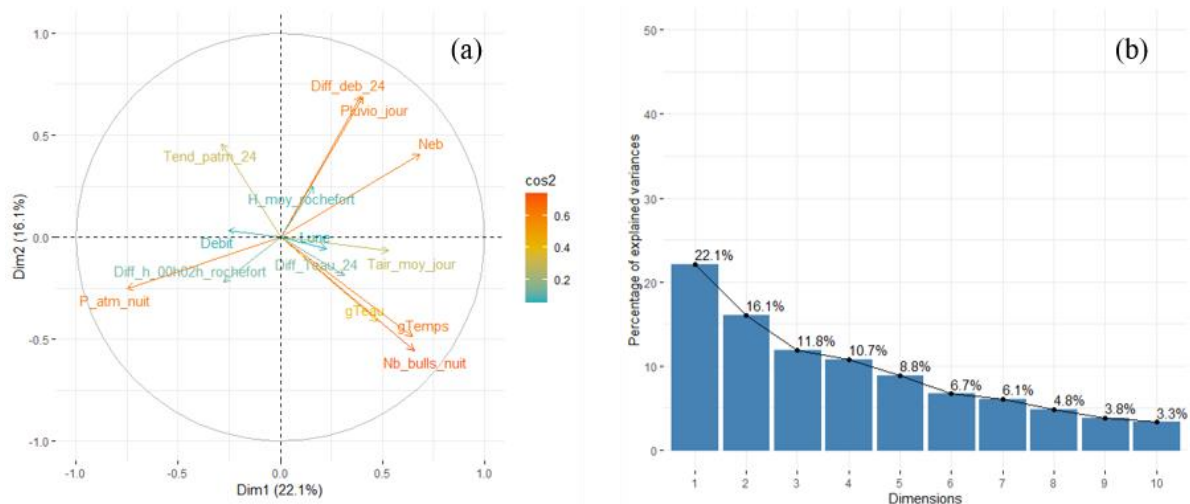


Figure 12 : Résultats de l'ACP réalisée sur le nombre de bulls et les variables environnementales ; graphique de corrélation des variables avec un gradient de couleur selon leur contribution à la définition des dimensions (a), pourcentages de variances expliquées

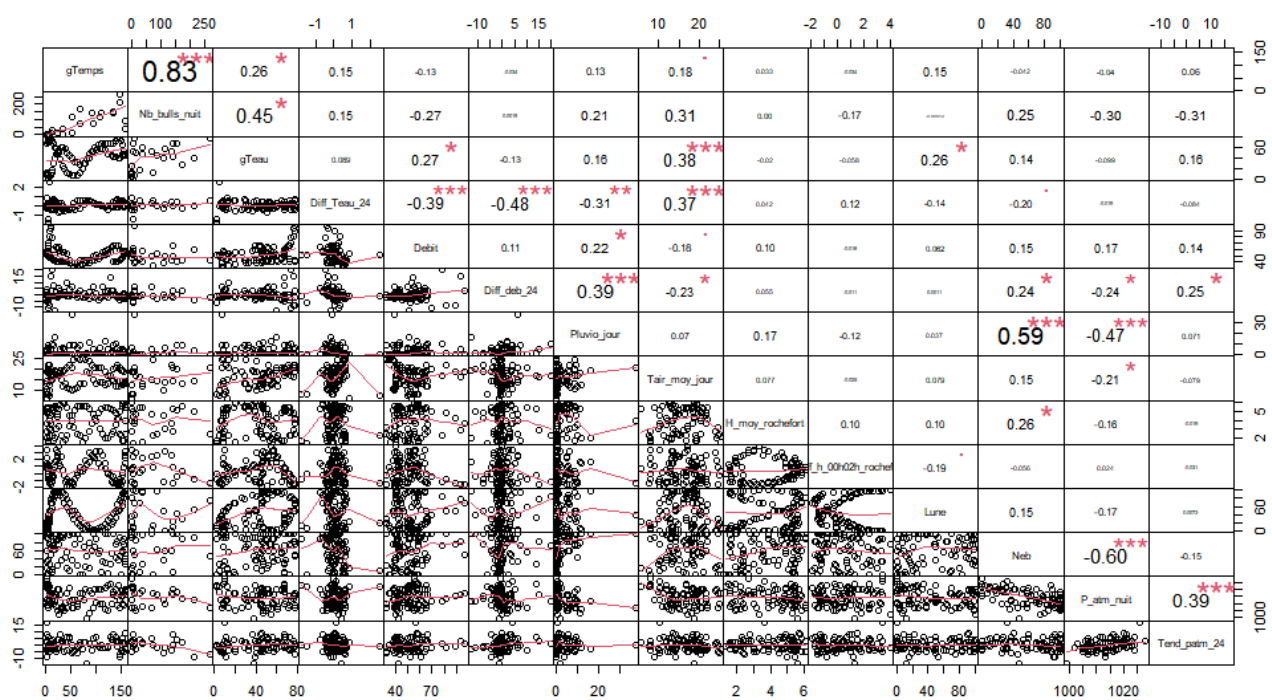


Figure 13 : Matrice de corrélations avec nuages de points entre les variables environnementales et le nombre de bulls à Taillebourg en 2021 ;

gTemps et gTeau sont les transformations gaussiennes de l'indice temporel et de la température de l'eau, Diff_Teau_24 et Diff_deb_24 sont la différence en 24h de la température de l'eau et du débit de la Charente, Tair_moy_jour est la température moyenne journalière, H_moy_rochefort est la hauteur d'eau moyenne à Rochefort entre 00h et 02h, Diff_h_00h02h_rochefort est la différence de hauteur d'eau à Rochefort entre 00h et 02h, Neb est la nébulosité totale moyenne entre 00h et 06h, P_atm_nuit et Tend_patm_24 sont la pression atmosphérique moyenne entre 00h et 06h et la différence de la pression atmosphérique en 24h ;

Test de Spearman, Significativité : p-value < 0,05 = *, < 0,01 = **, < 0,001 = ***

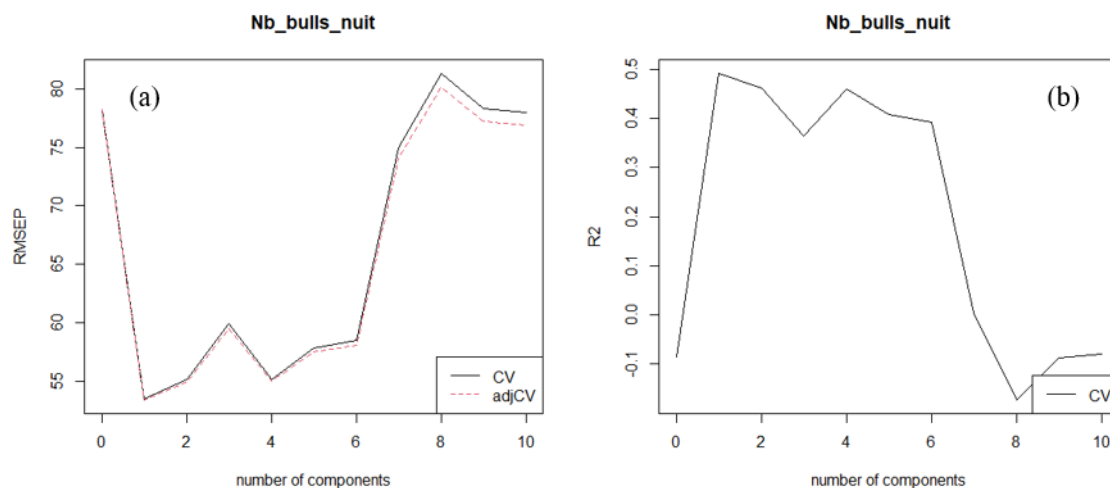


Figure 14 : Racine Carrée de l'Erreur Quadratique (RMSEP) (a) et R2 (b) en fonction du nombre de composantes de la régression PLS du nombre de bulls et des variables environnementales

Tableau II : Valeurs de l'indice VIP (Variable Importance in the Prediction) et coefficients de régression pour chaque variable selon le modèle de régression PLS du nombre de bulls à Taillebourg en 2021

	gTemps	gTeau	Diff_Teau_24	Debit	Diff_deb_24	Pluvio_jour	Tair_moy_jour	H_moy_rochefort	Diff_h_00h02h_rochefort	Lune	Neb	P_atm_nuit	Tend_patm_24
VIP	3,437	0,797	0,008	0,209	0,014	0,029	0,098	0,003	0,031	0,324	0,598	0,103	0,149
Coefficient de regression	0,989	0,229	0,002	-0,060	-0,004	-0,008	0,028	-0,001	-0,009	-0,093	0,172	-0,030	-0,043

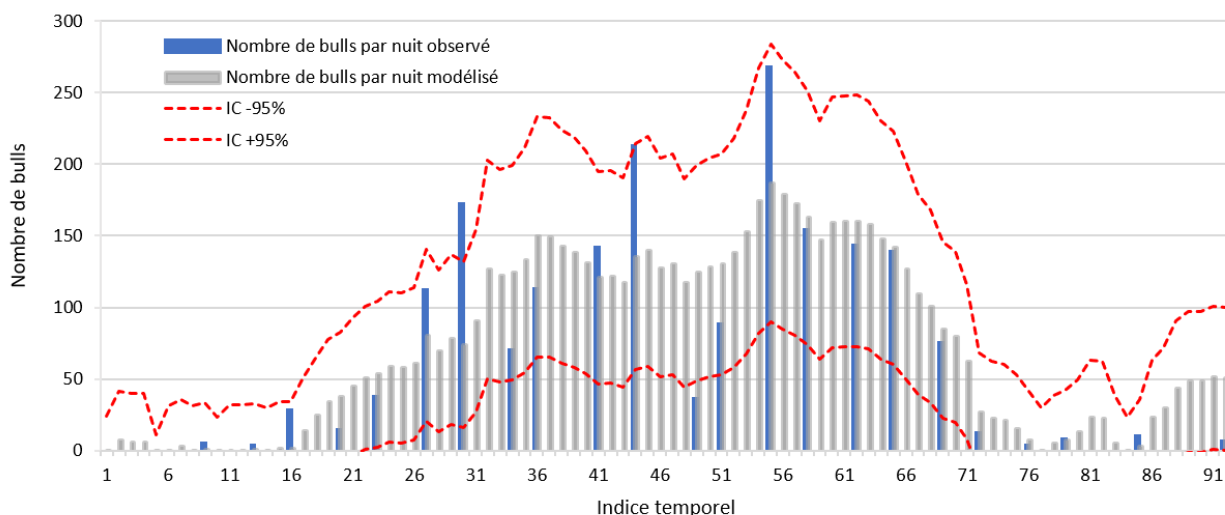


Figure 15 : Nombre de bulls observés et théoriques calculés à partir du modèle de régression PLS en fonction des variables gTemps, gTeau, Diff_Teau_24, Debit, Diff_deb_24, Pluvio_jour, Tair_moy_jour, H_moy_rochefort, Diff_h_00h02h_rochefort, Lune, Neb, P_atm_nuit et Tend_patm_24 ; avec bornes inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance à 95%

2.3.2. Calibration de l'enregistreur

Sur les 38 quarts d'heure de calibration réalisés sur le terrain par les agents de la CMCS et de la FDPPMA 17, un total de **953** bulls a été comptabilisé. Le nombre de bulls relatifs perçus par l'enregistreur après dépouillement s'élève à **537** soit un pourcentage de recouvrement de **56,3%** (*Tableau III*). La droite de régression ajustée au nombre de bulls perçus sur le terrain en fonction du nombre de bulls dépouillés avec l'enregistreur donne un coefficient de détermination correct de 0,87 (*Figure 16*).

En ajoutant le total des bulls non perçus par l'enregistreur estimé grâce à cette régression linéaire, on obtient une estimation de **10 247** bulls sur toute la saison 2021 à Taillebourg. Les bornes de confiance sont **5 823** au minimum et **15 668** au maximum, ce qui représente une marge d'erreur relative de 53%.

2.3.3. Extrapolation du nombre de bulls sur les quarts d'heure non dépouillés

Au cours de la nuit, l'activité de reproduction suit une courbe en cloche qui présente un pic entre 01h et 02h sur Taillebourg en 2021. L'ajustement d'un modèle de régression polynomiale sur le nombre total de bulls en fonction de chaque quart d'heure permet de choisir une équation de degré 3, qui présente l'AICc le plus faible (*Tableau IV*). Cette dernière permet d'estimer le nombre de bulls correspondant aux quarts d'heure non suivis avec un intervalle de confiance à 95% (*Figure 17*).

Le rapport de la somme des bulls observés et des bulls théoriques estimés pour les quarts d'heure manquants, sur le total de bulls observés, permet de calculer des coefficients multiplicateurs. Ces derniers, appliqués aux valeurs précédemment obtenues, nous donne une approximation finale du nombre de bulls total sur la saison de reproduction 2021 à Taillebourg : entre **9 600** et **32 713** bulls pour les bornes inférieure et supérieure. La valeur théorique est de **20 177** bulls, avec une marge d'erreur relative finale de 62%.

Tableau III : Résultats de la calibration entre le total de bulls capturé par l'enregistreur et les agents sur le terrain, par régression linéaire simple

Bulls enregistreurs	Bulls terrain	% de bulls perçus	Nombre de 1/4 d'heures	R ²	Equations de régression linéaire
537	953	56,3%	38	0,87	$\text{Bulls terrain} = 3,853 + 1,539 * \text{Bulls enregistreur}$ $\text{Bulls terrain} = 0,560 + 1,338 * \text{Bulls enregistreur} \text{ (IC -95\%)}$ $\text{Bulls terrain} = 7,145 + 1,739 * \text{Bulls enregistreur} \text{ (IC +95\%)}$

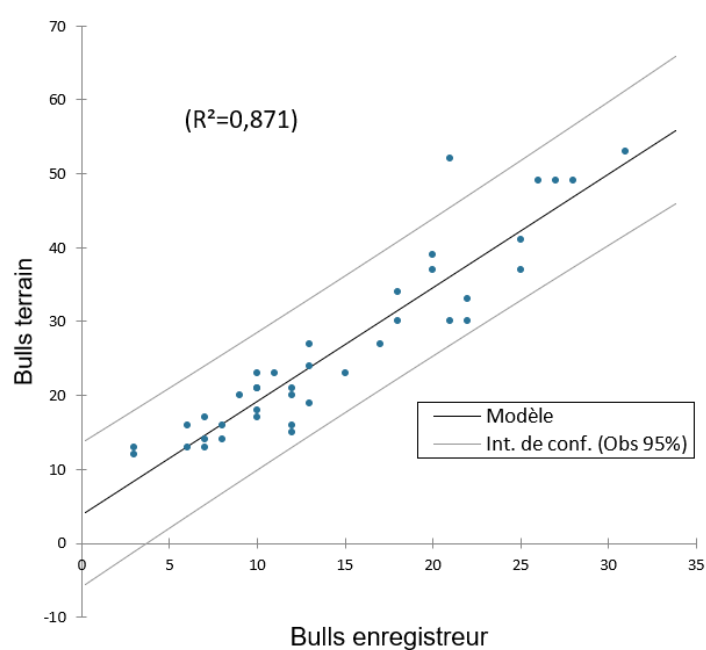


Figure 16 : Régression linéaire entre le nombre de bulls perçus sur le terrain et le nombre de bulls dépouillés avec l'enregistreur

Tableau IV : AICc des équations de régressions polynomiales testées pour l'estimation du nombre de bulls sur les ¼ d'heure manquants

Degré	Equation de regression	R ²	AIC	AICc
2	$-0,733x^2+16,428x+95,420$	0,767	116,841	120,841
3	$0,065x^3-3,641x^2+51,416x+6,817$	0,935	99,717	105,717
4	$0,001x^4+0,012x^3-2,624x^2+44,561x+17,517$	0,936	101,335	111,335
5	$-0,0004x^5+0,033x^4-0,847x^3+7,150x^2+1,415x+64,766$	0,956	97,754	113,754

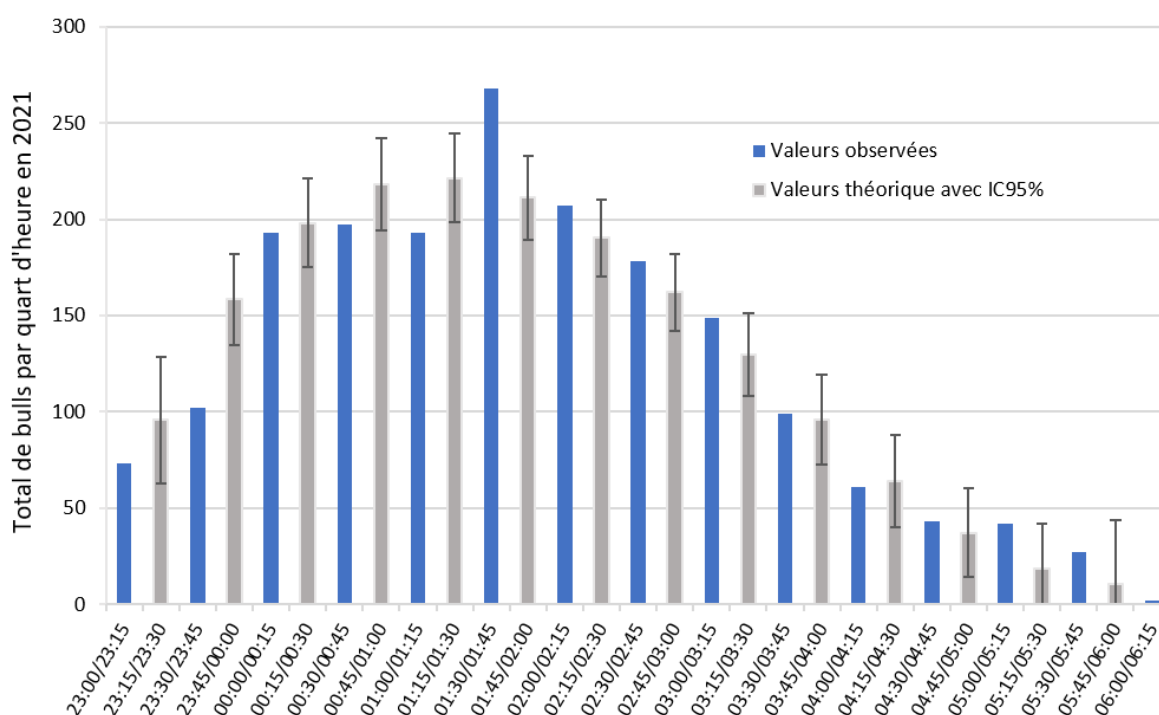


Figure 17 : Nombre total de bulls observés par quart d'heure et prédiction du nombre de bulls pour les ¼ d'heure manquants avec intervalle de confiance à 95% selon l'ajustement d'une courbe polynomiale de degré 3

2.4. Calcul du nombre de géniteurs, nombre de bulls maximal par nuit et comparaisons interannuelles

Après les étapes d'extrapolation du nombre de bulls des nuits manquantes, de calibration de l'enregistreur et d'extrapolation du nombre de bulls pour les quarts d'heure manquants, le calcul du nombre de géniteurs d'aloses feintes est réalisé à partir du nombre total de bulls estimé (20 177) en utilisant la méthode de MIGADO (10 pontes par femelle).

Avec 4 035 reproducteurs estimés sur la frayère de Taillebourg cette année (20 177/10*2), une remontée des effectifs semble être constatée. Il s'agit de la première évaluation à la hausse du nombre de géniteurs d'aloses feintes venus se reproduire à Taillebourg, depuis le déclin observé depuis 2017 (*Figure 18*).

De plus, le nombre maximal de bulls par nuit obtenu à Taillebourg en 2021 vient conforter ces observations vu qu'il constitue le deuxième plus élevé depuis 2016 (*Figure 19*).

La marge d'erreur relative autour de l'estimation du nombre de géniteurs d'aloses sur Taillebourg (62% avec intervalle de confiance entre 1 921 et 6 543 individus) demeure toujours haute mais néanmoins une des plus faibles obtenues depuis 2014.

3. DISCUSSION

3.1. Comptage des bulls à Taillebourg : un indicateur annuel de l'effectif de géniteurs d'aloses feintes sur la Charente

Le protocole d'estimation du nombre de géniteurs d'aloses est reproductible et validé par les structures de la CMCS chaque année sur le territoire. Malgré sa marge d'erreur, il s'agit d'un indicateur en routine estimé de manière similaire d'année en année depuis 2014. La méthode de calcul du nombre de géniteurs est très popularisée depuis de nombreuses années au sein des structures de gestion des POMI. Comme mentionné en introduction, le prochain programme d'actions 2021-2025 de la CMCS considère l'estimation du nombre de géniteurs sur la frayère de Taillebourg comme principal indicateur de la population d'aloses feintes de la Charente.

Les résultats obtenus en 2021 représentent la première évaluation à la hausse du nombre de géniteurs d'aloses feintes venus se reproduire à Taillebourg, depuis 2017. On observe un retour légèrement en dessous du niveau de 2014 avec environ 4 000 géniteurs estimés.

Avec un nombre maximum de 250 bulls dépouillés par nuit en 2021 pour 25 nuits d'échantillonnage, cette saison présente également la deuxième valeur la plus élevée depuis 2016 (383 bulls au maximum sur 10 nuits de suivi, contre 167 bulls au maximum pour 22 nuits en 2014).

En ce qui concerne l'alose feinte, cet indice quantitatif est complété chaque année par d'autres suivis en aval de Crouin, dont le suivi linéaire des frayères secondaires, et depuis 2021, le suivi du piège de la nouvelle passe multi-spécifique de Saint-Savinien.

Les indices de terrain récoltés cette année sont cohérents avec l'évolution positive du nombre de reproducteurs d'aloses feintes constatée sur Taillebourg. En effet, toutes les frayères secondaires d'aloses feintes en aval de Crouin sur l'axe Charente ont été actives, avec 17 sites contre 13 sites seulement en 2020. Ces résultats seront détaillés et pourront être retrouvés dans le prochain rapport d'actions 2021 de la CMCS. Les informations récoltées par la FDPPMA de Charente-Maritime font également échos d'une année très satisfaisante, concernant le nombre de prises d'aloses feintes par les pêcheurs de loisir en comparaison avec ces 3 dernières années.

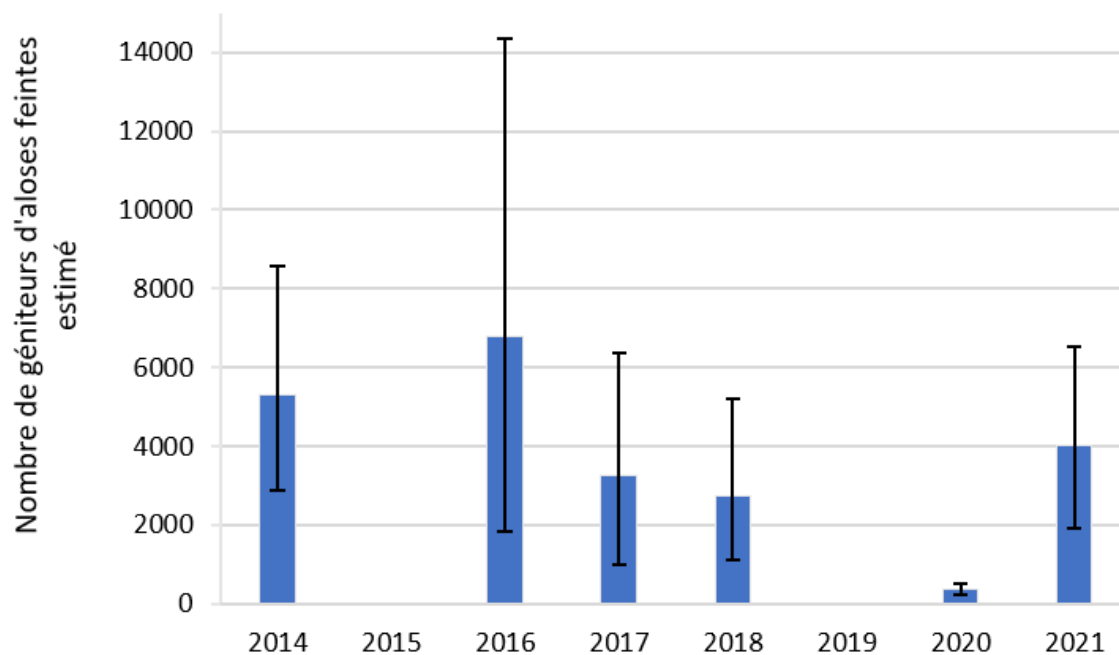


Figure 18 : Nombre de géniteurs d'aloses feintes estimé annuellement sur la frayère de Taillebourg sur la Charente

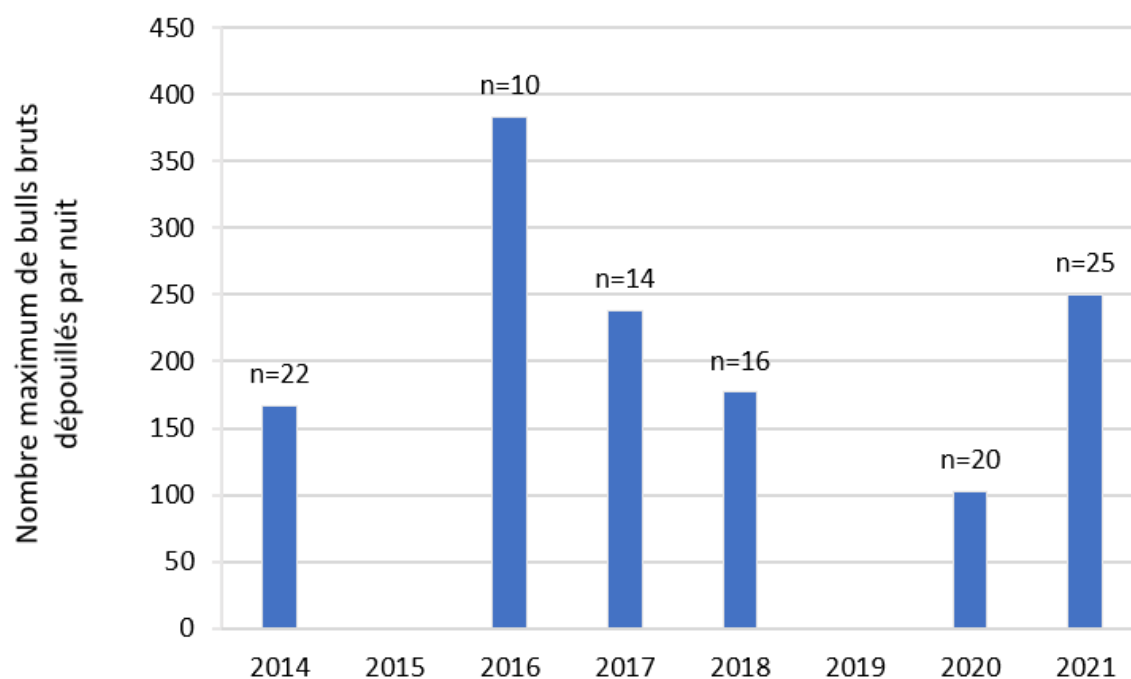


Figure 19 : Nombre maximal de bulls par nuit observé annuellement sur la frayère de Taillebourg grâce aux enregistrements acoustiques ; avec n = nombre de nuits échantillonnées dans la saison

En comparaison avec les bassins voisins, le constat 2021 sur la Charente semble rejoindre celui déjà observé sur la Garonne et la Dordogne en 2020 pour l'aloise feinte. L'association MIGADO avait mis en évidence une année record en matière d'activité de reproduction via les indices d'abondances calculés (Bouyssonie & Filloux, 2021), alors que la Charente connaissait la saison la plus médiocre au regard du nombre de géniteurs estimé. Avec une décroissance régulière de l'activité de reproduction entre 2007 et 2014 puis des valeurs à la hausse depuis 2015, la population d'aloses feintes semble être assez fluctuante sur le système GGD.

3.2. Limites des calculs

Les résultats et analyses précédemment présentés sont à considérer avec précaution. En effet, la robustesse de l'indicateur « effectif de géniteurs d'aloses feintes » est très liée à l'effort de suivi et sous influence sensible d'un effet observateur à ne pas négliger.

L'activité de reproduction pour les aloses feinte n'est pas homogène sur la période de suivi, et s'étale de début avril à début juillet, avec un maximum observé aux alentours de fin mai/début juin. Pendant ce pic, il a été remarqué que le nombre d'actes de reproduction peut varier d'un jour à l'autre, de façon intrinsèque au rythme des variables environnementales (CMCS, 2020). Le rythme d'échantillonnage doit donc être un maximum régulièrement espacé (de type systématique) dans la saison et similaire d'année en année. Enfin, plus le nombre de nuits échantillonnées sera grand, plus la précision de l'estimation du nombre de bulls total sur la saison en sera améliorée.

L'écart constaté entre le nombre de bulls réels et le nombre de bulls dépouillés depuis les enregistrements est intimement lié à la rigueur appliquée lors de la calibration sur le terrain. L'appréciation de la durée minimale (2 secondes) pour pouvoir comptabiliser un bull peut être variable en fonction de l'observateur et des conditions d'écoute, et donc amener un biais dans le comptage manuel. De plus, le site de Taillebourg reste sensible aux bruits ambiants nocturnes (voie ferrée, travaux, autoroute, circulation, bruits de la ville). Les conditions d'écoute s'avèrent donc variables en fonction de la direction du vent et/ou de la présence de ces bruits parasites spontanés, amenant des biais supplémentaires à la méthode.

Depuis 2014 et la mise au point de la méthode d'extrapolation du nombre de bulls sur les nuits manquantes, une forte marge d'erreur relative liée aux prédictions du modèle persiste chaque année. Ceci peut s'expliquer en partie par la difficulté à quantifier les relations de causes à effets entre variables environnementales et activité de reproduction.

Le débit et la température de l'eau sont connus pour être des facteurs prépondérants dans l'activation et l'arrêt de la reproduction chez l'aloise feinte (Baglinière & Elie, 2000). D'après les données analysées depuis 2007 par l'association MIGADO sur le système GGD et les observations de la CMCS sur le bassin Charente, la hausse du débit, conjuguée à la baisse de la température, diminue voire stoppe la reproduction (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981 ; Bouyssonie & Filloux, 2021 ; CMCS, 2020). Une forte crue induit en général un arrêt de l'activité, et des débits bas peuvent modifier les caractéristiques hydrologiques des frayères et les rendre moins optimales pour la reproduction (CMCS, 2018).

La marée et ses coefficients conditionnent l'entrée en estuaire des aloses mais aussi les conditions hydrologiques sur les frayères situées en aval de Crouin (CMCS, 2018). La gestion du barrage de Saint-Savinien permet l'ouverture des vannes de celui-ci au-dessus d'un coefficient de marée supérieur à 70. Les effets du flot et du jusant se ressentent alors jusqu'à Crouin. Par gros coefficients de marée, la hauteur d'eau et le sens du courant sur la frayère de Taillebourg sont impactés de manière très notable. Ce phénomène est donc susceptible d'affecter l'activité de reproduction. C'est pourquoi il a été choisi cette année de s'intéresser à comparer le nombre de bulls par rapport au niveau, et à la variation des hauteurs d'eau à Rochefort durant chaque nuit. Aucun lien de causalité concret n'a été trouvé cette année grâce aux analyses. Cependant, le décalage horaire différent entre l'arrivée du flot et du jusant au niveau de Taillebourg, la gestion du barrage de Saint-Savinien et l'influence des variations de débit rendent complexe l'étude de l'impact de la marée sur l'activité de reproduction de la frayère. Une sonde de niveau d'eau sur Taillebourg pourrait permettre d'évaluer de manière certaine, s'ils elles existent, les conditions préférentielles de marée pour l'activité de reproduction. Il s'agirait peut-être ici d'une variable intéressante à incorporer au modèle de prédiction du nombre de bulls.

Certains facteurs autres que le temps et la température pourraient aussi avoir une influence à la fois négative et positive sur l'activité de reproduction et ceci ne participerait pas à améliorer la précision de l'estimation, qui se base sur une combinaison de régressions linéaires.

Une autre explication plausible participant à l'incertitude importante portée par le modèle est que l'activité de reproduction n'est pas uniquement influencée par des facteurs environnementaux, mais également par des facteurs d'ordre physiologique. Le phénomène de maturation fractionnée permettrait initialement aux aloses d'attendre pour se reproduire lorsque les conditions sont les plus favorables et ainsi éviter les nuits avec des mauvaises conditions (Lambert *et al*, 2018). Or, on pourrait supposer qu'il leur serait impossible de retarder la ponte indéfiniment et la reproduction doit avoir lieu quelles que soient les conditions à un certain moment.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le contexte de déclin des populations d'aloses sur le bassin de la Charente sus-décrit en introduction, cette étude s'inscrit dans la continuité des actions menées jusqu'à présent par la CMCS pour quantifier annuellement l'indicateur « effectif de géniteurs d'aloses feintes ». L'objectif cette année était de ne conserver uniquement qu'un suivi en routine sur Taillebourg, la frayère considérée la plus régulière et représentative de l'activité de reproduction de l'alose feinte sur la Charente. Le protocole de suivi de la reproduction à l'aide d'enregistrements acoustiques mis en place par la CMCS depuis 2014 a donc conformément été appliqué, en effectuant 25 nuits d'échantillonnage sur le site de Taillebourg en 2021.

Un total de 1 851 bulls a été comptabilisé grâce aux enregistrements des nuits échantillonnées cette saison. En appliquant la méthode permettant d'extrapoler les données manquantes (nuits/quarts d'heure non suivis et calibration) propre au bassin Charente, le nombre de bulls théoriques sur toute la saison est estimé à 20 177. Le calcul du nombre de géniteurs d'aloses feintes qui en découle donne un chiffre avoisinant les 4000 individus.

Cette valeur vient stopper la tendance dégressive observée depuis 2017 en ce qui concerne le principal indicateur de population pour les aloses feintes sur le bassin. En effet, malgré les marges d'erreur non négligeables qui persistent autour de ces estimations annuelles, la situation semble s'être améliorée cette année avec un effectif retrouvé comparable à celui de 2014. Le suivi qui fait l'objet du présent rapport permet et permettra chaque année de refléter fidèlement les tendances de l'évolution de la population d'aloses feintes sur la frayère de Taillebourg. Ces résultats semblent encourageants pour 2021, mais demeurent contrastés par la chute majeure de l'état global des populations de grandes aloses, aussi bien sur le bassin de la Charente qu'en Garonne-Dordogne (CMCS, 2021).

L'exercice de qualification de l'état d'une population d'une espèce piscicole amphihaline reste tout de même particulièrement complexe, compte tenu des caractéristiques de leur cycle biologique, des échelles spatiales au sein desquelles celui-ci se réalise, mais également des difficultés méthodologiques pour acquérir des données robustes et suffisamment stables dans le temps (Abdallah *et al*, 2021). Sur le bassin Charente-Seudre, le prochain programme d'actions pour la préservation des poissons migrateurs et plus particulièrement des deux espèces d'aloses repose sur plusieurs stratégies.

La première consiste à maximiser la capacité d'accueil en habitats de qualité pour la reproduction, et cela passe aussi par leur caractérisation. C'est pourquoi la CMCS a prévu d'entamer un travail de description de chaque frayère connue par une bathymétrie complète et une identification simple du substrat et de la qualité de l'espace interstitiel. Cela afin de s'assurer que ces dernières fournissent toujours des habitats garantissant la reproduction, mais surtout la survie des œufs et des juvéniles.

Il est également primordial de réduire au maximum les facteurs de mortalité en affinant la connaissance sur des pressions encore peu connues, mais potentiellement à fort enjeu pour la dynamique des espèces : les captures par les différentes activités de pêche, et la présence du silure glane font l'objet d'une investigation qui sera poursuivie dans les années à venir.

Enfin, l'optimisation de certains axes du dispositif de suivi actuel pourrait dégager de nouveaux moyens destinés à augmenter la robustesse et la puissance des indicateurs « clés » du Tableau de Bord de la CMCS. Dans les années à venir, une expérimentation pourrait être programmée sur la frayère de Taillebourg, visant à comparer les résultats de suivis acoustiques de la reproduction avec des signaux mesurés par analyse d'ADNe semi-quantitative. L'objectif serait d'identifier si cette méthode arriverait à décrire l'évolution de l'intensité de la reproduction au cours de la saison par mesure des variations de l'intensité du signal ADNe mesuré sur la frayère. Ce type d'approche nécessite vraisemblablement de nombreuses calibrations, mais elle pourrait ouvrir de nouvelles pistes d'investigations sur les aloses particulièrement intéressantes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdallah Y., Dufouil A., Charrier F., Berge J., Postic-Puivif A., Collet M.A., Albert F., Buard E., Etude des potentialités piscicoles sur les bassins Charente-Seudre - Etats et possibilités de migration des poissons migrateurs amphihalins des bassins Charente et Seudre. EPTB Charente, SCIMABIO Interface, FISH-PASS. Version finale, 240 p. + annexes, **2021**.

Aprahamian M. W., Aprahamian C. D., Baglinière J. L., Sabatié R., & Alexandrino P., *Alosa alosa* and *Alosa fallax* spp. literature review and bibliography. R & D Technical Report W1-014. TR. Bristol. American Fisheries Society Symposium 35, p103-124, **2003**.

Aprahamian M.W., Aspects of the biology of the twaite shad (*Alosa fallax fallax*) in the river Severn and Wye (Britain). Liverpool. Ph. Doctorat Thesis. 372 p., **1982**.

Baglinière, J.L., Le genre *Alosa* sp. In: Baglinière, J.L., Elie, P., ed. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp). Paris: Cemagref-Inra. p3-30, **2000**.

Baglinière J. L., Sabatié M. R., Rochard E., Alexandrino P., & Aprahamian M. W., The allis shad *Alosa alosa* : biology, ecology, range, and status of populations. In American Fisheries Society Symposium Vol. 35, p85-102, **2003**.

BOUYSSONNIE, W., FILLOUX, D., Suivi de la reproduction naturelle de la grande alose sur la Dordogne. Rapport d'activité MIGADO, 21p., **2021**.

Baudouin J.M., Burgun V., Chanseau M., Larinier M., Ovidio M., Sremski W., Steinbach P. & Voegtle B., Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons – Principes et Méthodes. ONEMA (ed), 200p, **2014**.

Cassou-Leins F. & J.J. Cassou-Leins, Recherches sur la biologie et l'halieutique des migrateurs de la Garonne et principalement de l'aloise *Alosa alosa* L. Thèse de doctorat : ichtyologie appliquée. Institut National Polytechnique, France, 382p., **1981**.

Cellule Migrateurs Charente Seudre, Rapport des actions 2019. EPTB Charente, MIGADO, CREA. Programme d'actions 2016-2020 pour la sauvegarde et la restauration des poissons migrateurs amphihalins sur les bassins Charente et Seudre. 192p., **2020**.

Cellule Migrateurs Charente Seudre, Programme d'Actions 2016-2020 – Rapport technique 2017. EPTB Charente, Groupement fédérations de pêche du Poitou-Charentes & CREA (eds), Rapport technique, 144p., **2018**.

De Groot S.J., A review of the past and present status of anadromous fish species in the Netherlands : is restocking the Rhine feasible ? Hydrobiologia, 478, p205-218, **2002**.

Hydro Concept, Etude des potentialités piscicoles des bassins de la Charente et de la Seudre pour les poissons migrateurs. EPTB Charente (ed), Rapport d'étude, 138p., **2003**.

Jatteau P., Drouineau H., Charles K., Carry L., Lange F., & Lambert P., Thermal tolerance of allis shad (*Alosa alosa*) embryos and larvae: Modeling and potential applications. Aquatic Living Resources, 30, **2017**.

Lambert P., Jatteau P., Paumier A., Carry L., & Drouineau H., Allis shad adopts an efficient spawning tactic to optimise offspring survival. *Environmental Biology of Fishes*, 101(2), p315–326, **2018**.

Lassalle G., Beguer M., Beaulaton L., & Rochard E., Learning from the Past to Predict the Future: Responses of European Diadromous Fish to Climate Change. In *Challenges for Diadromous Fishes in a Dynamic Global Environment*, 69 (January 2016), p175–193, **2009**.

Lê S., Josse J., Husson F., FactoMineR: A Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), p1–18, **2008**.

Limburg K. E., & Waldman J. R., Dramatic Declines in North Atlantic Diadromous Fishes. *BioScience*, Vol. 59 (11), p955–965, **2009**.

Lochet A., Dévalaison des juvéniles et tactiques gagnantes chez la grande alose *Alosa alosa* et l'alse feinte *Alosa fallax* : apports de la microchimie et de la microstructure des otolithes. Thèse de doctorat : océanographie. Université de Bordeaux I, France, 208p., **2006**.

Mota M., & Antunes C., A preliminary characterisation of the habitat use and feeding of Allis shad (*Alosa alosa*) juveniles in the Minho River tidal freshwater wetlands. In *Limnetica*, Vol. 31 (1), p165-172, **2012**.

R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, **2019**.

Rougier T., Lambert P., Drouineau H., Girardin M., Castelnaud G., Carry L., Aprahamian M., Rivot E., & Rochard E., Collapse of allis shad, *Alosa alosa*, in the Gironde system (southwest France): environmental change, fishing mortality, or Allee effect? *ICES Journal of Marine Science*, 69(10), p1082-1811, **2012**.

SABATIE M.R., Recherche sur l'écologie et la biologie des aloses au Maroc (*Alosa alosa* L. 1758 et *Alosa fallax* L. 1803) : exploitation et taxonomie des populations atlantiques, bioécologie des aloses de l'oued Sebou. Université de Bretagne Occidentale. Brest. Thèse de Doctorat. 326 p., **1993**.

Taverny C., 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, Ecologie. Etude particulière de la dévalaison et de l'impact des activités humaines. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 507p, **1991**.

Taverny C., Cassou-Leins J. J., Cassou-Leins F., & Elie P., De l'œuf à l'adulte en mer. In J. L. Baglinière & P. Elie (Eds.), *Les aloses (Alosa alosa et Alosa fallax spp)*, p93–124. Paris: Cemagref–Inra, **2000**.

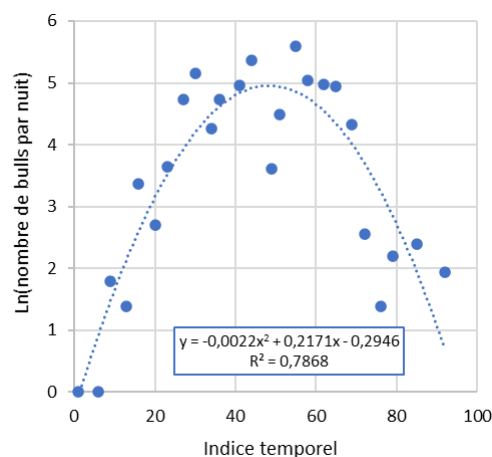
ANNEXES

$$u = \frac{-a_1}{2a_2}$$

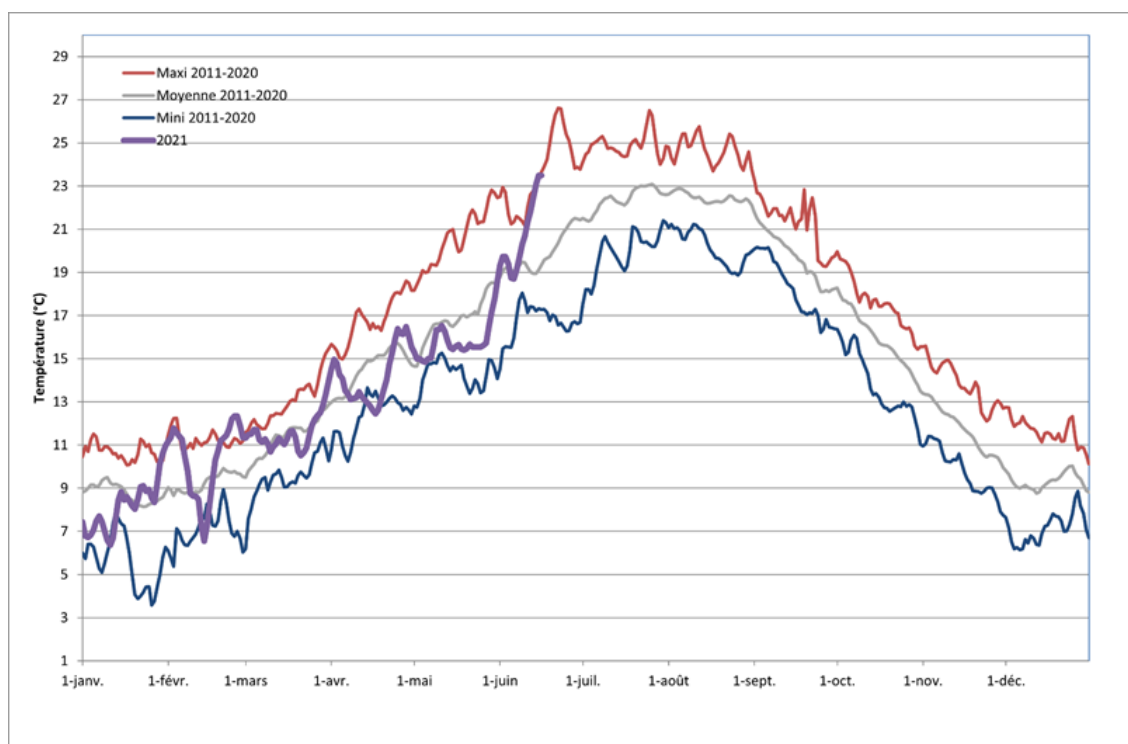
$$c = e^{-(a_2 u^2 + a_1 u + b)}$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{-2a_2}}$$

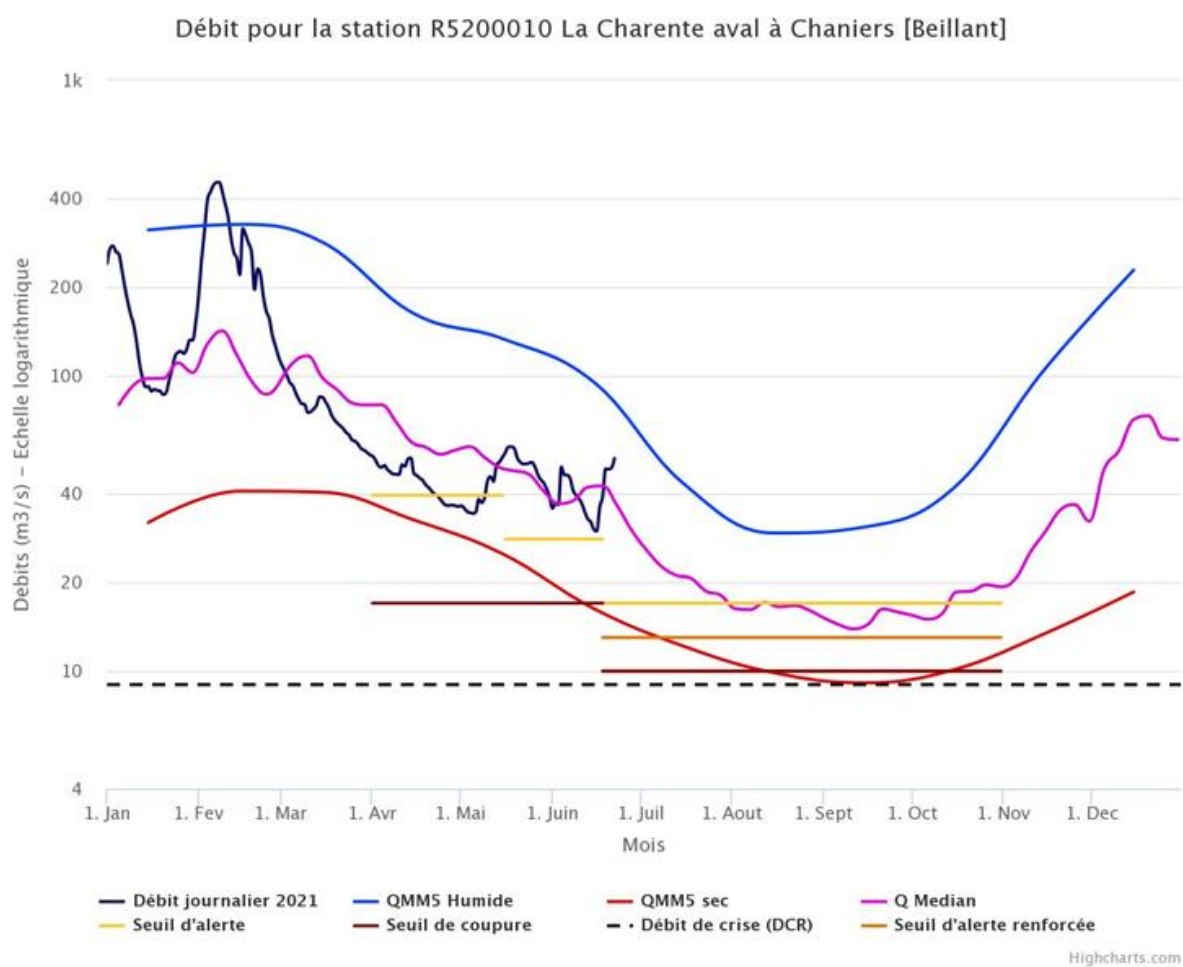
$$Z_x = c \times e^{-\frac{0,5 \times (x-u)^2}{t^2}}$$



Annexe 1 : Formule de construction de la courbe de Gauss (Borcard, 2000). Les coefficients a_2 , a_1 et b sont obtenus suite à l'ajustement de la parabole au nuage de points (exemple pour l'indice temporel). Ils permettent la construction de la courbe de Gauss (Z_x) par les calculs des paramètres suivant : l'optimum (u), du sommet de la courbe (c) et de la tolérance (t). x est la valeur de la variable (indice temporel ou température de l'eau) à ajuster



Annexe 2 : Températures de l'eau à Crouin en 2021 et valeurs entre 2011 et 2020



Annexe 3 : Débit journalier à Beillant en 2021

RESUME

Les deux espèces d'Aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax*) sont classées comme espèces vulnérables au niveau national. La Cellule Migrateurs, créée en 2009, a pour mission d'assurer le suivi des populations d'Aloses sur la Charente. Afin d'étudier leur évolution, le nombre de géniteurs est estimé grâce au suivi de leur reproduction. En effet, cette dernière est audible et visuelle, mais aussi caractéristique de ces espèces. Après une première étude réalisée en 2012, un protocole normalisé de suivi a été défini en 2014. Ce protocole permettait d'estimer le nombre de géniteurs d'Aloses présent sur les trois frayères les plus actives de la Charente. Ce calcul, qui se base sur le nombre de bulls observés dans la saison et l'influence des variables environnementales, a été utilisé afin de réaliser le suivi de la population d'aloses feintes sur la frayère de Taillebourg en 2021. Malgré une incertitude non négligeable des résultats, les calculs permettent de mettre en évidence une remontée de l'effectif de géniteurs sur cette frayère cette année. A l'échelle du territoire du COGEPOMI Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre, les populations d'aloses feintes semblent retrouver une tendance à la hausse ces 2 dernières années. Sur le bassin Charente, la poursuite de ces suivis annuels couplé à l'émergence de nouvelles méthodes telles que le radio-marquage ou le suivi par ADNe semi-quantitatif permettraient de mieux appréhender l'évolution des populations pour orienter justement les mesures de gestion futures.

Mots clefs : Grande Alose – Alose feinte – Bassin Charente – Estimation – Géniteurs – Reproduction – Bulls

ABSTRACT

Allis shad and twaite shad are classified as vulnerable species in France. The CMCS, created in 2009, is responsible for monitoring the shad populations on the Charente. In order to study their evolution, the number of spawners is estimated by monitoring their reproduction. Indeed, the spawning act is audible and visual, but also characteristic of these species. After an initial study in 2012, a standardised monitoring protocol was defined in 2014. This protocol made it possible to estimate the number of shad spawners present on the three most active spawning grounds of the Charente. This calculation, which is based on the number of spawning act observed during the season and the influence of environmental variables, was used to monitor the shad population on the Taillebourg spawning ground in 2021. Despite a significant uncertainty in the results, the calculations show an increase in the number of spawners on this spawning ground this year. On the scale of the Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre COGEPOMI territory, twait shads populations seem to have returned to an upward trend in the last two years. In the Charente basin, the continuation of this annual monitoring coupled with the emergence of new methods such as radio-marking or semi-quantitative eDNA monitoring would allow for a better understanding of the evolution of the populations in order to orient future management measures.

Key words : Allis shad – Twaite shad - Charente - Estimation - Spawners - Reproduction – Shad spawning act