
ESTIMATION DU NOMBRE DE GENITEURS D'ALOSSES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA CHARENTE ET SUIVI DES MIGRATIONS EN 2017



© A. POSTIC-PUIVIF

Mathilde LABEDAN

Stage effectué du 6 mars au 6 septembre 2017 à l'EPTB Charente

Sous la direction scientifique de Mme Audrey POSTIC-PUIVIF

Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'entreprise ou du laboratoire d'accueil

Année universitaire 2016/2017

Master 2 « Dynamique des écosystèmes aquatiques »

Le présent document est un rapport de stage.

Il doit être utilisé avec les précautions d'usages. Les résultats et analyses présentés constituent une première approche dans le cadre d'un projet pédagogique.

Le stagiaire a été accueilli par l'EPTB Charente.

Son travail s'est inscrit dans le cadre du programme d'actions pour la sauvegarde et la restauration des poissons migrateurs amphihalins des bassins Charente et Seudre mené par dans le cadre partenarial de la Cellule Migrateurs Charente Seudre.



Référence à citer :

LABEDAN Mathilde, 2017. Estimation du nombre de géniteurs d'Aloses sur le bassin versant de la Charente et suivi des migrations en 2017. Rapport de stage Master 2 « DynEA » - Université de Pau et des Pays de l'Adour. EPTB Charente – Cellule Migrateurs Charente Seudre. 46 p.

Résumé

Les deux espèces d'Aloses (*Alosa alosa* et *Alosa falax*) sont classées comme espèces vulnérables au niveau national. La Cellule Migrateurs, créée en 2008, 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 permet d'estimer le nombre de géniteurs d'Aloses présent sur les trois frayères les plus actives de la Charente. Il a été utilisé afin de réaliser le suivi des populations d'Aloses des années 2016 et 2017.

Malgré une incertitude élevée des résultats, ils mettent en évidence une importante chute du nombre de géniteurs sur ces trois frayères en 2017. Cette diminution pourrait être expliquée par des conditions climatiques et hydrologiques sévères (température élevée et débit faible) en 2017 ainsi que par le déclin des populations d'Aloses observé dans le territoire du COGEPOMI (COmité de GEstion des POissons Migrateurs) Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre.

Le protocole utilisé permet donc, de façon reproductible, d'obtenir une estimation du nombre de géniteurs sur les trois frayères étudiées. Cependant, en augmentant l'effort d'échantillonnage il serait possible d'augmenter la précision des résultats. De nouvelles méthodes de suivi automatiques devraient voir le jour prochainement. Elles permettraient d'augmenter l'effort d'échantillonnage sans pour autant accroître les moyens humains.

Le front de migration a été déterminé à Gondeville. Il s'agit du deuxième front de migration le plus bas jamais observé sur la Charente depuis 2009. Malgré l'important effort d'échantillonnage, très peu d'indices de présence d'Aloses et une seule frayère active ont pu être observés en amont de Crouin.

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

Abstract

The two species of Shad (*Alosa alosa* and *Alosa falax*) are classified as vulnerable species at national level. The Cellule Migrateurs, created in 2009, is responsible for monitoring the populations of Shad on the Charente. In order to study their evolution, the number of spawning Shad is estimated by monitoring their reproduction. Indeed, the latter is audible and visual but also characteristic of these species.

After a first study carried out in 2012, a standardized protocol of monitoring was defined in 2014. This protocol makes possible to estimate the number of spawning Shad present on the three most active spawning grounds of the Charente. This protocol was used to monitor the populations of Shad during the years 2016 and 2017.

Despite high uncertainty in the results, they show a significant drop in the number of spawning Shad on these three spawning grounds in 2017. This decrease could be explained by severe climatic and hydrological conditions (high temperature and low flow) in 2017, as well as by the decline of the populations of Shad observed in the territory of COGEPOMI Garonne-Dordogne-Charente -Seudre -Leyre.

The protocol used provides an estimate of the number of spawning Shad on the three spawning grounds. However, by increasing the sampling effort it would be possible to increase the accuracy of the results. New automatic monitoring methods should soon be introduced. They would increase the sampling effort without increasing human resources.

The migration front was determined at Gondeville. This is the second lowest migration front ever seen on the Charente since 2009. Despite the high sampling effort, very few indications of the presence of shad and only one active spawning ground were observed upstream of Crouin.

Key words: Allis shad– Twait shad – Charente watershed – Estimation – Spawning fish – Reproduction – Bulls

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma tutrice de stage, Audrey POSTIC-PUIVIF, pour sa disponibilité tout au long de mon stage, ses conseils précieux et le partage de ses connaissances. Merci également de m'avoir permis de découvrir des sujets autres que mon sujet de stage.

Je remercie également François ALBERT et Éric BUARD, les deux autres membres de la Cellule Migrateurs pour leurs conseils, le partage de leur connaissance ainsi que leur bonne humeur tout au long de ce stage.

Je n'oublie évidemment pas de remercier mes camarades stagiaires de la Cellule Migrateurs, François PRELLWITZ et Charlie PERRIER pour m'avoir accompagnée sur le terrain mais aussi pour m'avoir fait découvrir leurs sujets de stage.

Un merci aux équipes de l'Agence française pour la biodiversité 16 et 17 et des fédérations de pêches 16 et 17 pour leur travail dans le suivi de la reproduction des Aloses.

Pour terminer, un grand merci à toute l'équipe de l'EPTB Charente pour leur accueil chaleureux et leurs poses cafés. Je remercie tout particulièrement Jennifer MERCIER, Théo LE GUILLOU et Laura CHAIGNE de m'avoir accompagnée sur le terrain avec joie et bonne humeur.



L'équipe de la Cellule Migrateurs Charente Seudre : avec de droite à gauche François Albert et Charlie Perrier du Groupement des Fédérations de Pêche de Poitou-Charentes, François Prellwitz et Éric Buard du CREA, Audrey Postic-Puivif et moi-même.

Avant-propos

L'EPTB Charente (Établissement Public Territorial de Bassin de la Charente) a été créé en 1977 suite à la sécheresse historique de 1976. Les quatre conseils départementaux de l'ancienne région Poitou-Charentes ont participé à sa création: Charente, Charente-Maritime, Deux-Sèvres et Vienne.

Il a pour mission de promouvoir la gestion de l'eau à l'échelle du bassin de la Charente en réalisant les études et les travaux permettant l'amélioration du régime hydraulique tant en crue qu'en étiage, le maintien ou la reconquête de la qualité des eaux et des milieux aquatiques, la valorisation touristique du fleuve et de ses affluents. Il favorise la concertation entre les collectivités territoriales compétentes pour cette gestion.

Suite à l'étude des potentialités piscicoles menée en 2003 à l'initiative de l'EPTB Charente, la présence de bonnes potentialités d'accueil pour les poissons migrateurs amphihalins a été mise en évidence sur la globalité des bassins Charente et Seudre. Les forts enjeux identifiés et l'arrivée de nouveaux outils de cadrage ont conduit plusieurs partenaires du bassin à engager une action commune, notamment l'EPTB Charente et le Groupement des Fédérations de Pêche de Poitou-Charentes. C'est dans ce contexte qu'en 2008 la volonté de mettre en place une animation « poissons migrateurs » a vu le jour avec la création de la Cellule Migrateurs. Le CREA (Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole) a rejoint la Cellule en 2010. Le travail s'organise autour de programmes d'actions pluriannuels pour la sauvegarde et la restauration des poissons migrateurs amphihalins.

Dans sa configuration actuelle la Cellule Migrateurs s'appuie sur le travail complémentaire de trois animateurs répartis sur l'ensemble du territoire qui assurent le lien entre les différentes actions : Audrey POSTIC-PUIVIF basée à Saintes (EPTB Charente), François ALBERT basé à Angoulême (Groupement des Fédérations de Pêche de Poitou-Charentes), et Éric BUARD basé au Château-d'Oléron (Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole). J'ai effectué mon stage au sein de l'EPTB Charente et de la Cellule Migrateurs sous la responsabilité scientifique d'Audrey POSTIC-PUIVIF.

Cellule Migrateurs Charente Seudre



Table des matières

Introduction	1
Matériels et méthodes	3
1. Les aloses.....	3
1.1. Systématique	3
1.2. Morphologie et régime alimentaire	3
1.3. Répartition géographique	4
1.4. Cycles biologiques	5
1.5. La reproduction	5
1.6. Intérêt économique, scientifique, écologique et patrimonial	6
1.7. Problèmes rencontrés par les Aloses sur le bassin de la Charente	7
1.8. Moyens mis en œuvre pour la conservation des Aloses sur la Charente.	8
2. Le bassin de la Charente.....	9
2.1. Généralités	9
2.2. La passe à poisson de Crouin.....	10
2.3. Les frayères étudiées.....	11
3. Évaluation du nombre de géniteurs sur trois frayères.....	11
3.1. Suivi audio	11
3.2. Dépouillements des enregistrements	12
3.3. Suivi nocturne.....	12
3.4. Acquisition des variables environnementales.....	13
3.5. Traitement des données.....	13
4. Survie des œufs et des larves.....	17
5. Suivi linéaire	18
6. Recherche du front de migration	19
6.1. Suivi diurne.....	19
6.1. Suivi nocturne.....	20
Résultats et discussion	21
1. Résultats bruts pour la saison 2017	21
2. Estimation du nombre de géniteurs présent sur les frayères de Taillebourg, La Baine et Crouin	22
2.1. Extrapolation des nuits manquantes.....	22
2.1.1. Corrélation entre le nombre de bulls et les différentes variables environnementales.	23
2.1.2. Corrélations entre les variables environnementales	23
2.1.3. Résultats de l'extrapolation grâce à la méthode PLS (Partial Least Square).....	24

2.2.	Calibration	26
2.3.	Extrapolation des quarts d'heure manquants.....	27
2.4.	Bilan et nombre de bulls total dans la saison.....	30
2.5.	Calcul du nombre de géniteurs	31
3.	Comparaison entre les années	31
3.1.	Comparaison de l'effort d'échantillonnage.....	31
3.2.	Comparaison du nombre de géniteurs.....	32
3.3.	Analyses multidimensionnelles	36
4.	Survie des œufs et des larves	38
5.	Suivis linéaires	40
6.	Recherche du front de migration	41
	Conclusion et perspectives	44

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures :

Figure 1 : Morphologie et caractéristiques de la grande alose et de l’alose feinte (Illustrations : Florence DELLERIE).	4
Figure 2 : Distribution (absence, présence historique et présence actuelle) de la grande alose (a) et de l’alose feinte (b) en Europe de l’Ouest (Source : Lochet, 2006).	4
Figure 3 : Cycles biologiques de l’alose feinte et de la grande alose (Source : Groupement des fédérations de pêche du Poitou Charente et EPTB Charente).	5
Figure 4 : Le bull, acte de reproduction caractéristique des aloses (Source : MRM).	6
Figure 5 : Carte du bassin de la Charente (Source : HYDRO CONCEPT, 2003).	9
Figure 6 : Emplacement sur la Charente du barrage de Crouin.	10
Figure 7 : Photos de la passe à bassin et du local de comptage de Crouin (Source : F. ALBERT).	10
Figure 8 : Représentation graphique de l’emplacement des différentes frayères de la Charente.	11
Figure 9 : Enregistreur audionumérique sur le site de Taillebourg (Source personnelle).	11
Figure 10 : Aperçu de la présence d’un bull sur le logiciel Audacity.	12
Figure 11 : Photo prise de nuit lors d’un suivi nocturne de la reproduction des aloses (Source personnelle).	12
Figure 12 : Frayères prospectées en suivi linéaire.	18
Figure 13 : Cartographie de la prospection réalisée le 8 juin 2017 pour 6 personnes de l’AFB 16 et 6 personnes de la Cellule Migrateurs.	19
Figure 14 : Frayères prospectées en suivi de migration nocturne.	20
Figure 15 : Nombre de bulls par nuit pour les trois frayères ainsi que l’évolution de débit (m ³ /s) et de la température (°C).	22
Figure 16 : Pourcentage d’activité par quart d’heure pour les trois frayères.	22
Figure 17 : Somme du nombre de bulls par quarts d’heure sur le site de Taillebourg.	27
Figure 18 : Estimation du nombre de bulls pour les quarts d’heure manquants sur le site de La Baine. Les courbes rouges représentent l’intervalle de confiance à 95%.	28
Figure 19 : Évolution du nombre de géniteurs au cours du temps.	32
Figure 20 : Nombre total de géniteurs sur les trois frayères et nombre d’Aloses ayant traversé la passe à poisson de Crouin en fonction des années.	33
Figure 21 : Nombre total de géniteurs sur les trois frayères et nombre de Silures ayant traversé la passe à poissons de Crouin en fonction des années.	34
Figure 22 : Température moyenne journalière (°C) de la Charente à Crouin en 2014, 2016 et 2017, la moyenne des années 2004 à 2016 ainsi que le minimum et le maximum de 2004 à 2016 du 15 avril au 15 juillet (période de reproduction de l’Alose).	35
Figure 23 : Débit moyen journalier (m ³ /s) de la Charente à Beillant en 2014, 2016 et 2017, la moyenne des années 2004 à 2016 ainsi que le minimum et le maximum de 2004 à 2016 du 1 ^{er} janvier au 15 juillet.	35
Figure 24 : Cercle des corrélations de l’analyse en composantes principales des différentes variables (axes 1 et 2) en prenant en compte les années 2014, 2016 et 2017.	36
Figure 25 : Répartition des individus statistiques de l’analyse en composante principale en fonction des années (axes 1 et 2) en prenant en compte les années 2014, 2016 et 2017.	36
Figure 26 : Cercle des corrélations de l’analyse en composantes principales des différentes variables (axes 1 et 2) en prenant en compte les années 2014 et 2017.	37
Figure 27 : Répartition des individus statistiques de l’analyse en composante principale en fonction des années (axes 1 et 2) en prenant en compte les années 2014 et 2017.	37
Figure 28 : Température de l’eau journalière à Crouin en 2017 et plages de survie des œufs.	38
Figure 29 : Température de l’eau journalière à Crouin en 2017 et plages de survie des larves.	39

Figure 30 : Nombre de jours durant lesquels la survie estimée est inférieure à 80% (entre le 01/04 et le 31/08).	39
Figure 31 : Maximum de bulls par frayère de 2013 à 2017.	41
Figure 32 : Activité des sites lors des prospections de nuits.....	42
Figure 33 : Front de migrations des années précédentes sur la Charente.	44

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Nombre de nuits effectué et nombre total de bulls obtenu pour chaque site associé à un nombre moyen de bulls et un coefficient de variation.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2 : Test de corrélation de spearman entre le nombre de bulls et les variables explicatives. Significativité : p-value <0.05=*, <0.01=**, <0.001=***. Pàp représente la passe à poisson, gtemps et gTeau la transformation gaussienne de l'indice temporel (Temps) et de la température (Teau) et Diff_T et Diif_T correspondent à la différence de température et de débit présente d'un jour à l'autre (t-t ₁).	23
Tableau 3 : Corrélation de spearman entre les différentes variables pour le site de La Baine. Couleur vert clair > 0.70, vert > 0.80 et vert foncé > 0.90. La significativité des cases de couleur est <0.001. .	23
Tableau 4 : Calcul de l'indice VIF (Variance Inflation Factors) pour chacune des variables et chacun des sites. Couleur vert clair >10, vert >20 et vert foncé >30.....	24
Tableau 5 : Valeurs de l'indice VIP (Variable Importance in the Prediction) calculées à partir du modèle de régression PLS de chaque frayère. Couleur vert foncé >2, vert >1 et vert clair >0,8.....	25
Tableau 6 : Estimation de nombre de bulls total après extrapolation grâce à la fonction pls() présente dans le package pls du logiciel R.	25
Tableau 7 : Équations de régression linéaires entre les bulls capturés par les enregistreurs et ceux écoutés par les agents sur le terrain.	26
Tableau 8 : Bilan des bulls estimés pour la saison en ajoutant la calibration à l'extrapolation des nuits manquantes.....	27
Tableau 9 : AICc des modèles des courbes de tendance polynomiales de La Baine.....	28
Tableau 10 : Meilleurs modèles trouvés pour Taillebourg et Crouin.....	29
Tableau 11 : Méthode d'obtention des coefficients multiplicateurs grâce au nombre de bulls observé et théorique.....	29
Tableau 12 : Récapitulatif du nombre de bulls obtenu à la suite des différentes étapes d'estimation.	30
Tableau 13 : Nombre de géniteurs estimé en utilisant la méthode de l'association MIGADO, avec 10 pontes par femelle.	31
Tableau 14 : Nombre de nuits suivies sur les trois frayères en fonction des années.	31

Liste des annexes :

Annexe 1 : Pourcentage de bulls estimé par site et par année.....	3
Annexe 2 : Planning effectué lors du stage.....	3
Annexe 3 : Organisation du stage.....	3
Annexe 4 : Graphiques présentant la racine carrée de l'erreur quadratique (RMSEP) dans trois frayères (1 seule composante sera retenue pour Crouin et Taillebourg et deux pour La Baine).....	4
Annexe 5 : Résultats du nombre de bulls des nuits échantillonnées en 2017 avec les variables environnementales associées.	5
Annexe 6 : Corrélations entre les différentes variables pour les frayères de Crouin et Taillebourg.....	7
Annexe 7 : Coefficients de régression de chaque variable pour les trois frayères.	7
Annexe 8 : Comparaison de l'extrapolation du nombre de bulls pour les nuits manquantes de 2014 entre la méthode lm() et pls() (la méthode lm() n'a pas été testée en 2014 sur la frayère de La Baine puisque toutes les nuits ont été suivies).....	7
Annexe 9 : Estimation du nombre de bulls pour les quarts d'heure manquants sur le site de Taillebourg. Les courbes rouges représentent l'intervalle de confiance à 95%.....	8
Annexe 10 : Estimation du nombre de bulls pour les quarts d'heure manquants sur le site de Crouin. Les courbes rouges représentent l'intervalle de confiance à 95%.....	8

Introduction

La grande Alose (*Alosa alosa* Linné, 1758) et l'Alose feinte (*Alosa fallax* Lacépède, 1803) sont deux espèces migratrices amphihalines dont la reproduction s'effectue en eau douce tandis que la croissance est essentiellement réalisée en mer (Lochet, 2006). Les deux espèces d'aloses font partie des huit grands poissons migrateurs amphihalins présents en Europe.

Leurs caractéristiques anadromes les rendent sensibles aux activités anthropiques (pêche, destruction d'habitat, pollution...) et principalement à l'édifice de barrages qui constituent une barrière infranchissable ou retardent la migration des poissons migrateurs. Les activités anthropiques ont ainsi généré une restriction importante de leurs aires de répartition ayant pour effet une régression des populations d'Aloses en France et en Europe (Baglinière, 2000). C'est pourquoi, ces deux espèces sont classées comme vulnérables par l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la nature) France, elles sont aussi inscrites dans l'annexe III de la convention de Berne et de Barcelone, dans l'annexe V de la convention OSPAR et dans les annexes II et V de la directive « habitats » de la communauté européenne (Aprahamian et al., 2003; Baglinière et al., 2003) d'où leur prise en compte par le réseau Natura 2000.

Au niveau de la Charente, un programme d'action sur les poissons migrateurs a été mis en place en 2009. Cela étant relativement récent, il est difficile d'évaluer précisément l'état des populations d'aloses sur ce bassin. Le bassin voisin Garonne-Dordogne était considéré comme possédant le plus important stock d'aloses en France. Cependant, ces dernières années les stocks se sont effondrés. En 2015, 429 individus ont été observés au niveau de la station de comptage de Golfech sur la Garonne et 1 605 au niveau de Tuillères sur la Dordogne ; cela reste insignifiant par rapport à la moyenne de 32 000 individus observés sur la période 1993-2013 sur ces deux barrages. Une des causes serait l'augmentation de la température de l'eau. Une raréfaction des populations de poissons migrateurs pourrait avoir lieu au sud de la France (Rochard et Lassalle, 2010).

Suite à ce constat, il semble impératif de continuer et d'améliorer du mieux possible le suivi des espèces d'aloses sur le bassin de la Charente. Le PLAN de GEstion des POissons Migrateurs (PLAGEPOMI) Garonne-Dordogne-Charente-Leyre 2015-2019 propose une mesure de gestion (mesure SB07) visant à poursuivre le suivi de la reproduction de l'Alose feinte et de la grande Alose sur la Charente en suivant leurs principales frayères.

En 2012 a eu lieu sur la Charente une première analyse des résultats des reproductions d'aloses (Tallerie, 2012). Cette étude a mis en avant la nécessité de réaliser des suivis approfondis des reproductions pour mettre en place une méthode d'estimation, fiable et robuste, du nombre de géniteurs.

En 2014, un protocole de suivi basé sur des enregistreurs audionumériques a été proposé (Brias 2014) sur les trois frayères principales de la Charente (Taillebourg, La Baine et Crouin) ainsi qu'une méthode de calcul des géniteurs basée sur l'utilisation de régressions linéaires simples et multiples. Cependant, cette étude a révélé des difficultés. En effet, la méthode de calcul du nombre de géniteurs proposée demande un certain temps d'analyse, les résultats sont peu précis et il est difficile de fournir une explication biologique aux modèles utilisés.

Il s'agit maintenant de réaliser le suivi pour la saison 2017 en utilisant le protocole mis en place en 2014 et d'essayer de pallier aux problèmes mis en évidence dans le calcul du nombre de géniteurs d'aloses. Pour cela, la méthode de régression PLS (Partial Least Square) a été utilisée ainsi que des régressions linéaires simples. Les résultats obtenus ont ensuite été comparés à ceux des années antérieures notamment grâce à des analyses en composantes principales. Parallèlement à cette estimation, la survie des œufs et des larves durant la période de reproduction a été évaluée. Elle permet de pondérer les résultats du nombre de géniteurs.

La recherche du front de migration a aussi été effectuée afin d'évaluer l'état de la continuité écologique de la Charente. En effet, le front de migration correspond à l'endroit le plus en amont du bassin où les aloses ont migré. Il permet d'estimer chaque année la franchissabilité des obstacles pour l'alose.

Matériels et méthodes

1. Les aloses

1.1. Systématique

Les Aloses appartiennent à l'ordre des Clupéiformes et à la famille des clupéidés. Cette dernière comprend 181 espèces pour 56 genres, parmi lesquelles des espèces marines très connues avec un fort intérêt économique telles que la Sardine (*Sardina pilchardus*), le Hareng (*Clupea harengus*) ou encore le Sprat (*Sprattus sprattus*). Le genre *Alosa* fait partie de l'une des quatre sous-familles, celle des Alisinae.

Ce genre est caractérisé par une échancrure médiane sur la mâchoire supérieure, 8 rayons au niveau des nageoires pelviennes et un recouvrement des branchiospines inférieures et supérieures entre elles dans l'axe médian de l'arc branchial. Trois groupes apparaissent si l'on considère la répartition originelle des aloses (Baglinière et Elie, 2000) : un groupe Atlantique-Ouest qui comprend six espèces ; un groupe pontocaspéen qui comporte 7 espèces appelées caspialoses ; enfin un groupe Atlantique-Est et Méditerranée ne comprenant que deux espèces *Alosa alosa*, la grande alose et *Alosa falax*, l'Alose feinte.

1.2. Morphologie et régime alimentaire

Les Aloses ont un corps fusiforme et légèrement comprimé latéralement (Figure 1). La grande Alose possède une tache noire à l'arrière de l'opercule tandis que l'Alose feinte possède une rangée de plusieurs taches. Leur dos arrondi est gris bleuté, leurs flancs sont argentés et leur ventre est blanc. Elles possèdent une nageoire dorsale très échancrée et une mâchoire large.

Malgré leur ressemblance, l'Alose feinte se distingue de la grande Alose par plusieurs caractéristiques. Elle possède un corps plus allongé, une taille inférieure ainsi qu'une tête plus étroite et moins latéralement comprimée (Figure 1). Le critère majeur de distinction entre grande Alose et Alose feinte est le nombre de branchiospines sur le premier arc branchial. En effet, à taille égale, le nombre de branchiospines des grandes Aloses est supérieur à celui des Aloses feintes (Taverny, 1991 ; Véron et al., 2001). À taille adulte, ce nombre est supérieur à 90 pour la grande Alose et inférieur à 60 pour l'Alose feinte (Quignard et Douchement, 1991).

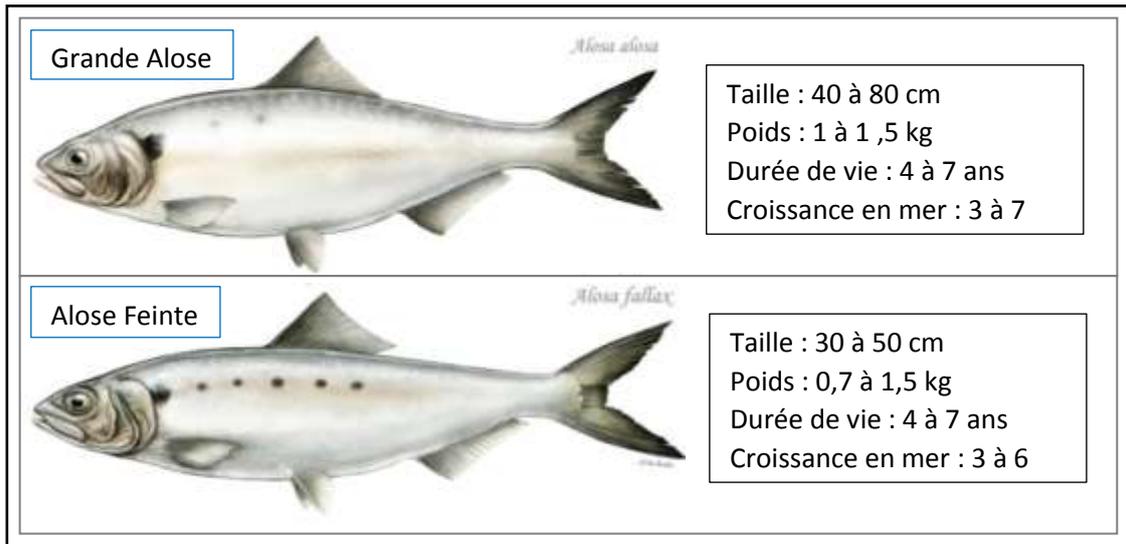


Figure 1 : Morphologie et caractéristiques de la grande alose et de l'aloise feinte (Illustrations : Florence DELLERIE).

En eau douce, les larves d'insectes aquatiques constituent la nourriture principale des juvéniles (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981). Le régime alimentaire des deux espèces est particulièrement distinct chez les subadultes et les adultes : la **grande Alose** est planctonophage, alors que l'**Alose feinte** est plus piscivore (Taverny et Elie, 2001). La morphologie des branchiospines sur le premier arc branchial des individus des deux espèces explique essentiellement ces différences. Après leur croissance en mer, les aloses arrêtent de s'alimenter lors de leur migration en eaux douces.

1.3. Répartition géographique

Autrefois, la **grande Alose** était présente en Méditerranée occidentale (Figure 2), mais aussi le long de la côte Atlantique, de la Norvège au sud du Maroc. Aujourd'hui, son aire de répartition a bien diminué puisqu'elle n'est présente seulement de la Loire au Portugal et est totalement absente de la Méditerranée (Baglinière et Elie, 2000 ; Baglinière et *al.*, 2003).

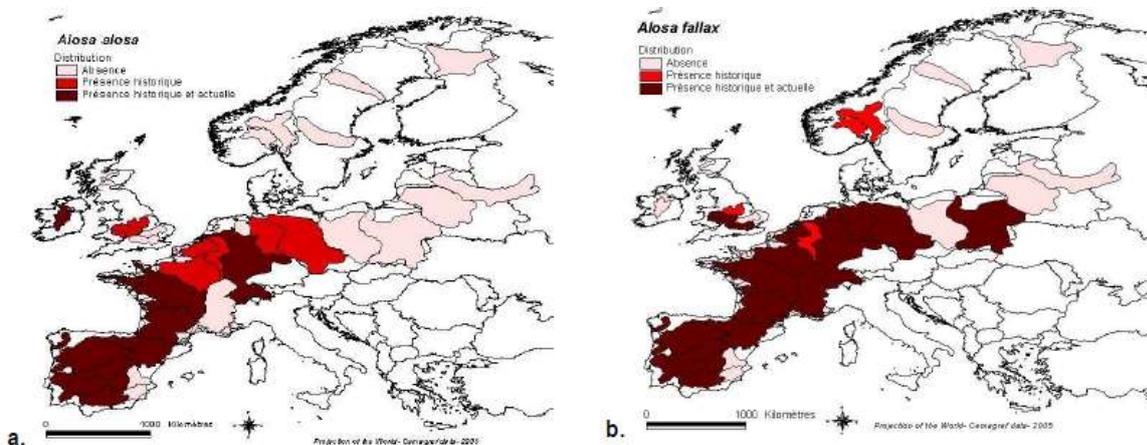


Figure 2 : Distribution (absence, présence historique et présence actuelle) de la grande alose (a) et de l'aloise feinte (b) en Europe de l'Ouest (Source : Lochet, 2006).

L’Alose feinte, quant à elle, a subi des dommages moins importants que la grande Alose du fait de sa meilleure plasticité écologique et de son caractère moins anadrome. Autrefois présente de l’Islande jusqu’au sud du Maroc et s’étalant jusqu’à la Scandinavie et la mer Baltique, elle est actuellement toujours présente depuis l’Elbe, le Rhin, les îles Britanniques jusqu’au Maroc (Baglinière et Elie, 2000). Une régression des populations a néanmoins pu être observée en raison de divers facteurs anthropiques (la pêche, la pollution, la dégradation de l’habitat, la restriction des voies de migrations avec notamment l’édification de barrages) (Figure 2).

1.4. Cycles biologiques

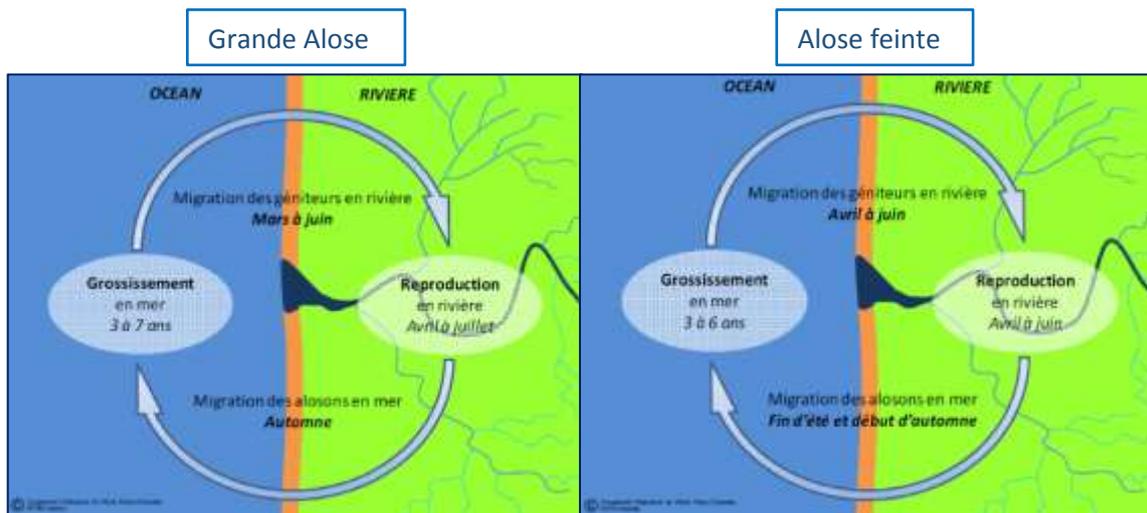


Figure 3 : Cycles biologiques de l’alose feinte et de la grande alose (Source : Groupement des fédérations de pêche du Poitou Charente et EPTB Charente).

L’Alose feinte et la grande Alose sont des espèces amphihalines, la reproduction s’effectue en rivière alors que le grossissement a lieu en mer. Cependant, quelques faibles différences existent entre ces deux espèces comme la durée du grossissement ou encore la période de reproduction (Figure 3).

1.5. La reproduction

La période de reproduction des Aloses s’étend d’avril à juillet (Figure 3). Les frayères des deux espèces sont caractérisées par une plage de substrat grossier délimitée en amont par un profond et en aval par une zone peu profonde à courant rapide avec une qualité d’eau convenable (Soulard et *al.*, 2010).

La **grande Alose** fraie en eau douce, en amont des zones sous influence de la marée dynamique (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981 ; Belaud et *al.*, 2001). Les frayères d’**Alose feinte** sont situées en eau douce ou en limite de marée dynamique (Taverny, 1991).

Du fait de la proximité des lieux de pontes de ces deux espèces, des chevauchements de site de fraie peuvent être observés, cela engendre dans certains cas des hybrides fertiles (Mennesson-Boisneau et Boisneau, 1990).



Figure 4 : Le bull, acte de reproduction caractéristique des aloses (Source : MRM).

L'activité de ponte se déroule la nuit, elle débute vers 23h et se termine aux environs de 5h. Les couples formés montent à la surface, le mâle et la femelle, flanc contre flanc, exécutent des déplacements circulaires tout en frappant violemment la surface de l'eau (Figure 4) durant 2 à 8 secondes à l'aide de leur nageoire caudale. Les produits génitaux sont libérés et la fécondation a lieu dans le tourbillon créé pendant cette phase appelée « Bull » (Soulard et *al.*, 2010). Le fait que les poissons frappent la surface de l'eau avec leur nageoire caudale rend le bull audible et facilement reconnaissable. Ces « Bulls » permettent de déterminer la présence d'aloses sur un site, mais aussi dans certains cas d'estimer le nombre de géniteurs présents sur une frayère. Cette méthode sera utilisée dans cette étude et sera détaillée ultérieurement.

Durant la nuit, les aloses fraient de manière peu importante en début de nuit puis progressivement le nombre de bulls augmente jusqu'à atteindre un pic aux alentours de 1h puis ce nombre diminue progressivement jusqu'à la fin de la nuit. La reproduction des aloses durant la nuit suit une courbe polynomiale (en cloche) (Baglinière et Elie, 2000). En fin de saison de reproduction, la forte altération des muscles et une faible teneur en lipides et protéines des muscles, du foie et des gonades constatées engendrent une mortalité importante des géniteurs (Baglinière et Elie, 2000).

1.6. Intérêt économique, scientifique, écologique et patrimonial

Seule l'Alose feinte constitue un intérêt économique pour le bassin de la Charente. En effet, elle est exploitée par la pêche professionnelle et la pêche sportive. Ce n'est pas le cas de la grande Alose puisqu'un moratoire a été mis en place en 2009 sur cette espèce en rivière. Les Aloses possèdent aussi un intérêt scientifique puisqu'elles sont un matériel intéressant pour l'étude de la biologie évolutive (phénomènes de spéciation et d'hybridation). Enfin, elles possèdent un intérêt écologique puisqu'elles sont très sensibles aux obstacles (une capacité de nage relativement faible et un comportement de saut inexistant). La présence de l'Alose sur l'intégralité d'un bassin est garante de sa libre circulation pour les poissons.

1.7. Problèmes rencontrés par les Aloses sur le bassin de la Charente

La pêche professionnelle et de loisir est une pression s'exerçant seulement sur la population d'Alose feinte de la Charente (moratoire sur la grande Alose). Une très forte variabilité des captures est observée selon les années (PLAGEPOMI, 2015).

L'altération physique du milieu (le recalibrage, la protection contre les crues, les aménagements, le curage) modifie les caractéristiques naturelles de la Charente. Ces changements affectent les deux espèces d'Alose lors de leurs migrations et de leur reproduction avec la destruction de frayères par enlèvement et remaniement de support (granulométrie), par la mise en suspension de fines particules ou encore par la modification des écoulements par la présence de barrages.

En effet, la Charente est caractérisée par la présence d'un grand nombre de barrages qui altèrent la libre circulation de la faune et donc la migration des Aloses. Une expertise de la franchissabilité des ouvrages a été réalisée lors de l'étude des potentialités de 2003. Actuellement, dans la majorité des cas, les géniteurs d'Aloses ne choisissent pas leurs sites de fraie, mais colonisent ceux auxquels ils ont accès. L'existence de site forcé pour la reproduction a pour conséquence de regrouper les zones de fraie des deux espèces d'Aloses ce qui est à l'origine du phénomène d'hybridation observé dans certaines populations. Les ouvrages peuvent également retarder la montaison des adultes et contribuer à leur épuisement, provoquant une mortalité supplémentaire à celle déjà constatée suite à la reproduction.

Les pollutions diffuses d'origines variées présentes sur le bassin de la Charente affectent la qualité des eaux de surfaces et des eaux souterraines. Certaines substances phytosanitaires peuvent être nocives pour la faune et la flore aquatique.

En période d'étiage, les écoulements de la Charente sont très perturbés. La baisse du niveau des cours d'eau entraîne des écoulements très faibles, voire nuls (assecs) et une concentration de polluants. Ces étiages ont un impact important sur la faune piscicole et les poissons migrateurs. En effet, il s'agit d'un élément influençant la qualité de leur habitat et leur capacité de migration. De l'évolution du débit dépend la survie de l'espèce ou sa présence sur le bassin.

1.8. Moyens mis en œuvre pour la conservation des Aloses sur la Charente.

De 2000 à 2003, l'EPTB Charente a porté une étude sur les potentialités piscicoles, réalisée par le bureau d'études Hydro Concept. Lors de celle-ci la capacité de la Charente à accueillir une grande diversité d'espèces et à leur offrir un milieu quantitativement et qualitativement riche a été évaluée. Elle a révélé que 60% du linéaire présente des conditions d'accueil acceptables à optimales pour les poissons grands migrateurs. Cependant la capacité d'accueil est liée à la libre circulation des espèces. Or sur le bassin de la Charente, les migrations sont très fortement perturbées par l'effet cumulatif des obstacles. En effet, l'étude des potentialités piscicoles recense 502 sites de moulins ou ouvrages hydrauliques sur la Charente, la Seudre et les principaux affluents.

C'est dans ce contexte qu'a été créée en 2009 la Cellule Migrateurs qui a mis en place un premier programme d'actions (2009-2011). Ce programme est articulé autour de trois thématiques : continuité écologique, connaissance de l'état des populations des poissons migrateurs et actions de communication. Un suivi des populations d'Aloses sur la Charente a alors débuté.

Pour cela différentes méthodes ont été utilisées. Le front de migration, qui est le lieu le plus en amont de la Charente où les Aloses sont retrouvées, semble être une donnée importante à connaître annuellement. En effet, il s'agit d'un indicateur de l'état de la continuité écologique de la Charente. Pour cela, des écoutes de bulls d'Aloses sont effectuées sur le terrain de nuit sur une trentaine de frayères connues. Des recherches de cadavres d'aloses, post-reproduction, sont régulièrement effectuées de jour le long de la Charente : il s'agit d'un bon indicateur de présence.

Il est aussi important de pouvoir évaluer le nombre d'Aloses présentes sur le bassin de la Charente annuellement. Le nombre d'aloses présentes en amont de Cognac est déterminé exhaustivement grâce à la station de comptage de Crouin (cf. partie 2.2) où il est possible de connaître la proportion d'Aloses feintes et de grandes Aloses. En ce qui concerne l'aval de Cognac, les trois frayères principales (cf. partie 2.3) sont suivies et permettent de faire une estimation du nombre de géniteurs. Il n'est cependant pas possible pour l'instant de différencier l'aire de répartition des deux espèces d'Aloses. En 2012 a eu lieu une première analyse des résultats des reproductions d'aloses (Tallerie, 2012). Cette étude a mis en avant la nécessité de réaliser des suivis plus approfondis des reproductions pour mettre en place une méthode d'estimation, fiable et robuste, du nombre de géniteurs. Suite à ces conclusions, une méthode basée sur la pose d'enregistreurs audionumériques en bordure des frayères a été utilisée afin de diminuer l'effort humain tout en augmentant l'effort d'échantillonnage.

En 2014, un protocole de suivi a été proposé (Brias, 2014) ainsi qu'une méthode d'estimation des géniteurs sans pouvoir distinguer les deux espèces d'Aloses. Durant l'année 2014, une caméra vidéo a pu être installée sur la frayère de La Baine afin de filmer en continu les bulls d'aloses. Cette dernière a permis d'augmenter de manière très importante l'effort d'échantillonnage tout en limitant l'effort humain. En 2017, il s'agit maintenant de réaliser le suivi de la population d'Aloses pour cette saison en suivant le protocole proposé en 2014.

2.2. La passe à poisson de Crouin

Sur le bassin de la Charente, le premier obstacle infranchissable rencontré par les poissons migrateurs lors de leur remontée était l'ouvrage de Crouin sur la commune de Merpins (Figure 6). Cet ouvrage a été aménagé d'une passe à poissons (passe à bassins) fonctionnelle début janvier 2010 (Figure 7). Elle est équipée d'une station de contrôle permettant de comptabiliser les passages des différentes espèces de poissons empruntant le dispositif.



Figure 6 : Emplacement sur la Charente du barrage de Crouin.

Le contrôle des migrations s'effectue par comptage vidéo via l'installation d'une chambre de comptage (Figure 7) aménagée en amont de la passe afin de visionner et d'enregistrer les passages de poissons (installation spéciale de deux vitres et d'un système de rétroéclairage). Cette station de comptage représente un outil essentiel pour évaluer et caractériser les stocks de poissons migrants sur le bassin de la Charente et estimer les résultats des mesures mises en place pour le retour des poissons grands migrateurs. En effet, cette passe à poisson permet de connaître le nombre exact d'Aloses ayant migré en amont du barrage de Crouin.



Figure 7 : Photos de la passe à bassin et du local de comptage de Crouin (Source : F. ALBERT)

2.3. Les frayères étudiées

Afin d'évaluer le nombre de géniteurs présents en aval du barrage de Crouin, les frayères principales d'Aloses sur la Charente sont suivies. Une quarantaine de frayères ont été prospectées sur la Charente et ces affluents (Figure 8) en 2017. Elles ont aussi été retenues en prenant en compte leur accessibilité et la possibilité d'entendre sans trop de difficultés les bulls. Les trois frayères principales (environ 50% de l'activité totale, Annexe 1) sont suivies plus régulièrement et font l'objet d'une estimation du nombre de géniteurs. Il s'agit des frayères de Taillebourg, La Baine et Crouin (Figure 8).



Figure 8 : Représentation graphique de l'emplacement des différentes frayères de la Charente.

3. Évaluation du nombre de géniteurs sur trois frayères

3.1. Suivi audio

3.1.1. Pose d'enregistreurs audionumériques

Les bulls réalisés par les Aloses lors de la reproduction sont sonores, ils peuvent donc être facilement enregistrés par un micro. Trois dispositifs d'enregistrement ont été utilisés. Ils sont composés d'un enregistreur Olympus qui est placé à l'intérieur d'une boîte hermétique, relié à un microphone Olympus qui est lui-même placé au centre d'une parabole (Figure 9). Ces kits ont été utilisés pour les frayères de Taillebourg, la Baine et Crouin ; en effet d'après les résultats des années précédentes il s'agit de frayères très actives (environ 50% de l'activité à elles seules, Annexe 1) et susceptibles d'accueillir des enregistreurs (facilité d'accès et relativement peu de bruits parasites).



Figure 9 : Enregistreur audionumérique sur le site de Taillebourg (Source personnelle).

Les enregistreurs sont placés en fin d'après-midi directement au bord de la Charente (le plus proche possible des frayères) et sont récupérés le lendemain matin. Au total, 14 poses ont été effectuées sur chaque frayère en 2017 (une à deux poses par semaine).

3.2. Dépouillements des enregistrements

Les enregistrements ainsi obtenus sont ensuite écoutés grâce au logiciel Audacity. Ce logiciel permet de visualiser la bande sonore et donc de localiser plus facilement les bulls d'aloses. En effet, ils ont une forme d'onde particulière sur la bande sonore (Figure 10).

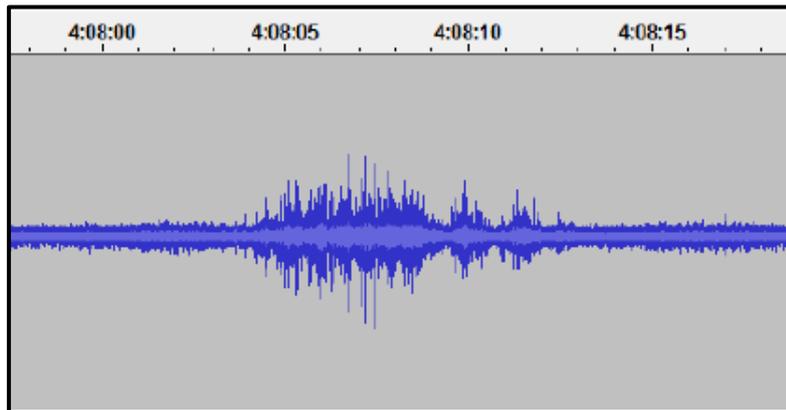


Figure 10 : Aperçu de la présence d'un bull sur le logiciel Audacity.

Les enregistrements ne sont pas entièrement écoutés. Les écoutes se font de 23h à 4h45 du matin (période où l'activité des Aloses est la plus importante) à raison d'un quart d'heure sur deux dépouillés. Cette méthode a été approuvée en 2014, elle permet d'obtenir le nombre total de bulls dans la nuit tout en limitant le temps d'écoute. Finalement, douze quarts d'heure sont dépouillés par nuit (seize en cas de calibration) ce qui fait environ trois heures d'écoute par nuit pour chaque site de pose (soit environ 168 heures d'écoute effectuées par moi-même pour l'année 2017, Annexe 2 et Annexe 3). J'ai réalisé toute les écoutes du suivi de l'année 2017 et une partie de celles de 2016.

3.3. Suivi nocturne

En plus de la pose des enregistreurs, des suivis terrain de nuit ont été réalisés sur ces trois frayères (Taillebourg, La Baine et Crouin). En effet, les enregistrements ne permettent pas d'entendre la totalité des bulls présents sur une frayère. Certains bulls sont trop éloignés du dispositif et ne sont donc pas audibles lors des écoutes. Ces sorties de nuit permettent de quantifier le pourcentage de bulls recueilli par les appareils par rapport au nombre de bulls réellement entendu par l'oreille humaine sur le terrain (Figure 11).



Figure 11 : Photo prise de nuit lors d'un suivi nocturne de la reproduction des aloses (Source personnelle).

3.4. Acquisition des variables environnementales

Les frayères n'étant pas suivies tous les jours, une extrapolation des nuits manquantes sera réalisée dans l'analyse des données. Pour cela, différents modèles biologiques comprenant des variables environnementales vont être testés. En effet, les variables environnementales peuvent influencer ou être corrélées à l'activité de reproduction des Aloses. La température de l'eau et le débit sont généralement considérés comme des facteurs prépondérants initiant la reproduction (Baglinière et Elie, 2000).

Une sonde thermique placée à l'intérieur de la passe à poissons de Crouin mesure la température de l'eau toutes les heures. Une moyenne journalière est ensuite calculée. L'activité de reproduction serait optimale pour des températures comprises entre 12 et 19°C pour la grande Alose (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981) et entre 18 et 22°C pour l'Alose feinte.

Le débit est mesuré tous les jours au niveau de la station de Beillant. La reproduction s'arrêterait en période de crue avec un débit supérieur à 2,5 m³/s (Baglinière, 2000). L'augmentation du débit aurait donc une influence négative sur la reproduction. Pour la régression linéaire, le taux d'accroissement du débit a donc été calculé.

La luminosité de la Lune a également été prise en compte en fonction du pourcentage de visibilité. Une pleine Lune correspond à 100% de visibilité contre 0% pour une nouvelle Lune, une luminosité excessive pouvant défavoriser la reproduction des poissons (Puivif, 2012).

Les coefficients de marée sont calculés par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. De gros coefficients pourraient permettre à plus de poissons d'entrer dans l'estuaire. Le site de Taillebourg est directement impacté par les marées. L'influence de la marée peut se faire ressentir jusqu'à Crouin (≈ 100 km de l'océan).

3.5. Traitement des données

3.5.1. Extrapolation des nuits manquantes

Afin d'estimer le nombre de bulls des nuits pour lesquelles les données étaient inexistantes nous disposons de plusieurs variables environnementales pouvant influencer ou être corrélées à l'activité de reproduction.

En plus de ces variables environnementales, un indice temporel (Temps) a aussi été utilisé en tant que variable explicative. Pour construire cet indice, le premier jour du suivi a été associé au nombre 1 et ainsi de suite de manière croissante jusqu'à la fin du suivi. Le nombre d'Aloses ayant franchi la passe à poisson de Crouin a aussi été utilisé comme variable explicative (Pàp).

La première étape consiste à transformer les variables explicatives dépendantes de manière non linéaire à l'activité de reproduction. Par exemple la température de l'eau (Teau) va faire office d'activateur de la reproduction. Mais lorsque des températures trop hautes seront atteintes, elle va avoir un effet inhibiteur. Dans ce cas-là, l'ajustement d'une droite n'aurait aucun sens et la corrélation serait très faible. Il faut donc ajuster une courbe de Gauss aux valeurs de température.

Premièrement, une transformation en logarithmes naturels est faite sur le nombre de bulls par nuit ($\ln(y)=x$). Puis une parabole est ajustée au nuage de points ($\ln(y)= a_2x^2 + a_1x+b$). En effet, « ajuster une parabole à des données d'abondances d'espèces logarithmiques revient à ajuster une courbe de Gauss sur les données brutes » (Borcard, 2000). Les coefficients a_2 , a_1 et b servent ensuite à construire la courbe de Gauss de la manière suivante.

$$Z_x = c \times e^{-0.5 \times (x-u)^2 / t^2}$$

Avec : $u = \text{optimum} = \frac{-a_1}{2a_2}$

$c = \text{sommet de la courbe} = e^{-(a_2u^2 + a_1u + b)}$

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

x = la valeur de la variable à ajuster

Deux variables sont concernées : la température de l'eau et l'indice temporel. En effet les aloses sont plus actives durant les mois de mai et juin que lors des mois d'avril et juillet.

En 2014, différents modèles de régression multiple ont été testés en utilisant la fonction « lm » (Linear Model) du logiciel R afin d'obtenir le nombre de bulls pour les nuits qui n'ont pas été échantillonnées. Le choix du modèle le plus adapté a été réalisé grâce à la comparaison des Critères d'Informations d'Akaike corrigés (AICc), le plus faible représentant le meilleur modèle. Cette année-là, un problème de multicolinéarité entre les variables a été soulevé. Lorsqu'il existe une relation linéaire entre deux ou plusieurs variables, une équation de régression devient insoluble (Bourmont, 2012).

La méthode de sélection de modèles grâce à l'AICc peut pallier au problème de multicolinéarité dans une certaine mesure. Cependant, elle s'est avérée demander un certain temps dans l'analyse des données. De plus, les résultats obtenus étaient peu précis et surtout il était difficile de fournir une explication biologique sur le rôle réel des paramètres utilisés dans les modèles. En effet, les variables les plus fortement corrélées au nombre de bulls n'étaient pas forcément toutes présentes dans les modèles et certaines qui n'étaient pas corrélées étaient présentes. Ce problème est certainement dû à la multicolinéarité qu'il existe entre les variables.

En 2017, cette multicolinéarité des variables a été mise en évidence grâce à une matrice des corrélations entre les variables ainsi que l'indice VIF (Variance Inflation Factors). Un problème de multicolinéarité est relevé dès lors qu'un VIF présente une valeur supérieure ou égale à 10 ou lorsque la moyenne des VIFs est supérieure à deux (De Bourmont, 2012).

La méthode de régression PLS (Partial Least Square) permet la construction d'un modèle prédictif en présence de multicolinéarité des variables tout en conservant l'intégralité des variables. C'est cette méthode qui a été utilisée en 2017. Elle propose de trouver de nouveaux facteurs qui joueront le même rôle que les variables explicatives initiales. Ces nouveaux facteurs sont appelés variables latentes ou composantes. Chaque composante est une combinaison linéaire des variables explicatives (Tenenhaus, 1998).

Cette méthode a été réalisée grâce au logiciel R en utilisant la fonction `pls()` du package `pls`. Le choix du nombre de composantes a été réalisé grâce à la validation croisée en utilisant le critère « leave-one-out ». Le nombre de composantes pour lesquelles la racine carrée de l'erreur quadratique (RMSEP) est la plus faible sera retenu (Annexe 4).

Afin de connaître le poids de chaque variable dans le modèle de régression, l'indice VIP (Variable Importance in the Prediction) sera utilisé. Les variables ayant un indice proche ou supérieur à 1 ont de l'importance dans le modèle de régression (Tenenhaus, 1998). Les coefficients de régression seront quant à eux obtenus grâce à la fonction `coef()`.

La fonction `predict()` sera ensuite utilisée afin d'obtenir une estimation du nombre de géniteurs pour toutes les nuits où les données étaient inexistantes. Il n'est pas possible avec cette méthode d'obtenir les prédictions pour l'intervalle de confiance à 95%. Une régression linéaire entre les valeurs observées et les valeurs prédites a été réalisée, l'intervalle de confiance ainsi obtenu a été utilisé comme intervalle de confiance 95%.

Afin de se rendre compte de la précision du modèle, une marge d'erreur relative est finalement calculée comme suit :

$$\text{Marge d'erreur relative} = \frac{\text{Moyenne Borne supérieur} - \text{Moyenne théorique}}{\text{Moyenne théorique}}$$

3.5.2. Calibration

Une régression linéaire a été effectuée, grâce au logiciel R, entre les actes de reproduction observés par les agents sur le terrain et les données recueillies par les enregistreurs. Il en ressort une équation de la droite de régression ($y=ax+b$) avec en plus, des équations des bornes supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance à 95%. Ensuite, on applique ces formules aux résultats de l'extrapolation des nuits manquantes. Une marge d'erreur relative est calculée afin d'évaluer la précision des résultats.

3.5.3. Interpolation des quarts d'heure manquants

Les écoutes des enregistrements sont effectuées un quart d'heure sur deux de 23h à 4h45. Afin d'estimer le nombre total de bulls dans la nuit, les quarts d'heure écoutés vont être extrapolés aux quarts d'heure manquants. Le fait que le nombre de bulls dans une nuit augmente progressivement jusqu'à atteindre un pic puis diminue tout aussi progressivement permet d'ajuster à ces valeurs une courbe polynomiale.

Les courbes polynomiales de différents degrés ont été testées sur le logiciel R à l'aide de la fonction $\text{lm}()$. Afin de choisir la meilleure courbe, on compare leur Critère d'Informations d'Akaike corrigé (AICc), le plus faible représentant le meilleur modèle. Il se calcule de la manière suivante :

$$AIC = \ln(MSE) + 2k$$

$$AIC_{\text{corrigé}} = AIC + \frac{2k \times (k+1)}{n-k-1}$$

Avec $MSE = \text{carré moyen des erreurs} = \frac{SSE}{n} = \sum_t^2 (y_t - T_t)^2$ et k = nombre de paramètres.

Lorsque l'équation de régression est choisie, il est possible d'obtenir une estimation du nombre de bulls présent lors des quarts d'heure manquants ainsi qu'une estimation du nombre de bulls associée à l'intervalle de confiance à 95%. Afin d'ajouter l'extrapolation des quarts d'heure manquants à l'estimation obtenue après l'extrapolation des nuits manquantes et l'ajustement de la calibration, il est indispensable d'utiliser un coefficient multiplicateur pour chacune des trois frayères. Ce coefficient a été obtenu en divisant l'estimation totale de tous les quarts d'heure par les observations faites un quart d'heure sur deux. La même opération est réalisée avec l'estimation des bornes de l'intervalle de confiance à 95%. Les coefficients multiplicateurs ainsi obtenus seront multipliés à l'estimation précédemment obtenue après l'ajustement des résultats grâce à la calibration.

3.5.4. Calcul du nombre de géniteurs

Le nombre de géniteurs est estimé à partir du nombre de bulls comptabilisé en utilisant plusieurs hypothèses basées sur le fractionnement de la ponte des aloses en relation avec la maturation progressive des ovocytes dans le temps (Taverny, 1991). Les hypothèses de calcul utilisées sont :

- ❖ Les géniteurs ne se reproduisent que sur une seule frayère,
- ❖ Un bull donne lieu à une ponte
- ❖ À un bull correspond une seule femelle et un mâle,
- ❖ Une femelle pond 5 à 7 fois au cours d'une saison de reproduction.

Cependant, les auteurs ne s'accordent pas sur le dernier point en émettant l'hypothèse qu'une femelle pond en moyenne 10 fois au cours d'une saison de reproduction (Chanseau, 2006). Selon les conclusions du travail de Tallerie en 2012 et afin d'être cohérent avec les indicateurs du PLAGEPOMI Garonne-Dordogne-Charente-Seudre-Leyre ainsi qu'avec les résultats de Brias en 2014, l'estimation du nombre de géniteurs pour l'année 2017 sur la Charente sera faite selon la méthode de MiGaDo (Migrateurs Garonne Dordogne) avec 10 pontes par femelle.

Le nombre de géniteurs est finalement calculé d'après la formule :

$$\text{Géniteurs sur le site} = \frac{\text{Nombre de bulls total}}{\text{Nombre de pontes}} \times 2$$

Le calcul du nombre de géniteurs a été effectué en 2016 et 2017 grâce à ces différentes méthodes durant le stage. Cependant seuls les résultats obtenus pour l'année 2017 seront détaillés dans la partie résultats et discussion.

3.5.5. Comparaison avec les données antérieures

Dans un premier temps, les efforts d'échantillonnage ont été comparés entre les différentes années de suivis grâce à un tableau réalisé sur Excel. Puis, les estimations du nombre de géniteurs sur les trois frayères les plus importantes de la Charente ont été comparées entre les différentes années de suivi à l'aide d'un diagramme en barre réalisé sur le logiciel Excel. Enfin, une analyse multivariée des différentes variables et des trois années où le suivi a été le plus conséquent a été réalisée en utilisant une analyse en composantes principales effectuées grâce au package FactoMineR du logiciel R.

4. Survie des œufs et des larves.

Après avoir estimé le nombre de géniteurs d'aloses présent sur les trois frayères les plus importantes de la Charente, la survie des œufs et des larves peut être un facteur intéressant à observer. En effet, le recrutement une année donnée dépend évidemment du nombre de géniteurs présent sur une frayère, mais il dépend aussi de la survie des œufs et des larves. Un grand nombre de géniteurs associé à une faible survie des œufs et des larves donnera finalement un recrutement moyen.

Afin d'estimer la survie des œufs et des larves, la température journalière disponible durant la période de reproduction et de développement des œufs et de larves a été utilisée (du 1er avril au 31 août). Nous disposons des températures à Crouin depuis mars 2010. Pour l'année 2016, suite à une défaillance de la sonde enregistreuse de Crouin, nous avons utilisé la sonde disposée à Châteauneuf-sur-Charente à 40 km en amont de Crouin. D'après les travaux de Jatteau et Charles (2010), des seuils minimaux et maximaux ont été définis. On prendra les plages de températures pour lesquelles la survie des œufs et des larves est supérieure à 80% (Tableau 1).

Tableau 1 : Plages de températures sans impact majeur (survie > 90% et >80%) pour les œufs et les larves d'aloses (d'après Charles et Jatteau, 2010).

Stades aloses	Plage de température pour survie >90% (°C)	Plage de température pour survie à 80% (°C)
Œufs	17,5 à 23,5 °C	15,5 à 25 °C
Larves	13,5 à 25 °C	11,5 à 27°C

Grâce aux données de températures de l'eau enregistrées à Crouin en 2017, le nombre de jours durant lesquels les plages de températures optimales pour les œufs et les larves d'aloses ont été dépassées a pu être obtenu sur la période du 1er avril au 31 août. Le seuil qui a été choisi est une amplitude entraînant des mortalités supérieures à 20%, soit une survie inférieure à 80%.

5. Suivi linéaire

En plus des trois principales frayères que sont Taillebourg, La Baine et Crouin, de nombreux suivis linéaires ont été effectués sur d'autres frayères afin de voir leur activité (Figure 12). Le principe est de rester deux fois quinze minutes sur chaque site. Afin de faciliter l'analyse des résultats, chaque quart d'heure de comptage doit être un quart d'heure plein (xxh00, xxh15, xxh30, xxh45). En restant ainsi 30 minutes sur chaque site, il a été possible de prospecter entre cinq à six sites par nuit et par équipe. Une fiche terrain est remplie pour chaque site. Le nombre de bulls, l'heure d'écoute, la température de l'eau et de l'air ainsi que d'éventuelles remarques (bruits parasites...) sont précisés.



Figure 12 : Frayères prospectées en suivi linéaire.

Au total huit sorties de ce type ont été effectuées cette saison. Les comptages pour la calibration des sites de Taillebourg, La Baine et Crouin ont été faits au cours de ces sorties. La Fédération de Pêche et le service départemental de l'Agence Française pour la Biodiversité de Charente Maritime ont participé à ces suivis linéaires.

6. Recherche du front de migration

La recherche du front de migration des Aloses sur un bassin versant est révélatrice de l'état de la continuité écologique de ce bassin. En effet, l'Alose est une espèce migratrice qui est très sensible aux obstacles puisqu'elle possède une capacité de nage relativement faible et un comportement de saut inexistant. La comparaison de ce critère d'années en années permet de constater l'efficacité des différents aménagements effectués. Deux types de suivis différents du front de migration sont réalisés : un suivi diurne et un suivi nocturne.

6.1. Suivi diurne

Le suivi diurne s'effectue principalement en pied de barrage afin de voir des bancs d'aloses essayer de franchir des ouvrages. Lors de ces journées de prospection, une recherche de cadavres est également effectuée. Les cadavres d'aloses indiquent, en effet, que les poissons ont réussi au minimum à remonter la rivière jusqu'au point d'observation du cadavre. Ils sont en général retrouvés en bordure de rives, ou bloqués dans les grilles en amont des ouvrages. Ils constituent des indices de présence importants et peuvent aussi servir à des analyses génétiques ou autre. Une fiche de saisie est remplie à chaque sortie terrain. Différentes conditions environnementales sont indiquées (température de l'eau, météo,

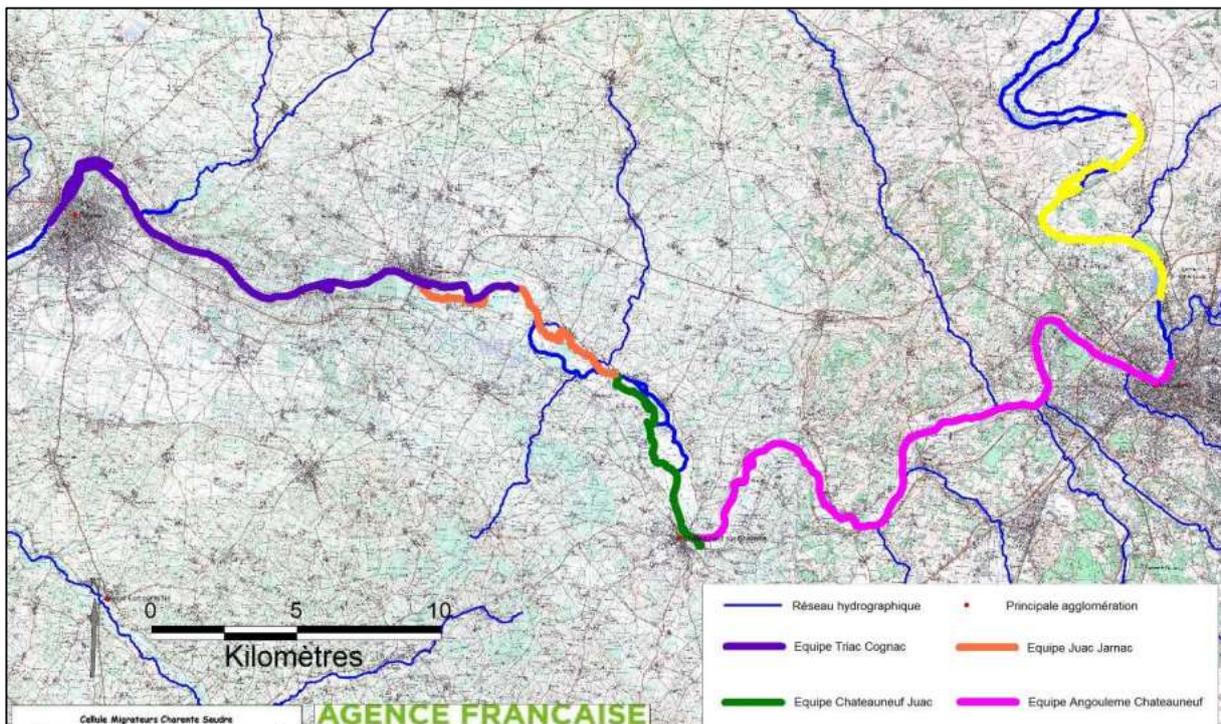


Figure 13 : Cartographie de la prospection réalisée le 8 juin 2017 pour 6 personnes de l'AFB 16 et 6 personnes de la Cellule Migrateurs.

turbidité), ainsi que la localisation précise des poissons observés et prélevés quand c'est possible.

Sept prospections ont été réalisées, sur un total de 28 sites différents (18 sur la Charente, 1 sur le Né, 5 sur la Boutonne, 3 sur la Rûtelière, et 1 sur l'Escambouille). Deux journées de prospection nautique ont été réalisées sur la Charente. La première a été effectuée par 5 embarcations (3 canoés et 2 embarcations motrices) de Coursac à Cognac pour un total de 87 km (Figure 13). Ce suivi a été réalisé avec l'aide des services départementaux de l'Agence Française pour la Biodiversité de la Charente. La seconde a été réalisée par deux personnes des services départementaux de l'Agence Française pour la Biodiversité de la Charente Maritime dans un secteur situé plus en aval que la première prospection nautique.

6.1. Suivi nocturne

Un autre moyen permettant de déterminer le front de migration des Aloses est de faire des suivis nocturnes de la reproduction sur une multitude de petites frayères. Le principe est de rester deux fois quinze minutes sur chaque site. En restant ainsi 30 minutes sur chaque site, il a été possible de prospecter entre cinq à six sites par nuit et par équipe de deux personnes. Une fiche terrain est remplie pour chaque site. Le nombre de bulls, l'heure d'écoute, la température de l'eau et de l'air ainsi que d'éventuelles remarques (bruits parasites...) sont précisés.



Figure 14 : Frayères prospectées en suivi de migration nocturne.

Au total 11 sorties de ce type ont été effectués cette saison. La Fédération de Pêche de Charente ainsi que le service départemental de l'Agence Française pour la Biodiversité Charente ont participé à ces suivis nocturnes. Des enregistreurs audio, les mêmes que ceux utilisés sur les sites de Crouin et Taillebourg, ont également été utilisé cette saison.

Résultats et discussion

1. Résultats bruts pour la saison 2017

Le nombre de nuits échantillonnées (Annexe 5) est très proche entre les sites, 14 pour les frayères de Taillebourg et La Baine et 13 pour celle de Crouin (Tableau 2). En effet, les enregistreurs audionumériques ont été posés les mêmes nuits sur les trois sites. Seulement 13 nuits ont pu être écoutées à Crouin puisque nous avons été victimes d'un vol de matériel sur la frayère durant la nuit du 1 au 2 juin 2017.

Tableau 2 : Nombre de nuits effectué et nombre total de bulls obtenu pour chaque site associé à un nombre moyen de bulls et un coefficient de variation.

Site	Nombre de nuits	Nombre total de bulls	Nombre de bulls moyen	Ecart-type	Coefficient de variation
La Baine	14	449	32	28	0,88
Crouin	13	590	45	54	1,20
Taillebourg	14	1121	80	75	0,94

La frayère où le nombre total de bulls entendu sur le terrain ou dans les enregistrements est le plus élevé est celle de Taillebourg (1121), et celle où ce nombre est le plus faible est La Baine (449). Il en est de même pour le nombre moyen de bulls ainsi que l'écart type. Cependant, le coefficient de variation est plus élevé pour le site de Crouin que pour les deux autres (Tableau 2). Cela met en évidence une plus grande variation de l'activité de reproduction pour cette frayère au cours de la saison. Le coefficient de variation de la Baine est le plus faible, en effet, le nombre de bulls sur cette frayère n'a pas augmenté de manière très importante en milieu de saison (Figure 15).

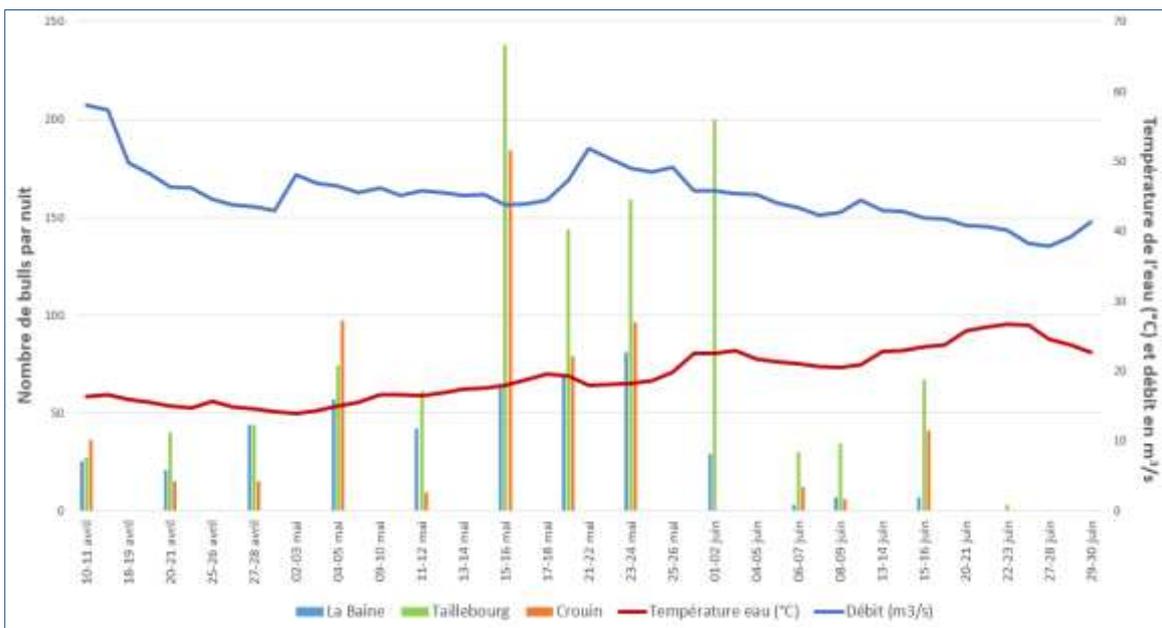


Figure 15 : Nombre de bulls par nuit pour les trois frayères ainsi que l'évolution de débit (m³/s) et de la température

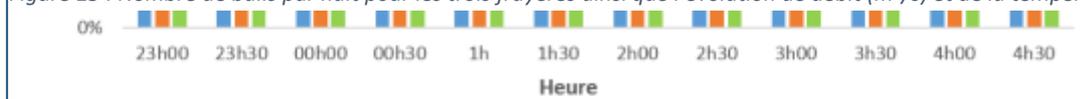


Figure 16 : Pourcentage d'activité par quart d'heure pour les trois frayères.

La Figure 15 met aussi en évidence que la reproduction de l'alose est la plus intense durant la période de début mai à mi-juin. La reproduction en fin de saison semble légèrement plus importante à Taillebourg que sur les deux autres sites.

L'évolution de l'activité de reproduction au cours de la nuit diffère entre les sites (Figure 16). Les aloses ont un pic d'activité plus précoce sur le site de Taillebourg, entre 00h30 et 1h00. Ce pic est présent respectivement sur les sites de Crouin et La Baine aux alentours 1h30 et 1h. Cela avait déjà été mis en évidence en 2014, il semblerait que cette tendance se confirme.

2. Estimation du nombre de géniteurs présent sur les frayères de Taillebourg, La Baine et Crouin

2.1. Extrapolation des nuits manquantes

Afin d'estimer le nombre de bulls total en 2017 et de pouvoir le comparer avec les autres années de suivi, une extrapolation doit être réalisée. En effet, elle permet d'estimer le nombre de bulls pour les nuits qui n'ont pas été suivies. Pour cela, différentes variables vont être utilisées : la température de l'eau à Crouin (Teau), l'indice temporel (Temps), le débit à Beillant (Débit), l'accroissement de la température et du débit (respectivement Diff_T et Diff_D), la

transformation gaussienne de la température et de l'indice temporel (respectivement gtemps et gTeau), la marée à Rochefort (Marée) et le pourcentage de visibilité de la lue (Lune).

2.1.1. Corrélations entre le nombre de bulls et les différentes variables environnementales.

La recherche de corrélations entre la variable à expliquer et les différentes variables explicatives permet de se faire une première idée des variables ayant un lien avec le nombre de bulls sur les différentes frayères. Le Tableau 3 présente les résultats obtenus pour les différentes variables sur chacun des sites.

Tableau 3 : Test de corrélation de spearman entre le nombre de bulls et les variables explicatives. Significativité : p-value <0.05=*, <0.01=**, <0.001=***. Pàp représente la passe à poisson, gtemps et gTeau la transformation gaussienne de l'indice temporel (Temps) et de la température (Teau) et Diff_T et Diif_T correspondent à la différence de température et de débit présente d'un jour à l'autre (t-t₁).

Site		Pàp	gtemps	gTeau	Temps	Teau	Débit	Diff_D	Diff_T	Lune	Marée
Crouin	Corrélation	0,72	0,58	0,62	-0,45	-0,42	0,49	0,57	0,50	0,044	-0,36
	Significativité	**	*	*				*			
La Baine	Corrélation	0,76	0,84	0,58	-0,57	-0,58	0,63	-0,18	0,20	0,018	0,11
	Significativité	**	***	*	*	*	*				
Taillebourg	Corrélation	0,67	0,8	-0,45	-0,24	-0,21	0,26	-0,21	0,30	0,01	-0,39
	Significativité	*	***								

Le Tableau 3 révèle que les variables les plus corrélées au nombre de bulls pour les frayères de Taillebourg et La Baine sont le nombre d'Aloses ayant franchi la passe à poissons (Pàp) et la transformation gaussienne de l'indice temporel (gtemps). Le nombre de bulls de la frayère de Crouin semble quant à lui corrélé le plus fortement à la variable « Pàp » et corrélé de manière relativement similaire à la transformation gaussienne de la température et de l'indice temporel (gtemps et gTeau) ainsi qu'à l'accroissement du débit (Diff_D). La variable « Lune » quant à elle ne semble pas avoir d'effet sur le nombre de bulls. Il est aussi important de vérifier la colinéarité entre les variables explicatives, en effet une multicolinéarité des variables dans le jeu de données peut entraîner des problèmes dans la réalisation d'une régression linéaire multiple.

2.1.2. Corrélations entre les variables environnementales

Tableau 4 : Corrélations de spearman entre les différentes variables pour le site de La Baine. Couleur vert clair > 0.70, vert > 0.80 et vert foncé > 0.90. La significativité des cases de couleur est <0.001.

La Baine	Temps	gtemps	Teau	gTeau	Diff_T	Pàp	Débit	Diff_D	Marée	Lune
Temps	1									
gtemps	-0,65	1								
Teau	0,87	-0,71	1							
gTeau	-0,88	0,69	-0,99	1						
Diff_T	-0,10	0,18	0,05	-0,04	1					
Pàp	-0,47	0,60	-0,28	0,30	0,39	1				
Débit	-0,88	0,59	-0,84	0,84	0,04	0,40	1			
Diff_D	0,25	-0,07	0,07	-0,10	-0,40	-0,27	-0,19	1		
Marée	-0,05	0,00	0,04	-0,06	0,08	0,07	-0,09	0,00	1	
Lune	-0,23	0,08	-0,14	0,15	0,15	0,20	0,24	-0,15	-0,25	1

Le Tableau 4 met en évidence un problème de multicollinéarité entre des variables au niveau de la frayère de La Baine, en effet certaines d'entre elles sont corrélées à plusieurs variables, comme le débit par exemple. Il en est de même pour les frayères de Taillebourg et de Crouin, les résultats obtenus sont présentés en Annexe 6. Le critère VIF (Variance Inflation Factors) qui est couramment utilisé pour détecter la présence de multicollinéarité entre des variables a ensuite été calculé, les résultats sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 5 : Calcul de l'indice VIF (Variance Inflation Factors) pour chacune des variables et chacun des sites. Couleur vert clair >10, vert >20 et vert foncé >30.

Site	gtemps	Temps	gTeau	Teau	Marée	Lune	Pàp	Débit	Diff_D	Diff_T
Crouin	13,5	16,0	36,2	20,4	4,6	6,7	17,1	29,5	14,9	21,4
La Baine	8,2	13,9	52,8	45,0	1,7	1,6	4,3	12,0	4,1	5,0
Taillebourg	5,7	20,2	29,1	10,8	4,8	8,3	20,6	20,8	15,7	24,5

Un problème de multicollinéarité est relevé dès lors qu'un VIF présente une valeur supérieure ou égale à 10, or les résultats précédents (Tableau 5) démontrent une multicollinéarité relativement importante pour les trois frayères. Ce problème est aussi présent lorsque la moyenne des VIFs est supérieure à deux. Cela est largement vérifié dans les résultats avec respectivement une moyenne de 18, 14.9 et 16.1 sur les frayères de Crouin, La Baine et Taillebourg.

Pour pallier à ce problème, il est possible de retirer du modèle les variables ayant un fort indice VIF. Cependant, il est difficile de choisir quelles variables conserver. En effet, même si certaines variables comme la température de l'eau et le débit sont logiquement corrélées négativement, elles ne reflètent pas le même effet biologique. J'ai donc fait le choix de conserver toutes les variables en leur donnant un poids différent dans la régression linéaire multiple en fonction de leur effet sur le nombre de bulls tout en palliant au problème de multicollinéarité des variables. Pour cela un modèle de régression PLS (Partial Least Square) a été utilisé.

2.1.3. Résultats de l'extrapolation grâce à la méthode PLS (Partial Least Square).

La méthode PLS permet de conserver toutes les variables dans le modèle de régression. Après avoir sélectionné le nombre de composantes permettant d'obtenir le modèle et donc

le nombre de composantes le plus adapté (Annexe 4), il est possible de connaître le poids de chaque variable dans la régression. Pour cela, l'indice VIP (Variable Importance in the Prediction) a été utilisé (Tableau 6).

Tableau 6 : Valeurs de l'indice VIP (Variable Importance in the Prediction) calculées à partir du modèle de régression PLS de chaque frayère. Couleur vert foncé >2, vert >1 et vert clair >0,8.

Site	Temps	gtemps	Teau	gTeau	Diff_T	Pàp	Débit	Diff_D	Marée	Lune
Crouin	0,61	1,76	0,11	0,84	0,02	2,29	0,20	0,05	0,54	0,47
La Baine	1,17	1,69	0,20	0,93	0,01	2,05	0,36	0,01	0,25	0,69
Taillebourg	0,18	2,77	0,02	0,86	0,01	1,19	0,06	0,01	0,35	0,16

Les variables ayant un indice proche ou supérieur à 1 ont de l'importance dans le modèle de régression. En ce qui concerne les frayères de Crouin et Taillebourg, la transformation gaussienne du temps (gtemps) et le nombre d'Aloses ayant franchi la passe à poissons (Pàp) sont les deux variables ayant le plus de poids dans le modèle de régression. En plus de ces deux variables, l'indice temporel a un poids important dans le modèle de régression de La Baine. La variable correspondant à la transformation gaussienne de la température de l'eau possède un poids proche de 1 dans le modèle de régression des trois frayères, elle a donc une importance relativement élevée dans les modèles.

Ces résultats sont en adéquation avec les résultats obtenus à partir de la corrélation du nombre de bulls et des variables explicatives (contrairement aux résultats obtenus en 2014). Les signes des coefficients de régression des variables présentées en Annexe 7 sont aussi en adéquation avec le signe des coefficients de corrélation obtenus précédemment. La méthode Partial Least Square (PLS) semble donc permettre de pallier au problème de multicollinéarité et de donner un poids et un coefficient de régression cohérent pour chaque variable.

Tableau 7 : Estimation de nombre de bulls total après extrapolation grâce à la fonction pls() présente dans le package pls du logiciel R.

Site	Borne inférieure	Estimation	Borne supérieure	Marge d'erreur relative
Crouin	1554	3863	6186	60%
La Baine	2299	3054	3808	25%
Taillebourg	2458	6546	10592	62%

Les résultats des estimations pour les trois sites sont relativement peu précis, avec une marge d'erreur élevée (Tableau 7). Cela peut être expliqué par le fait que l'activité de reproduction n'est pas seulement influencée par des facteurs environnementaux, mais aussi par des facteurs physiologiques. En effet, si les conditions environnementales sont défavorables durant une longue période et que les Aloses sont matures, elles vont finir par se reproduire quelles que soient ces conditions. La présence de grandes périodes d'activité de reproduction avec des conditions environnementales médiocres pourrait donc fausser les modèles, et augmenter l'incertitude autour du nombre de bulls estimé. La frayère de la Baine possède une marge d'erreur inférieure aux deux autres sites, en effet le nombre de bulls sur

ce site semble réparti dans la saison de manière plus homogène que les deux autres (Figure 15).

La méthode de régression PLS a été utilisée sur les résultats obtenus en 2014. Les estimations ainsi que les incertitudes obtenues sont très proches de celles obtenues en 2014 (Annexe 8). Il n’y a pas eu d’extrapolation des bulls à La Baine en 2014 étant donné que toutes les nuits ont été suivies grâce à une caméra vidéo. L’utilisation de la méthode PLS sur ces résultats a permis d’obtenir une estimation très proche du nombre de bulls exhaustif obtenu. La méthode de régression PLS semble donc permettre d’obtenir des résultats cohérents.

Après l’extrapolation des nuits où le nombre de bulls n’a pas été comptabilisé, la frayère de Taillebourg reste le site où l’estimation est la plus élevée et celle de La Baine où elle est la plus faible.

2.2. Calibration

Les enregistreurs audionumériques ne permettent pas d’entendre la totalité des bulls sur les frayères. Il est donc important de connaître la part des bulls qui ne sont pas entendus afin de corriger les résultats obtenus.

Tableau 8 : Équations de régression linéaires entre les bulls capturés par les enregistreurs et ceux écoutés par les agents sur le terrain.

Sites	Bulls enregistreurs	Bulls terrain	%	Nombre de 1/4 d'heures	R ²	Equation de régression
Crouin	153	207	73,9%	24	0,91	$y = 1,2283x + 0,7947$
La Baine	143	197	72,6%	28	0,85	$y = 1,4092x - 0,1611$
Taillebourg	378	515	73,4%	28	0,96	$y = 1,2565x + 1,8891$

Le pourcentage de bulls réellement capturé par les enregistreurs audionumériques est très proche entre les trois sites (Tableau 8). En effet, environ 73% des bulls sont audibles grâce aux enregistreurs. Les coefficients de détermination (R²) des différents modèles sont relativement élevés, il est légèrement plus faible pour le site de La Baine dont le modèle semble moins bien ajusté aux données. Il s’agit du site où le nombre de bulls sur le terrain est le moins dépendant du nombre de bulls écoutés.

Cela peut s’expliquer par le fait que des bulls situés en amont de l’enregistreur, à une distance relativement importante, ont pu être observés. Cependant, ces bulls éloignés ne sont pas présents toutes les nuits. En effet, cette frayère est sous l’influence des marées qui a un effet sur le déversement au niveau des barrages qui lui-même impacte le secteur le plus actif de reproduction des Aloses. Selon les nuits, en fonction de la marée, il semblerait que les Aloses se reproduisent plus ou moins en amont, les bulls ne sont donc pas audibles de la même manière chaque nuit. Cela augmente l’incertitude du modèle de régression linéaire utilisé.

Tableau 9 : Bilan des bulls estimés pour la saison en ajoutant la calibration à l'extrapolation des nuits manquantes.

Site		Borne inférieure	Estimation	Borne supérieure	Marge d'erreur relative
Crouin	Equations	$y = 1,05x - 0,65$	$y = 1,23x + 0,79$	$y = 1,40x + 2,24$	82%
	Résultats après la calibration	1631	4751	8662	
La Baine	Equations	$y = 1,18x - 1,63$	$y = 1,41x - 0,16$	$y = 1,63x + 1,31$	44%
	Résultats après la calibration	2711	4306	6210	
Taillebourg	Equations	$y = 1,15x - 0,32$	$y = 1,26x + 1,89$	$y = 1,36x + 4,10$	75%
	Résultats après la calibration	2826	8249	14409	

Après l'extrapolation des nuits manquantes et la calibration des enregistrements, le Tableau 9 met en évidence que la frayère de Taillebourg reste celle où le plus grand nombre de bulls est observé. La marge d'erreur relative quant à elle a augmenté en prenant en compte les intervalles de confiance obtenus à partir de la calibration, elle reste cependant la plus faible au niveau de la frayère de La Baine.

2.3. Extrapolation des quarts d'heure manquants

Comme seule la moitié des quarts d'heure sont dépouillés par nuit (soit 12 ¼ d'heures sur 23), une interpolation est effectuée afin d'avoir une estimation du nombre total de bulls par nuit.

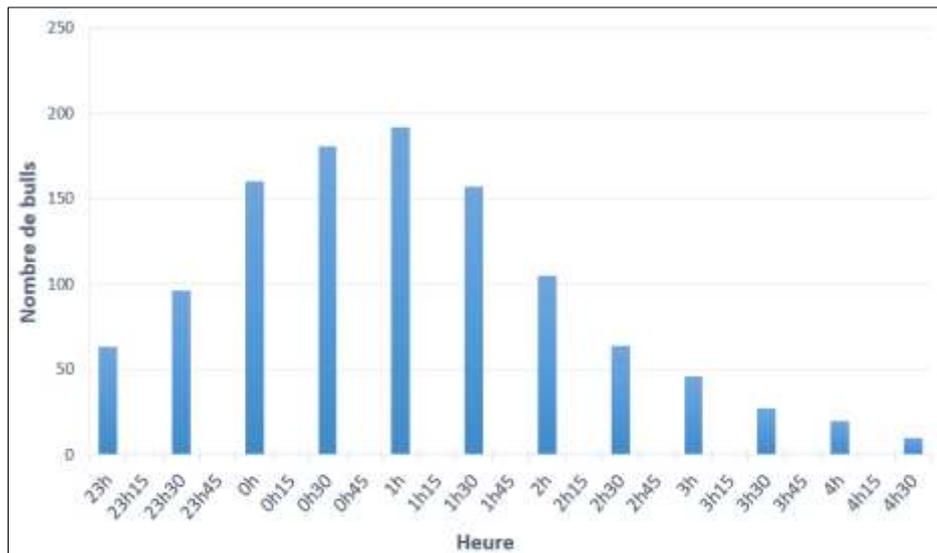


Figure 17 : Somme du nombre de bulls par quarts d'heure sur le site de Taillebourg.

L'activité de reproduction de l'Alose suit une courbe polynomiale durant la nuit avec un pic d'activité situé au milieu de la nuit, entre 0h et 1h30 pour le site de Taillebourg durant la saison 2017 (Figure 17). Ce pic est présent respectivement sur les sites de Crouin et La Baine aux alentours 1h30 et 1h (Figure 16). Afin d'estimer le nombre de bulls des quarts d'heure manquants, il est possible d'utiliser une équation polynomiale, pour cela il s'agit de chercher le degré minimisant l'AIC corrigé (Tableau 10).

Tableau 10 : AICc des modèles des courbes de tendance polynomiales de La Baine.

Degré	Equation	R ²	AIC	AICc
2	$-0,3578x^2 + 7,3554x + 17,7359$	0,82	89,23	89,98
3	$0,0239x^3 - 1,2197x^2 + 15,6630x + 0,7855$	0,94	76,99	78,59
4	$0,0014x^4 - 0,0453x^3 - 0,1455x^2 + 9,8341x + 8,2207$	0,95	75,24	78,1
5	$-0,00090x^5 + 0,007x^4 - 0,1637x^3 + 0,9390x^2 + 5,943x + 11,79$	0,94	76,69	81,3

L'équation de degré 4 présentant l'AICc le plus faible est donc choisie (Tableau 10) pour le site de La Baine. Il s'agit de la courbe présentant le meilleur compromis entre le coefficient de corrélation et le nombre de paramètres.

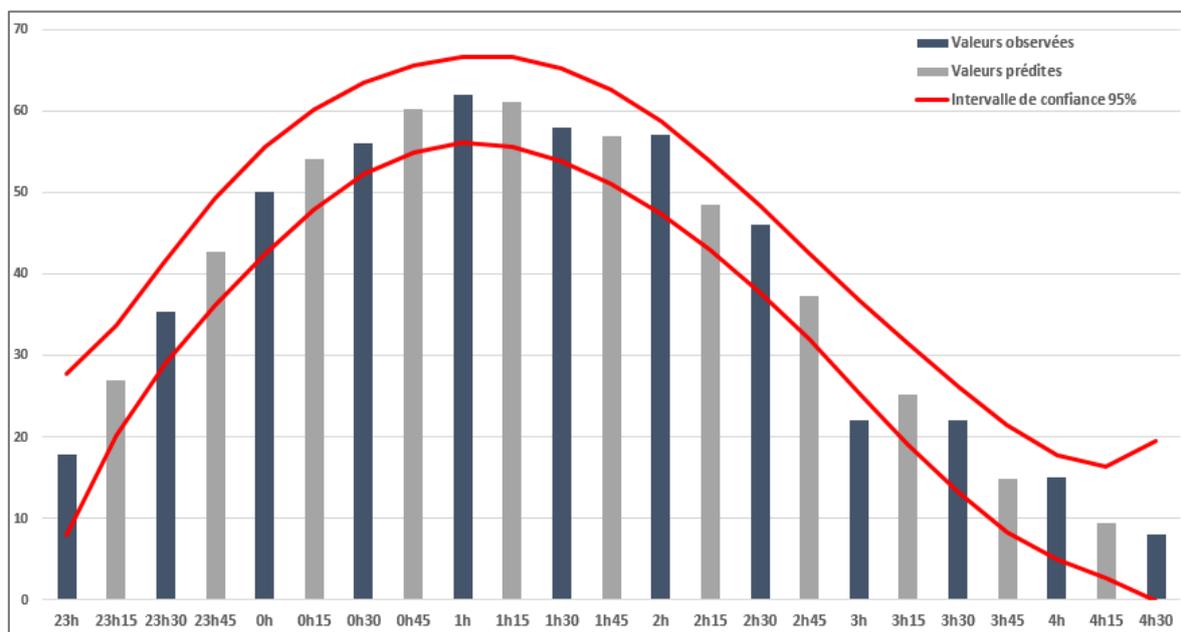


Figure 18 : Estimation du nombre de bulls pour les quarts d'heure manquants sur le site de La Baine. Les courbes rouges représentent l'intervalle de confiance à 95%.

Après que le modèle ait été choisi, il est possible grâce au logiciel R d'obtenir une valeur théorique pour chaque quart d'heure où les données ne sont pas disponibles. Il permet aussi d'obtenir une prédiction du nombre de bulls associé à la borne inférieure de l'intervalle de

confiance à 95% et une deuxième pour la borne supérieure (Figure 18, Annexe 9 et Annexe 10).

Tableau 11 : Meilleurs modèles trouvés pour Taillebourg et Crouin.

Site	Degré	Equation	R ²	AIC	AICc
Crouin	5	$-0,0007x^5 + 0,0453x^4 - 1,046x^3 + 9,626x^2 - 27,48x + 59,03$	0,75	99,83	104,44
Taillebourg	6	$0,00008x^6 - 0,007x^5 + 0,2455x^4 - 3,903x^3 + 26,32x^2 - 46,87x + 87,31$	0,99	83,78	90,78

Pour les frayères de Crouin et Taillebourg, la même méthode que celle de La Baine a été utilisée (Tableau 11). Contrairement à cette dernière où le degré 4 présente l'AICc le plus faible, les degrés 5 et 6 ont été choisis respectivement pour les sites de Crouin et Taillebourg. Le coefficient de détermination (R²) est bien plus faible sur le site de Crouin (0,75) que sur les sites de La Baine (0,95) et Taillebourg (0,99). Cela met en évidence un nombre de bulls plus irrégulier durant la nuit sur ce site.

Afin de pouvoir ajouter au nombre de bulls déjà obtenu l'estimation du nombre de bulls pour les nuits manquantes, il est indispensable d'avoir un coefficient multiplicateur entre le nombre de bulls observé et le nombre de bulls théorique. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 12 : Méthode d'obtention des coefficients multiplicateurs grâce au nombre de bulls observé et théorique.

Site	Nombre de bulls observés	Nombre de bulls théoriques			Coefficients multiplicateurs			
		Borne supérieure	Estimation	Borne inférieure	Borne supérieure	Estimation	Borne inférieure	Marge d'erreur
Crouin	600	710	1169	1628	1,18	1,95	2,71	39%
La Baine	449	1031	886	741	1,65	1,97	2,30	16%
Taillebourg	1121	2480	2218	1934	1,72	1,98	2,21	12%

Étant donné que le nombre de bulls suit une courbe en polynomiale, il est logique que le nombre de bulls théorique soit égal à environ deux fois le nombre de bulls observés pour chacune des trois frayères (Tableau 12). Les marges d'erreur des coefficients multiplicateurs sont cohérentes avec les résultats des coefficients de déterminations obtenus précédemment, avec une plus forte incertitude pour la frayère de Crouin.

2.4. Bilan et nombre de bulls total dans la saison

Tableau 13 : Récapitulatif du nombre de bulls obtenu à la suite des différentes étapes d'estimation.

Site		Borne inférieure	Estimation	Borne supérieure	Marge d'erreur relative
Crouin	Extrapolation nuits manquantes	1554	3863	6186	60%
	Avec la calibration	1631	4751	8662	82%
	Coefficient multiplicateur 1/4 d'heures manquants	1,18	1,95	2,71	39%
	Nombre de bulls total	1931	9260	23509	154%
La Baine	Extrapolation nuits manquantes	2299	3054	3809	25%
	Avec la calibration	2711	4306	6210	44%
	Coefficient multiplicateur 1/4 d'heures manquants	1,65	1,97	2,30	16%
	Nombre de bulls total	4474	8500	14265	68%
Taillebourg	Extrapolation nuits manquantes	2458	6546	10592	62%
	Avec la calibration	2826,18	8249,43	14409,33	75%
	Coefficient multiplicateur 1/4 d'heures manquants	1,72	1,98	2,21	12%
	Nombre de bulls total	4875	16323	31878	95%

Comme cela avait été observé sur le terrain et dans les enregistrements, la frayère de Taillebourg est celle possédant le plus grand nombre de bulls dans la saison et celle de La Baine le plus petit nombre (Tableau 13). À la suite des différentes étapes, la marge d'erreur relative n'a cessé d'augmenter pour atteindre finalement une valeur très élevée pour le site de Crouin.

En effet, lors de l'estimation des nuits manquantes l'incertitude est importante. De plus, lors de l'estimation des quarts d'heure manquants et lors de la calibration, l'incertitude des résultats pour le site de Crouin est supérieure à celle des deux autres frayères. Les conditions environnementales présentes sur ce site ne permettent peut-être pas aux aloses d'effectuer une reproduction régulière dans la saison et dans la nuit. En effet, les faibles débits relevés cette année ont rendu inaccessible une partie de la frayère pendant plusieurs jours. De plus, la passe à poissons présente en amont de la frayère peut engendrer une accumulation d'Aloses à l'aval (Aloses ne parvenant pas à franchir la passe) ayant pour conséquence une augmentation de la reproduction sur la frayère. Elle peut aussi, lorsque les conditions de franchissabilité sont bonnes, favoriser le passage des Aloses et donc diminuer la reproduction de l'Alose sur la frayère. Cette donnée d'accumulation ou non des Aloses à l'aval du barrage n'est prise en compte par la variable « passe à poissons » et peut engendrer une incertitude plus importante dans les différentes étapes de l'estimation du nombre de géniteurs sur cette frayère.

2.5. Calcul du nombre de géniteurs

Tableau 14 : Nombre de géniteurs estimé en utilisant la méthode de l'association MIGADO, avec 10 pontes par femelle.

Site	Borne inférieure	Estimation	Borne supérieure	Marge d'erreur
Crouin	386	1852	4702	154%
La Baine	895	1700	2853	68%
Taillebourg	975	3265	6376	95%

Le calcul du nombre de géniteurs réalisé en utilisant la méthode de MIGADO ne permet pas d'obtenir un intervalle de confiance. La marge d'erreur relative n'est donc pas modifiée par rapport au nombre de bulls total estimé dans la saison.

Avec un total de 3 265 géniteurs estimés (Tableau 14), la frayère de Taillebourg semble la plus active lors de la saison 2017. Avec seulement 1 700 géniteurs estimés, la frayère de La Baine semble être la moins active.

3. Comparaison entre les années

3.1. Comparaison de l'effort d'échantillonnage

Tableau 15 : Nombre de nuits suivies sur les trois frayères en fonction des années.

Site	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017
La Baine		2	7	88	3	10	14
Crouin	3	3	7	18	3	10	13
Taillebourg	5	4	7	22	2	10	14

L'effort d'échantillonnage n'a pas été constant au cours des années (Tableau 15). En effet, le début des suivis des poissons migrateurs sur le bassin de la Charente est relativement récent puisqu'il a débuté en 2009. L'effort d'échantillonnage a augmenté progressivement afin de connaître les frayères et leur activité.

Finalement, les trois frayères dont l'activité est la plus importante ont été suivies de manière plus importante afin d'obtenir un indicateur annuel de la reproduction des aloses sur le bassin versant de la Charente.

Les années 2014, 2016 et 2017 sont les années où il est le plus important. En 2014, une caméra vidéo a été installée au niveau de la frayère de La Baine ce qui a permis d'obtenir le nombre de bulls chaque nuit sur cette frayère. Cependant, la caméra ne permettait pas de voir l'ensemble de la frayère et le visionnage des vidéos a été réalisé un quart d'heure sur deux. La calibration est l'extrapolation des quarts d'heure ont été utilisés permettant d'obtenir une estimation précise du nombre de géniteurs.

De plus, la méthode de suivi des frayères n'a pas été la même durant toute les années du suivi. En effet, en 2010 et 2011 les enregistreurs audionumériques n'étaient pas utilisés. Les écoutes étaient effectuées tout le long de la nuit par des agents présents sur le terrain. Ce suivi s'est révélé nécessaire et a permis de caractériser les frayères. En 2012, aucun suivi n'a

été effectué sur ces trois frayères. En effet, cette année de suivi a permis de faire un état des connaissances afin de proposer une stratégie à mettre en place par la suite. En 2013, les enregistreurs étaient utilisés, mais les écoutes n’ont pas été faites avec le même protocole que pour les années 2014, 2015, 2016 et 2017.

En 2015, il n’a pas été possible de réaliser une estimation du nombre de géniteurs sur les trois frayères. En effet, le nombre de nuits échantillonnées est trop faible et seulement une seule nuit de calibration a été effectuée au cours de la saison. Il est impossible d’obtenir un résultat fiable avec aussi peu de données. Ces suivis nécessitent des moyens humains importants et la Cellule Migrateurs avait d’autres actions à mener cette année-là. Étant donné le faible nombre de données pour les années 2010 et 2011, il sera difficile de comparer les résultats obtenus pour ces deux années avec les années 2013, 2014, 2016 et 2017.

3.2. Comparaison du nombre de géniteurs

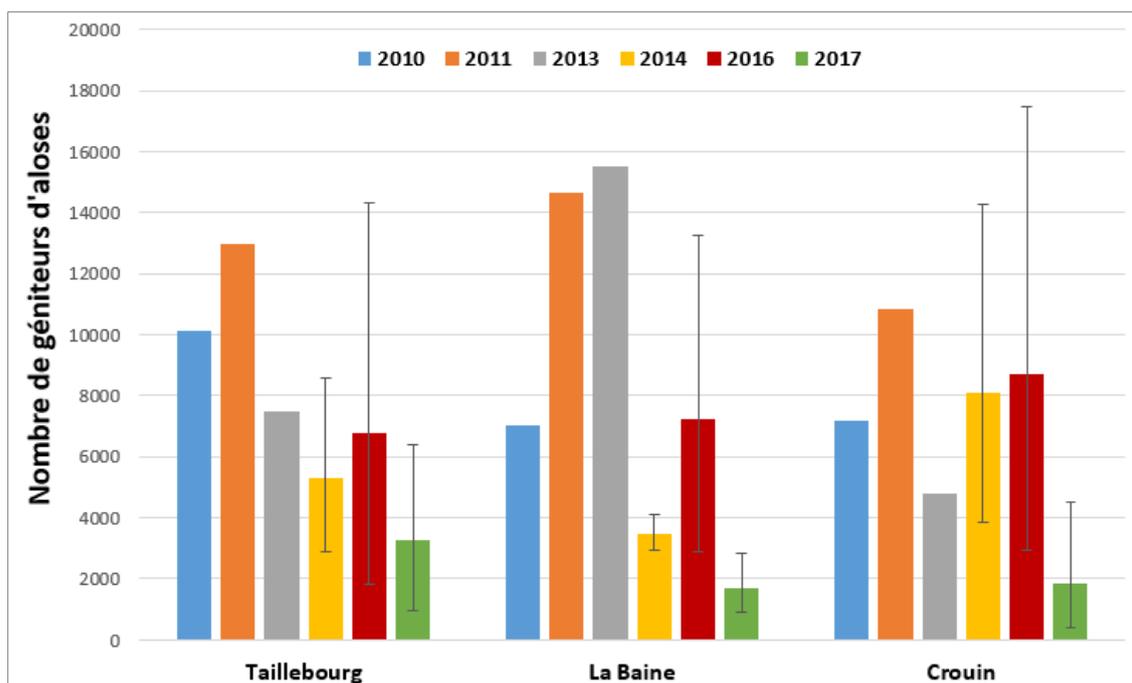


Figure 19 : Évolution du nombre de géniteurs au cours du temps.

La frayère de Taillebourg connaît une diminution relativement régulière et importante du nombre de géniteurs au cours des années (Figure 19). En ce qui concerne les deux autres frayères, une diminution globale peut aussi être observée. L’année 2017 semble être une année critique puisque sur chacune des trois frayères le nombre de géniteurs estimé est le plus bas jamais observé durant les années suivies.

Cependant, l'incertitude importante autour de l'estimation du nombre de géniteurs, notamment en 2016, rend difficile l'interprétation des résultats. L'incertitude plus grande pour l'année 2016 s'explique par le fait que l'effort de suivi était plus faible cette année-là que les années 2014 et 2017. Le site de La Baine pour l'année 2014 possède une incertitude faible. Cela est dû à l'utilisation d'une caméra sur ce même site en 2014.

Afin de diminuer l'incertitude de l'estimation du nombre de géniteurs sur les trois frayères, il est possible d'augmenter le nombre de nuits suivies ou le nombre de quarts d'heure écoutés dans les enregistrements. Il est difficile d'améliorer la proportion du nombre de bulls entendus dans les enregistrements par rapport au nombre de bulls présent sur le terrain.

Cette diminution importante de l'estimation du nombre de géniteurs n'a pas été observée au niveau de la passe à poissons de Crouin en 2017 (Figure 20). En effet, même si le dispositif de comptages des poissons de Crouin n'a pas été fonctionnel en 2011 et 2016, il est néanmoins possible d'observer que le nombre d'Aloses l'ayant traversé n'évolue pas de manière drastique en au cours du temps. Mis à part deux pics à environ 6000 individus en 2012 et 2015 qui ne figurent pas sur la Figure 20 étant donné qu'il n'y a pas eu d'estimation du nombre de géniteurs ces années-là.

Le nombre d'Aloses ayant franchi la passe est de 2 643 en 2014 et 2 524 en 2017 (Figure 20). Malgré cela, le nombre de géniteurs estimé sur les trois frayères présentes en aval a fortement diminué entre ces deux années. Cela n'est pas dû au fait que l'échappement au comptage vidéo été important en 2014 puisqu'il n'a été évalué qu'à 3,7% (Dartiguelongue, 2015). De plus, un suivi complémentaire réalisé en amont du barrage de Crouin sur des frayères dont l'activité est plus faible n'a pas permis de révéler la présence d'Aloses en 2017, contrairement aux années précédentes. Ces constatations semblent révéler une certaine difficulté chez les Aloses à se reproduire en 2017. En effet, les Aloses sont présentes sur le bassin versant de la Charente, mais leur reproduction à l'amont comme à l'aval du barrage de Crouin semble inférieure aux années précédentes.

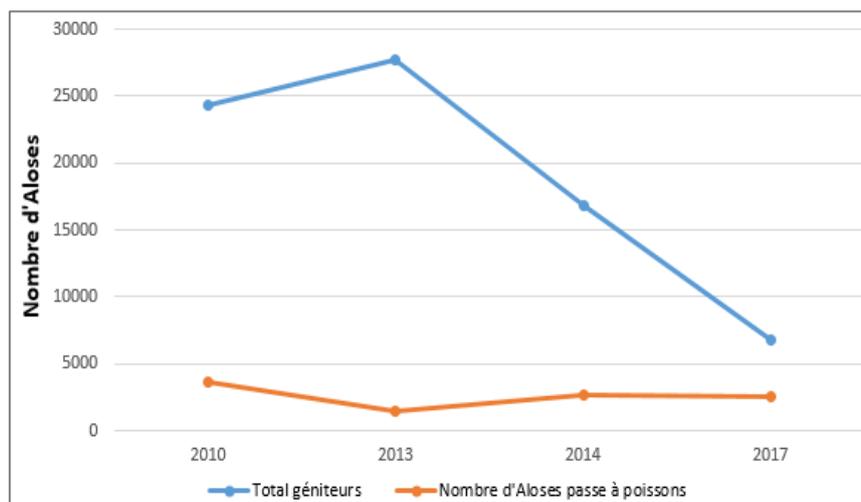


Figure 20 : Nombre total de géniteurs sur les trois frayères et nombre d'Aloses ayant traversé la passe à poisson de Crouin en fonction des années.

Cette difficulté pourrait être causée par la prédation des Aloses par les Silures (*Silurus glanis*). En effet, le nombre d'individus de cette espèce ayant traversé la passe à poissons de Crouin en 2017 est nettement plus important que les autres années (Figure 21).

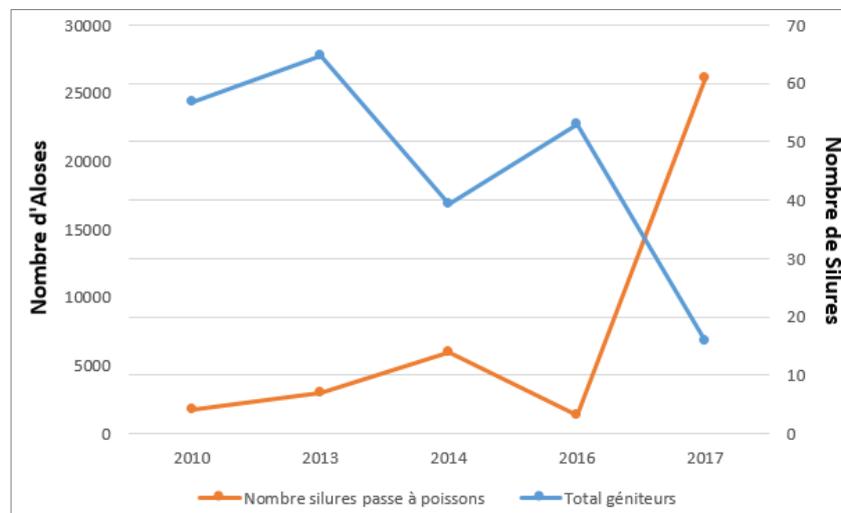


Figure 21 : Nombre total de géniteurs sur les trois frayères et nombre de Silures ayant traversé la passe à poissons de Crouin en fonction des années.

De plus, la Figure 21 semble mettre en évidence que l'évolution du nombre de Silures ayant traversé la passe est inversement corrélée à l'estimation du nombre de géniteurs d'Aloses.

Il est probable que le nombre de Silures ayant traversé la passe à poissons soit le reflet du nombre de Silures présent sur la Charente et que ce dernier ait un impact non négligeable sur la population d'Aloses présente et sur sa reproduction. En effet, l'attaque d'Aloses lors d'un bull a pu être observée en 2017 sur le site de La Baine. Il est probable que les Silures présents sur les frayères entraînent un effarouchement des Aloses qui diminue leur reproduction. Cependant, ces quelques données permettent seulement d'émettre une hypothèse qu'il serait intéressant de vérifier dans les années futures.

Les conditions environnementales de l'année 2017 n'étaient pas optimales pour la reproduction des Aloses. En effet, la température de l'eau était relativement haute pendant la saison de reproduction et le débit relativement bas par rapport aux années précédentes (Figure 22 et Figure 23).

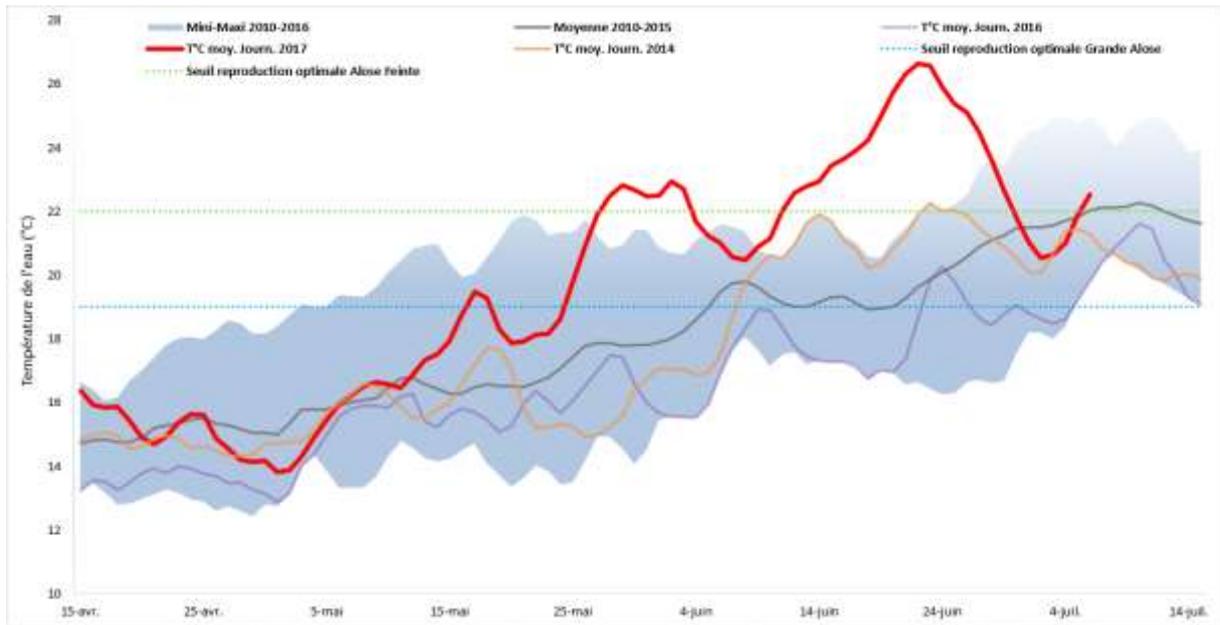


Figure 22 : Température moyenne journalière (°C) de la Charente à Crouin en 2014, 2016 et 2017, la moyenne des années 2004 à 2016 ainsi que le minimum et le maximum de 2004 à 2016 du 15 avril au 15 juillet (période de reproduction de l’Alose).

La Figure 22 révèle qu’à partir du 15 mai, l’année 2017 est très proche voir dépasse le maximum des températures enregistrées de 2010 à 2016 à Crouin. De plus, la température de l’eau à Crouin est plus élevée que la borne supérieure de la température optimale de reproduction de la grande Alose, environ à partir de mi-mai.

Même si la grande Alose se reproduit plus tôt dans la saison que l’Alose feinte, cette rapide hausse des températures a pu freiner la reproduction des grandes Aloses en fin de saison de reproduction. En ce qui concerne l’Alose feinte, la borne supérieure de la température

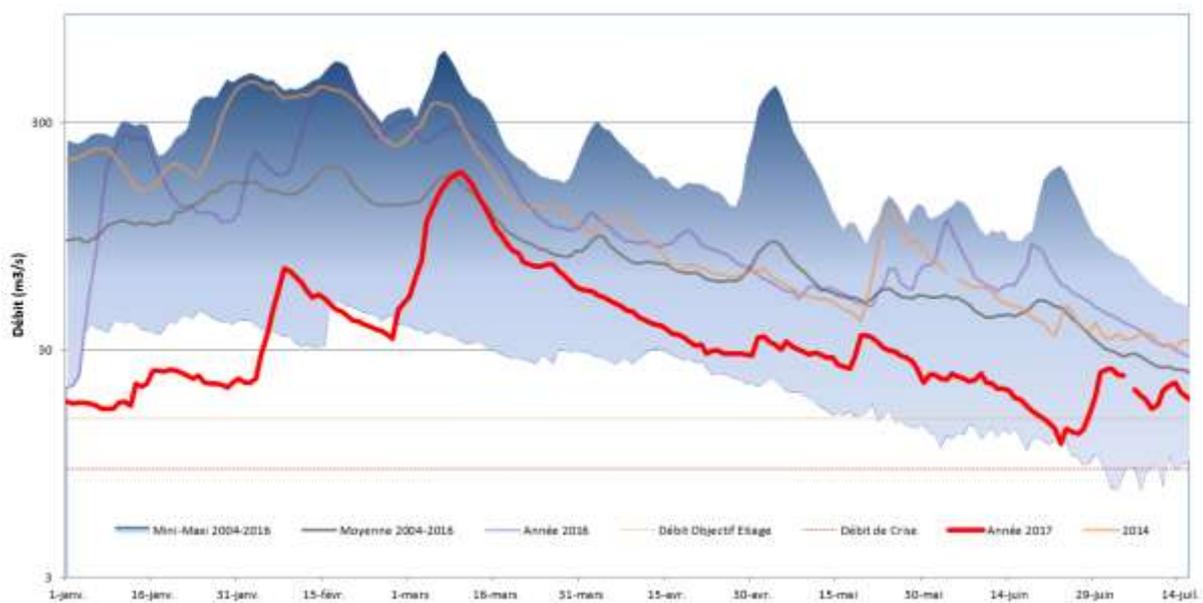


Figure 23 : Débit moyen journalier (m³/s) de la Charente à Beillant en 2014, 2016 et 2017, la moyenne des années 2004 à 2016 ainsi que le minimum et le maximum de 2004 à 2016 du 1^{er} janvier au 15 juillet.

optimale de reproduction est supérieure à celle de la grande Alose. De 2010 à 2016, ce seuil n'a pas été dépassé du 15 avril à fin juin. Cependant, en 2017 la température de l'eau à Crouin a été bien plus élevée que ce seuil dès la fin du mois de mai, il est donc possible que la reproduction de l'Alose feinte ait été grandement perturbée à partir de cette période.

La Figure 23 met en évidence que le débit moyen journalier à Beillant en 2017 est bas et est relativement proche voire dépasse le minimum enregistré de 2004 à 2016. Les débits moyens journaliers de 2014 et 2016 sont quant à eux proches de la moyenne. En 2017, le débit très bas du début de l'année jusqu'au mois de mars entraîne une attractivité de la Charente moins importante pour les Aloses présentes en mer. Cela pourrait en partie expliquer la chute brutale du nombre de géniteurs estimé en 2017.

De plus, le débit durant la période de reproduction (environ de mi-avril jusqu'à mi-juillet) est aussi relativement faible en 2017. Les caractéristiques des frayères ont alors pu être modifiées, les rendant moins optimales pour la reproduction. Il est possible que cela ait engendré un déplacement des frayères. Cela a pu être observé sur la frayère de Crouin où un léger déplacement de la frayère à l'aval a pu être observé. Il est possible que ce déplacement ait rendu inaudible une partie des bulls que ce soit sur le terrain ou dans les enregistrements.

3.3. Analyses multidimensionnelles

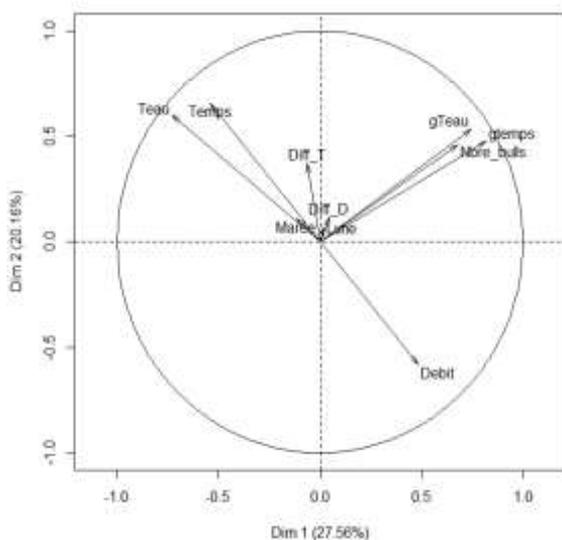


Figure 24: Cercle des corrélations de l'analyse en composantes principales des différentes variables (axes 1 et 2) en prenant en compte les années 2014, 2016 et 2017.

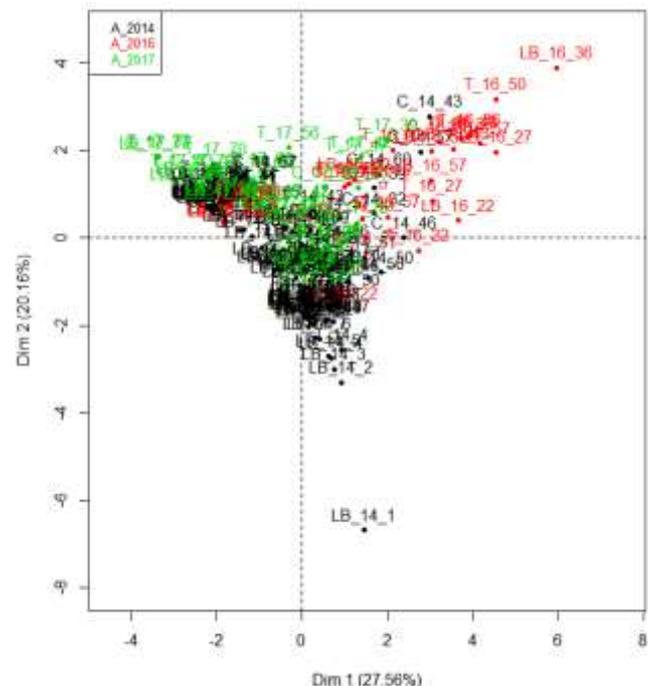


Figure 25: Répartition des individus statistiques de l'analyse en composante principale en fonction des années (axes 1 et 2) en prenant en compte les années 2014, 2016 et 2017.

L'analyse en composantes principales (Figure 24 et Figure 25) sur les trois années où l'effort de suivi a été le plus important (2014, 2016 et 2017) révèle, comme cela a été observé en 2017, que le nombre de bulls est corrélé avec la transformation gaussienne de l'indice temporel et de la température de l'eau (la variable passe à poissons n'est pas présente ici puisque cette dernière n'a pas été fonctionnelle en 2016). La température de l'eau, l'indice temporel et le débit ne sont pas corrélés au nombre de bulls. En effet, le nombre de bulls est important pour des valeurs de débit, température et indice temporel moyens. La lune, la marée, l'accroissement du débit et de la température n'expliquent qu'une partie très faible du jeu de données et ne semblent pas corrélés avec le nombre de bulls.

Les graphiques précédents permettent aussi de confirmer que l'année 2014 est caractérisée par un débit important alors que l'année 2017 est caractérisée par des températures élevées et un débit faible. L'année 2016 semble être une année intermédiaire.

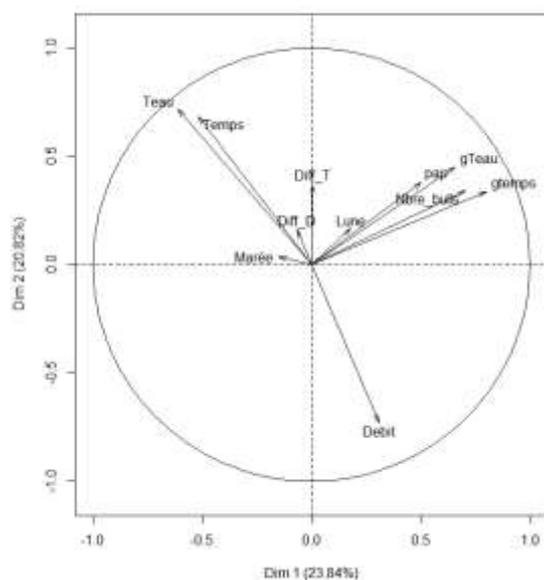


Figure 26 : Cercle des corrélations de l'analyse en composantes principales des différentes variables (axes 1 et 2) en prenant en compte les années 2014 et 2017.

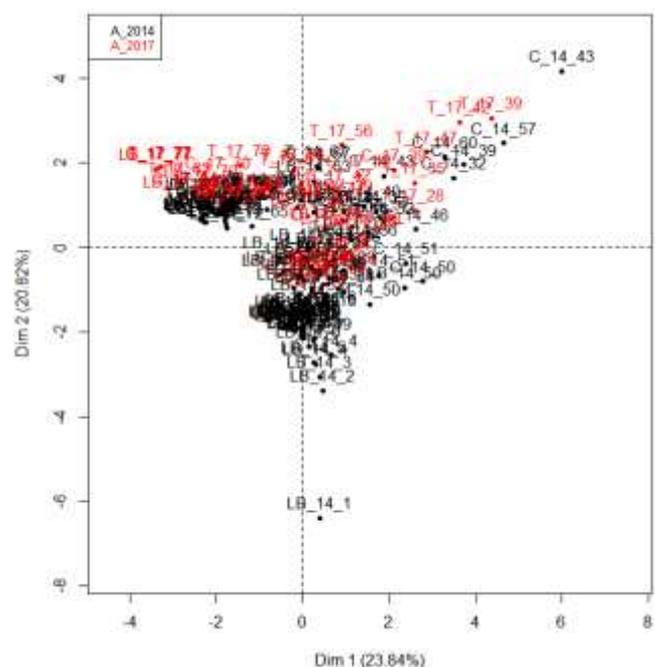


Figure 27 : Répartition des individus statistiques de l'analyse composante principale en fonction des années (axes 1 et 2) prenant en compte les années 2014 et 2017.

Les graphiques précédents (Figure 26 et Figure 27) ont été réalisés seulement avec les données de 2014 et 2017 qui sont deux années où la passe à poissons a été fonctionnelle. Ils révèlent que la variable « passe à poissons » est aussi corrélée au nombre de bulls.

Comme vu dans les résultats de 2017, l'analyse multidimensionnelle réalisée à partir de données obtenues durant plusieurs années de suivi met en évidence que les variables transformation gaussiennes de l'indice temporel et du temps ainsi que la variable « passe à poissons » apparaissent comme étant les variables les plus corrélées au nombre de bulls quel que soit l'année. Il peut être intéressant de privilégier l'utilisation de ces trois variables dans les futurs suivis.

4. Survie des œufs et des larves

Après avoir estimé le nombre de géniteurs présents sur les frayères de Taillebourg, La Baine et Crouin, il est maintenant intéressant d'évaluer la survie des œufs et des larves produits par les géniteurs. Cette survie dépend fortement de la température de l'eau.



Figure 28 : Température de l'eau journalière à Crouin en 2017 et plages de survie des œufs.

La température de l'eau relevée à Courin en 2017 semble relativement clémente pour la survie des œufs (Figure 28). Elle reste cependant inférieure à 15,5°C en début d'année et est supérieure à 25°C quelques jours des mois de juin et juillet. La survie des larves quant à elle reste comprise entre 80 et 90% tout au long de la saison 2017 (Figure 29).

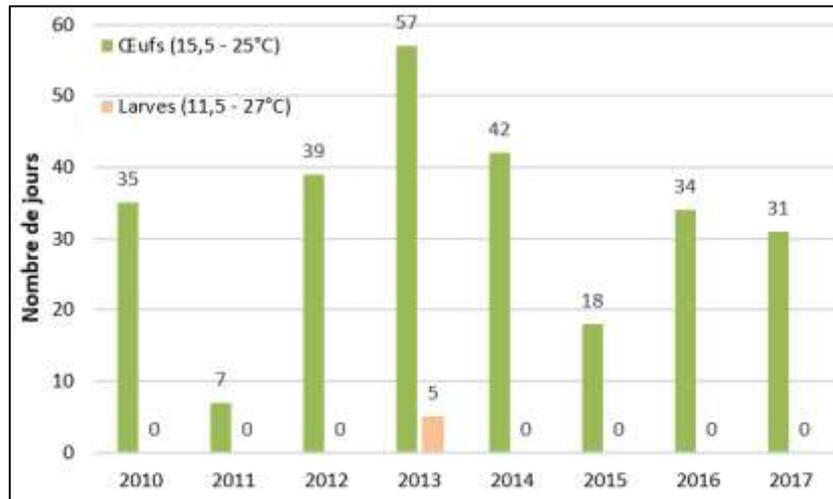


Figure 30 : Nombre de jours durant lesquels la survie estimée est inférieure à 80% (entre le 01/04 et le 31/08).

La comparaison avec les années antérieures permet de mettre en évidence que l'année 2017 semble être une année moyenne en terme de survie des œufs et des larves (Figure 30).

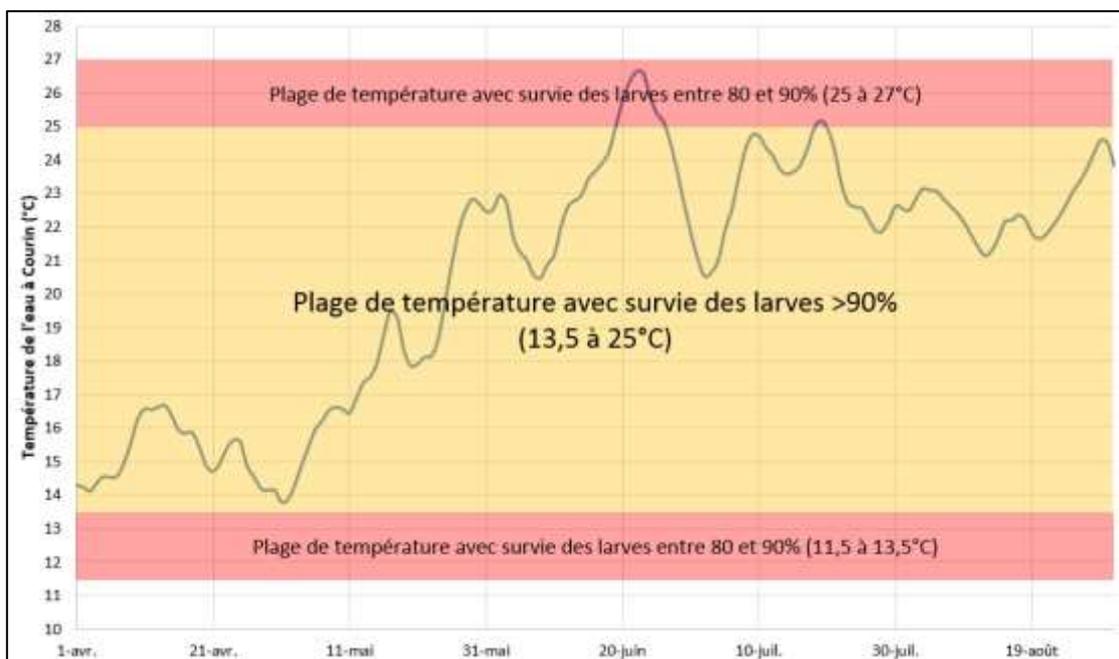


Figure 29 : Température de l'eau journalière à Courin en 2017 et plages de survie des larves.

En effet, bien que l'année 2017 ait connue des températures élevées fin juin et début juillet, elles n'ont pas été trop froides en début de saison contrairement à certaines autres années. La survie des larves semble optimale et celle des œufs relativement bonne. Les œufs des Aloses

s'étend reproduites en milieu de saison (du 1er mai au 15 juin) ont un taux de survie plus importants que ceux provenant d'Aloses s'étant reproduites en début ou en fin de saison.

5. Suivis linéaires

En plus des suivis des trois frayères principales (Taillebourg, La Baine et Crouin), de nombreux suivis linéaires ont été effectués sur d'autres frayères afin de voir leur activité. Lors de chaque sortie plusieurs sites sont visités et plusieurs équipes peuvent être présentes.

Le nombre de frayères prospectées depuis 2013 n'a pas évolué, 16 sites sont prospectés mis à part à 2016 où il y en a eu seulement 15 (Tableau 16). Tous les sites prospectés se sont révélés actifs sauf en 2014 où l'activité d'un site n'a pu être mise en évidence. Le nombre de sorties réalisées est relativement similaire entre les années, les sorties ont été plus importantes en 2014 (9) et moins importantes en 2013 (6). Le nombre total de visites effectuées est assez variable entre les années, en 2014, 71 visites de sites ont été effectuées grâce à 26 agents alors que seulement 33 prospections ont été réalisées en 2015 avec 14 agents.

Tableau 16 : Effort d'échantillonnage et effort humain pour le suivi linéaire de 2013 à 2017.

Années	Sites prospectés	Sites actifs	Nombre de sorties	Nombre total de visites	Moyens humains
2013	16	16	6	44	16
2014	16	15	9	71	26
2015	16	16	7	33	14
2016	15	15	8	44	18
2017	16	16	7	33	14

Tableau 17 : Maximum de bulls par quart d'heure par site et par prospection.

Site	27-28 Avril	4-5 Mai	11-12 Mai	18-19 Mai	23-24 Mai	1-2 Juin	6-7 Juin	15-16 Juin	Nombre de prospection	Moyenne	Max
St Savinien					32	32	0		3	21,3	32
Canal Moussard		0					0	1	3	0,3	1
Port d'Envaux		0				3			2	1,5	3
Taillebourg	8	16	8	40	23	69		37	7	28,7	69
Port à Clou				6		1		0	3	2,3	6
Port La Pierre			0	14			0		3	4,7	14
Saint Thomas						4	1		2	2,5	4
Prairie Courbiac					9				1	9,0	9
Port la Rousselle			3					0	2	1,5	3
Les Gonds					7				1	7,0	7
Bac de Chaniers			4						1	4,0	4
La Baine	13	12	9	12	22	4		3	7	10,7	22
Moulin de la Baine			10						1	10,0	10
Pas des Charettes		4			14			1	3	6,3	14
Bac de Dompierre				2				0	2	1,0	2
Crouin	6	27	3	10	18			11	6	12,5	27

Les frayères de Taillebourg, La Baine et Crouin ne se détachent pas énormément des autres sites (Tableau 17). Seul le site de Taillebourg possède une moyenne de bulls et un nombre maximal de bulls nettement supérieur aux autres frayères. Cela ne semble pas cohérent avec les résultats obtenus les années précédentes ou ces trois frayères avaient une activité bien plus importante que les autres.

En effet, la Figure 31 met en évidence que le nombre de bulls maximal par quart d'heure d'écoute est largement plus important pour les sites de Taillebourg, La Baine et Crouin que pour les autres sites.

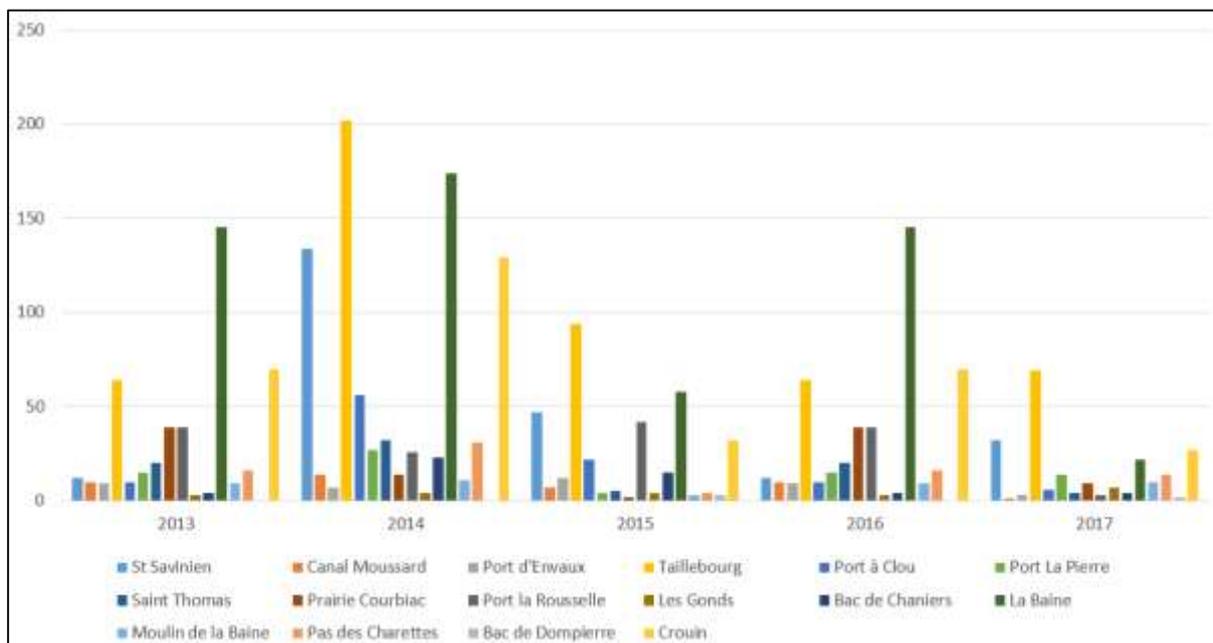


Figure 31 : Maximum de bulls par frayère de 2013 à 2017.

Cependant, cela n'est pas vraiment le cas en 2017 où le nombre maximal de bulls observés à Crouin est La Baine est très proche des autres sites. De plus, le nombre maximal de bulls observé à Saint Savinien est plus élevé que celui observé à La Baine et Crouin. Cela peut aussi être observé en 2014 et 2015. Cependant, le comportement des Aloses sur ce site semble grandement varier en fonction de l'ouverture du barrage est donc des marées. Les résultats obtenus en 2017 semblent être assez atypiques par rapport aux résultats obtenus précédemment. Il sera intéressant d'observer si cette tendance de rapprochement du nombre maximal de bulls entre les sites se confirme lors des futurs suivis.

6. Recherche du front de migration

Les prospections diurnes (recherche de cadavres et de bancs d'Aloses) ont été relativement élevées cette saison avec un total de 28 sites visités (18 sur la Charente, 1 sur le Né, 5 sur la Boutonne, 3 sur la Rûtelière, et 1 sur l'Escambouille). Cependant, peu de bancs ou de cadavres d'Aloses ont été aperçus. En effet, un banc d'Aloses a été observé à Gondeville et Bagnolet, au niveau des barrages. Des poissons dont le déplacement ressemblait à celui des Aloses ont été observés à Fleurac, cependant l'appartenance à l'espèce n'est pas certaine. 9 cadavres d'Aloses ont été récupérés sur les quais de Taillebourg, 14 au niveau du barrage de Crouin et 1 proche de la prairie de Courbiac.

En plus de ces prospections, deux journées de prospection nautiques ont été réalisées. La première a eu lieu de 7 juin 2017, elle a été effectuée par deux agents de l'Agence Française pour la Biodiversité de Charente Maritime. Elle a été réalisée à l'aval du barrage de Crouin. Lors de cette journée un seul cadavre a été observé et prélevé au niveau de la prairie de Courbiac.

Une seconde prospection nautique a eu lieu le 8 juin 2017. Lors de cette journée 12 personnes étaient présentes (6 personnes de la Cellule Migrateurs et 6 personnes de l'Agence Française pour la Biodiversité de Charente) réparties en 5 équipes. La Charente a pu être prospectée en bateau de Coursac à Cognac (87 km).

Malgré de bonnes conditions de visibilité (débit faible, eau claire et beau temps), la prospection a permis la récupération de seulement 4 cadavres d'Aloses, aucune Alose vivante n'a pu être observée. Le cadavre situé le plus en amont était entre Jarnac et Bourg Charente. Un deuxième cadavre a été récupéré une centaine de mètres en aval du barrage de Bourg-Charente et enfin les deux derniers se trouvaient à Cognac (à l'aval de l'écluse Saint-Jacques et au bord des quais).

Les prospections diurnes effectuées ont permis de récupérer 28 cadavres d'Aloses. Ces cadavres permettront de réaliser des études génétiques ainsi que l'analyse de leurs otolithes. Le cadavre retrouvé situé le plus en amont se trouvait en amont du barrage de Bourg Charente, au niveau du Château de Cressé.

En ce qui concerne le suivi nocturne, 25 sites différents ont été prospectés pour un total de 11 sorties ayant mobilisées 16 personnes (Figure 32). Sur ces 25 sites, seul le site de Bagnolet (site le plus proche de Crouin) s'est avéré être actif (Annexe 11), malgré les 2 524 Aloses ayant franchi la passe à poissons de Crouin. Il s'agit de l'année où le nombre de sites



actifs est le plus faible alors le nombre d’Aloses ayant franchi la passe à poissons est loin d’être ridicule par rapport aux années précédentes.

Il semble difficile pour cette saison de mettre en évidence la reproduction de l’Aloses sur la Charente. En effet, malgré un franchissement relativement important par les Aloses de la passe à poissons de Crouin, peu de bulls et peu d’Aloses ont pu être mise en évidence grâce aux enregistreurs audionumériques, aux suivis linéaires ou encore à la recherche du front de migration.

Les témoignages des riverains et des pêcheurs sont aussi des sources d’information exploitées pour obtenir des indices de présence. Cependant, il faut rester prudent sur les informations obtenues. Cette année des Aloses auraient été pêchées entre Nersac et Fleurac, cependant cette information est difficilement vérifiable et nous n’avons pas obtenu d’autres témoignages sur ce secteur qui auraient pu le valider.

Le front de migration des Aloses sur la Charente s’établit à Gondeville cette année. Il a été déterminé grâce aux données des observations de banc d’Aloses au niveau du barrage lors de prospections de jour. Des indices de présences ont pu être observés au niveau de Fleurac, cependant ils ne sont suffisamment sûrs pour constituer le front de migration.

Le barrage de Gondeville vient récemment d’être équipé d’une passe à poissons, il devrait donc être facilement franchissable par les Aloses les saisons prochaines.

Tableau 18 : Effort humain pour le front de migration en 2017.

Front de migration	Jour	Nuit	Prospections nautiques	Total
Sites prospectés	28	25	5 cadavres d'Aloses prélevés	45 sites différents
Sites actifs	3	1		18 sites différents
Nombre de sorties	7	11		26
Moyens humains	10	16	14	60

Un nombre important de frayères ont pu être visitées cette année. Les moyens humains n'ont pas été très importants, les équipes étaient réduites à deux personnes et les prospections de jour ont parfois été réalisées par des personnes seules.



Figure 33 : Front de migrations des années précédentes sur la Charente.

Le front de migration historique se trouve à Ruffec à 255 km de l'océan (Figure 33). Cette année le front de migration recule de plusieurs kilomètres par rapport à l'année dernière. Il s'agit de la deuxième année où le front est le plus bas, en 2011 il était situé à Bourg Charente qui se trouve seulement à quelques kilomètres en aval de Gondeville. La diminution du nombre de géniteurs estimés sur Taillebourg, La Baine et Crouin se reflète ici dans le recul du front de migration.

Tableau 19 : Comparaison de l'effort humain : suivi linéaire et front de migration.

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Sites prospectés	46	40	31	33	34	43	39	39	45
Moyens humains	29	54	65	32	68	80	68	65	60

Cette année, les moyens humains ont été moyennement élevés (Tableau 19). Cependant, le nombre de sites prospectés est relativement élevé par rapport aux années précédentes. L'utilisation d'enregistreurs audionumérique sur certaines frayères pourrait de réduire l'effort humain tout en augmentant la probabilité de détecter une activité de reproduction.

Conclusion et perspectives

Le suivi de l'année 2017 a été réalisé conformément à un protocole mis en place en 2014. Il a permis d'estimer un total de 6 817 géniteurs sur les frayères de Crouin, La Baine et Taillebourg. Le nombre de géniteurs étant le plus important sur la frayère de Taillebourg semble cependant connaître un déclin progressif.

L'année 2017 paraît être, depuis le début des suivis, l'année où le nombre de géniteurs est le plus faible sur ces trois frayères. De plus, des suivis complémentaires réalisés sur des frayères situées en amont n'ont pas pu mettre en évidence de reproduction des Aloses contrairement aux années précédentes. La survie des œufs et des larves quant à elle semble moyenne par rapport aux années précédentes, cet indice ne fera pas diminuer le recrutement en juvéniles sur la Charente.

Plusieurs hypothèses permettant d'expliquer le déclin du nombre de géniteurs ont été émises. Les fortes températures de l'eau mesurées en 2017 au niveau de la passe à poissons de Crouin durant la période de reproduction semblent pouvoir contribuer à cette diminution. En effet, une température élevée (<25°C) sont un frein à la reproduction des deux espèces d'Alose. De plus, le débit journalier particulièrement bas en 2017 a pu entraîner une baisse de l'attractivité du bassin versant de la Charente pour les Aloses présentes en mer ainsi qu'un léger déplacement des frayères rendant certains bulls inaudibles sur le terrain et dans les enregistrements. Enfin, la forte augmentation du nombre de Silures ayant franchi la passe à poissons de Crouin en 2017 semble pouvoir contribuer à cette diminution. En effet, la prédation des Silures ainsi que l'effarouchement des Aloses qu'ils peuvent provoquer sur les frayères ont pu grandement diminuer leur reproduction.

Le protocole mis en place en 2014 s'est avéré être reproductible et a permis de réaliser une estimation du nombre de géniteurs sur les frayères de Taillebourg, La Baine et Crouin. Cependant, la précision de ces résultats est assez faible. Il semble difficile de diminuer cette incertitude avec le matériel et les moyens humains disponibles en 2017. Afin de diminuer de façon importante cette incertitude, le moyen le plus efficace est d'augmenter l'effort d'échantillonnage. Cela a été réalisé en 2014 avec la pose d'une caméra vidéo présente en permanence sur la frayère de La Baine. Cependant, ce protocole demande de visionner les vidéos obtenues pour chaque nuit. Il semble difficilement réalisable pour les trois frayères avec les moyens humains actuellement disponibles.

L'association MRM (Migrateurs Rhône Méditerranée) quant à elle, suit une frayère en continu et trois frayères une nuit sur deux. Cet effort d'échantillonnage très important sur le bassin versant du Rhône est certes très efficace, mais demande des moyens conséquents en termes de ressources humaines. Un effort de cette envergure n'est pas concevable pour le suivi de la reproduction des Aloses sur le bassin versant de la Charente à cause de moyens plus limités.

Différentes techniques de suivi automatisé de la reproduction des Aloses devraient voir le jour dans les années qui viennent. Le bureau d'étude FishPass, partenaire technique pour le suivi vidéo réalisé en 2014 teste des méthodes de détection et de suivi automatique des bulls.

En outre, sur le bassin Rhône Méditerranée, l'association MRM développe depuis 2004 un suivi automatisé de la reproduction à partir d'enregistrements audionumériques reliés à un smartphone. Celui-ci serait capable de manière autonome, de compter les bulls entendus

(Diep, 2013). Un travail collaboratif entre la Cellule Migrateurs et MRM a été engagé afin de progresser sur cet outil.

Les méthodes présentées précédemment augmenteront la fiabilité et la précision de l'estimation du nombre de géniteurs présents sur les frayères d'Aloses sans pour autant augmenter de manière trop importante les moyens humains. De plus, elles permettront de développer nos connaissances sur ces deux espèces et peut-être de parvenir à différencier leurs aires de répartition respectives sur le bassin versant de la Charente.

En 2017, le front de migration de l'Alose est situé à Gondeville. Il s'agit du deuxième front de migration le plus bas jamais observé sur la Charente. Le débit faible observé sur la Charente cette année a pu rendre difficile le franchissement des obstacles cette année. Une hypothèse qui pourrait aussi être émise est la diminution du nombre d'Aloses. Cependant cette hypothèse n'est pas vérifiée puisqu'un nombre relativement important d'Aloses a franchi la passe à poissons de Crouin. Ce front de migration bas semble refléter les résultats obtenus lors de l'estimation du nombre de géniteurs sur les frayères de Taillebourg, La Baine et Crouin. En effet, la difficulté pour les Aloses à se reproduire peut expliquer la difficulté que nous avons eue à mettre en évidence l'activité des frayères situées en amont de Crouin.

Une nouvelle étude de potentialité piscicole sera réalisée prochainement (2018-2019) sur le bassin versant de la Charente afin d'actualiser les connaissances tout en tenant compte du savoir acquis depuis la précédente étude. Cela permettra de guider les futurs suivis piscicoles et notamment celui des Aloses.

Au-delà du bassin de la Charente, de nouveaux programmes de recherche intitulés Shad'eau (Agence de l'eau Adour-Garonne) et Fauna (Région Nouvelle Aquitaine) ont vu le jour. Ces programmes visent à identifier, à l'échelle de plusieurs bassins versants, les facteurs en jeu dans le déclin de l'Alose qui se poursuit et trouver des leviers d'action pour améliorer sa protection.

Références bibliographiques

APRAHAMIAN M.W., BAGLINIERE J.L., SABATIE M.R., ALEXANDRINO P., THIEL R., et APRAHAMIAN C.D., 2003. Biology, status, and conservation of the anadromous Atlantic twaite shad *Alosa fallax fallax*. In Biodiversity, status, and conservation of the world's shads (eds K.E. Limburg & J.R. Waldman). **35**, 103-124.

BAGLINIERE J.L. et ELIE P., 2000. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.). Ecobiologie et variabilité des populations. INRA-Cemagref Editions. 275p.

BAGLINIERE, J.L., SABATIE, M.R., ROCHARD, E., ALEXANDRINO, P., & APRAHAMIAN, M.W., 2003. The allis shad *Alosa alosa*: biology, ecology, range and status of populations. In Biodiversity, status, and conservation of the world's shads (eds K.E. Limburg & J.R. Waldman). **35**, 85-102.

BELAUD A., CARETTE A., CASSOU-LEINS F., & CASSOU-LEINS J.J., 2001. Choix des sites de fraie par la grande alose (*Alosa alosa* L.) en moyenne Garonne. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. **362/363**, 869-880.

BORCARD D., 2000. Régression linéaire (droites d'estimation). Département de sciences biologiques. Université de Montréal. 6p.

BRIAS T., 2014. Ajustement du protocole de suivi et du calcul d'estimation des géniteurs d'aloses sur le bassin Charente. Rapport de stage de master, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France. 36p.

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 de doctorat, Institut National Polytechnique, France. 382 p.

CHANSEAU, M., MAYERAS, F., BRASIER W., NOEL, Y., & LASCAUX, J.M., 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. MIGADO. 41p.

DARTIGUELONGUE J., 2015. Contrôle du fonctionnement de la passe poissons installée à Crouin (16) sur la Charente. Suivi de l'activité ichtyologique en 2014. Services et Conseils en Environnement Aquatique (SCEA), Toulouse, France. 31p.

De Bourmont M., 2012. La résolution d'un problème de multicollinéarité au sein des études portant sur les déterminants d'une publication volontaire d'informations : proposition d'un algorithme de décision simplifié basé sur les indicateurs de Belsley, Kuh et Welsch (1980). Comptabilités et innovation, May 2012, Grenoble, France. 35p.

DIEP D., NONON H., MARCI., et al., 2013. Acoustic counting and monitoring of shad fish populations. International AmiBio Workshop: Recent Progress in Computational Bioacoustics for Assessing Biodiversity, Bonn : Germany (2013). 5p.

HYDRO CONCEPT, 2003. Etude des potentialités piscicoles des bassins de la Charente et de la Seudre pour les poissons migrateurs. EPTB Charente. 182p.

LOCHET A., 2006. Dévalaison des juvéniles et tactiques gagnantes chez la grande alose *Alosa alosa* et l'alse feinte *Alosa fallax*. Thèse, Université de Bordeaux I, France. 208p.

MENNESSON-BOISNEAU C. et BOISNEAU P., 1990. Migration, répartition, reproduction et caractéristiques biologiques des aloses (*Alosa sp.*) dans le bassin de la Loire. Thèse de Doctorat, université de Rennes 1, France. 105p.

Plan de Gestion des Poissons Migrateurs des bassins Garonne, Dordogne, Charente, Seudre, Leyre 2015-2019. Comité rédactionnel.

POSTIC-PUIVIF A., ALBERT F. et BUARD E., 2012. Programme d'Actions 2012-2015. Rapport technique 2012. Cellule Migrateurs Charente Seudre. 145p.

QUIGNARD J.P. et DOUCHEMENT C. (1991). *Alosa alosa* (Linnaeus, 1758). In The freshwater fishes of Europe. **2**, 89-126.

ROCHARD E. et LASSALLE G., 2010. Conservation de la biodiversité et changement climatique : un nécessaire changement de paradigme - Le cas des poissons migrateurs amphihalins, [en ligne], Revue SET, 2010, 104-109.

SOULARD A., LASCAUX J.M., et FIRMIGNAC F., 2010. Site d'intérêt communautaire « vallée de la Dordogne ». Présentation des inventaires piscicoles réalisés au 15/04/2010. MIGADO, ECOGEA. 107p.

TALLERIE S., 2012. Caractérisation des populations d'aloses sur le bassin versant de la Charente. Rapport de stage de master en génie écologique, Université de Poitiers, France. 52p.

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 et écologie. Etude particulière de la dévalisons et de l'impact des activités humaines. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, France. 568 p.

TAVERNY C. et ELIE P., 2001. Répartition spatio-temporelle de la grande alose *Alosa alosa* (Linné, 1766) et de l'alse feinte *Alosa fallax* (Lacépède, 1803) dans le golfe de Gascogne. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. **362/363**, 803-821.

TENENHAUS M., 1998. LA régression PLS : Théorie et Pratique. Technip, Paris. 264p.

VERON V., SABATIE M.R., BAGLINIERE J.L., et ALEXANDRINO P., 2001. First morphological, biological and genetic characteristics of shads (*Alosa alosa* and *Alosa fallax* spp.) in the river Charente (France). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. **362/363**, 1037-1057.

Annexes

Annexe 1 : Pourcentage de bulls estimé par site et par année.

Sites	2010	2011	2013
Canal Moussard	13,8%	5,3%	2%
Taillebourg	24,8%	19,4%	14
Port la Pierre	3,4%	810,0%	8
Port à Clou	6,8%	13,9%	8
Saint Thomas	5,9%	10,7%	7%
Port la Rousselle	10,5%	4,1%	21%
La Baine	17,2%	22,0%	30
Crouin	17,6%	16,4%	9

Annexe 2 : Planning effectué lors du stage.



Annexe 3 : Organisation du stage.

Intervenant	Idée originale	Bibliographie	Mise en place du protocole	Terrain	Ecoute des enregistrements	Statistiques	Rédaction
Principal	APP	ML	APP	ML	ML	ML	ML
Secondaire		APP	ML	APP + EB + FA + FD 16 et 17 + SD 16 et 17			

ML : Mathilde Labedan, stagiaire.

APP : Audrey Postic-Puivif, maître de stage.

EB : Éric Buard, Cellule Migrateurs

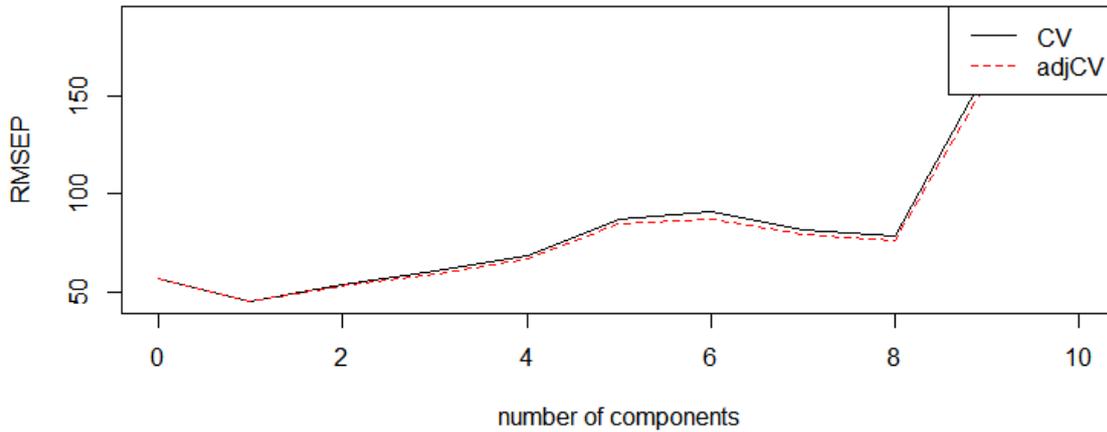
FA : François Albert, Cellule Migrateurs

FD 16 et 17 : Fédérations de pêche Charente et Charente Maritime

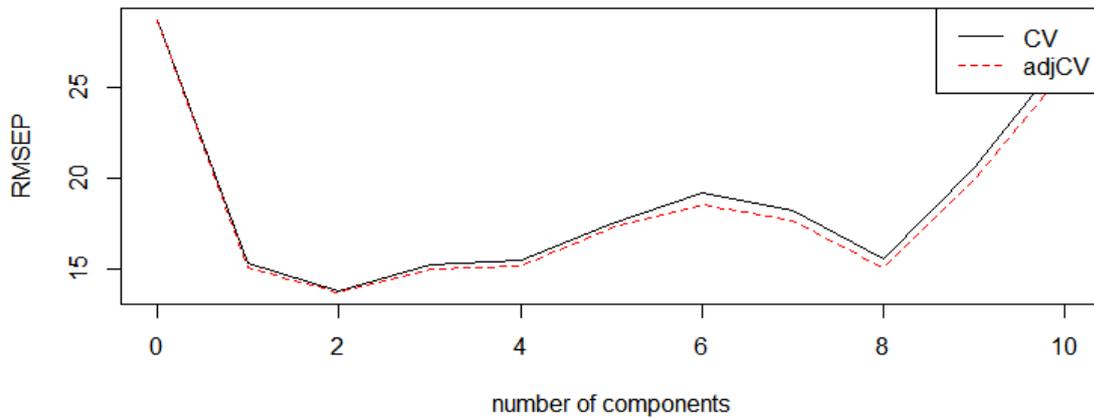
SD 16 et 17 : Agence Française pour la Biodiversité Charente et Charente Maritime

Annexe 4 : Graphiques présentant la racine carrée de l'erreur quadratique (RMSEP) dans trois frayères (1 seule composante sera retenue pour Crouin et Taillebourg et deux pour La Baine).

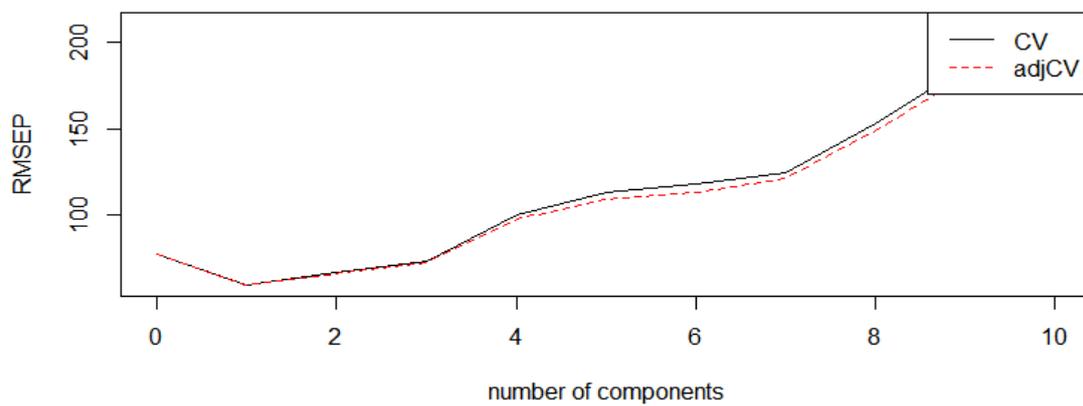
Crouin



LaBaine



Taillebourg



Annexe 5 : Résultats du nombre de bulls des nuits échantillonnées en 2017 avec les variables environnementales associées.

Date	Taillebourg	La Baine	Crouin	Température eau (°C)	Passe à poissons	Débit (m³/s)	Marée à Rochefort	Lune (% de visibilité)
07-08 avril				14,58	8	46,6	62	82
08-09 avril				14,98	14	44,7	73	90
09-10 avril				15,58	3	44,2	82	95
10-11 avril	27	25	36	16,27	24	41,8	88	99
11-12 avril				16,57	11	40,8	90,5	100
12-13 avril				16,55	2	39,6	90,5	99
13-14 avril				16,62	90	38,6	87	97
14-15 avril				16,68	57	38,2	81,5	93
15-16 avril				16,36	102	36,7	73,5	87
16-17 avril				15,94	38	35,4	63,5	80
17-18 avril				15,85	27	35	53	72
18-19 avril				15,86	17	33,9	42,5	64
19-20 avril				15,44	16	32,7	36	50
20-21 avril	40	21	15	14,90	1	31,4	33,5	44
21-22 avril				14,71	9	31,5	38	34
22-23 avril				14,95	6	29	49,5	25
23-24 avril				15,38	16	29,7	64,5	16
24-25 avril				15,64	68	29,7	80	9
25-26 avril				15,61	103	28,9	94	3
26-27 avril				14,89	13	28,9	104	0
27-28 avril	44	44	15	14,55	2	29	109,5	1
28-29 avril				14,21	6	28,8	109,5	3
29-30 avril				14,14	2	28,5	103	9
30-01 mai				14,16	9	28,4	91,5	17
01-02 mai				13,81	0	34	77	27
02-03 mai				13,87	1	34,2	62	38
03-04 mai				14,32	8	32,6	53	50
04-05 mai	74	57	97	14,90	46	31,5	49,5	59
05-06 mai				15,45	83	30,1	51	69
06-07 mai				15,97	9	32,5	58	79
07-08 mai				16,21	34	30,9	66	86
08-09 mai				16,53	66	30,1	73,5	92
09-10 mai				16,63	44	29,6	79	97
10-11 mai				16,57	34	28,5	81,5	100
11-12 mai	61	42	9	16,45	14	29,3	83	99
12-13 mai				16,88	34	28,6	81,5	99
13-14 mai				17,35	89	27,8	78	96
14-15 mai				17,52	48	27,7	73	92
15-16 mai	238	64	184	17,91	61	25,9	66	86
16-17 mai				18,75	147	25,2	58	78
17-18 mai				19,48	154	24,9	50	70
18-19 mai	144	69	79	19,28	96	28	43,5	60

19-20 mai				18,31	18	34,8	41	50
20-21 mai				17,85	6	34,7	43	40
21-22 mai				17,92	5	33,9	51	30
22-23 mai				18,12	30	32,3	63,5	20
23-24 mai	159	81	96	18,15	41	30,8	77,5	12
24-25 mai				18,64	67	29,8	90,5	5
25-26 mai				19,76	97	29,4	101	0
26-27 mai				20,89	75	28,2	106	1
27-28 mai				21,88	52	27,7	106,5	2
28-29 mai				22,49	42	26,6	101,5	7
29-30 mai				22,82	58	24,5	92	15
30-31 mai				22,68	39	21,6	80	24
31-01 juin				22,46	47	23,3	67	34
01-02 juin	200	29		22,50	12	23,3	58	50
02-03 juin				22,94	10	22,5	52,5	55
03-04 juin				22,71	11	22,2	50	65
04-05 juin				21,69	10	23,6	52	74
05-06 juin				21,24	7	22,8	57,5	82
06-07 juin	30	3	12	21,00	8	22,3	63,5	89
07-08 juin				20,55	9	21,7	68,5	94
08-09 juin	34	7	6	20,48	10	22,2	72,5	96
09-10 juin				20,88	6	23,6	75,5	100
10-11 juin				21,16	8	21,6	76	99
11-12 juin				22,02	12	21,2	76	96
12-13 juin				22,60	9	20,3	74	96
13-14 juin				22,78	7	20,2	70	89
14-15 juin				22,95	3	19,9	65,5	83
15-16 juin	67	7	41	23,43	6	18,5	59,5	75
16-17 juin				23,65	4	18,1	54	65
17-18 juin				23,90	2	17	50,5	50
18-19 juin				24,23	0	16,2	50	44
19-20 juin				24,99	7	15,6	53,5	34
20-21 juin				25,76	2	15	61,5	23
21-22 juin				26,31	2	14,4	72,5	14
22-23 juin	3	0	0	26,62	3	13,5	84	7
23-24 juin				26,58	0	11,6	94	2
24-25 juin				25,91	0	13,5	100,5	0
25-26 juin				25,38	0	13,1	103	1
26-27 juin				25,12	0	12,8	101	5
27-28 juin				24,49	0	13,4	94	12
28-29 juin				23,65	0	15,5	84	20
29-30 juin	0	0	0	22,70	0	18,6	72	29
30-01 juillet				21,81	0	23,8	60,5	40
01-02 juillet				21,04	0	24,5	53	50
02-03 juillet				20,53	0	24,7	47,5	60
03-04 juillet				20,64	0	23,4	45	69

Annexe 6 : Corrélation entre les différentes variables pour les frayères de Crouin et Taillebourg.

Crouin	Temps	gtemps	Teau	gTeau	Diff_T	pap	Débit	Diff_D	Marée	Lune
Temps	1									
gtemps	-0,46	1								
Teau	0,87	-0,51	1							
gTeau	-0,59	0,62	-0,58	1						
Diff_T	-0,10	0,21	0,05	0,07	1					
pap	-0,47	0,65	-0,28	0,60	0,39	1				
Débit	-0,88	0,44	-0,84	0,72	0,04	0,40	1			
Diff_D	0,25	-0,04	0,07	-0,15	-0,40	-0,27	-0,19	1		
Marée	-0,05	-0,01	0,04	-0,11	0,08	0,07	-0,09	0,00	1	
Lune	-0,23	0,09	-0,14	0,41	0,15	0,20	0,24	-0,15	-0,25	1

Taillebourg	Temps	gtemps	Teau	gTeau	Diff_T	pap	Débit	Diff_D	Marée	Lune
Temps	1									
gtemps	-0,37	1								
Teau	0,87	-0,41	1							
gTeau	-0,48	0,58	-0,48	1						
Diff_T	-0,10	0,23	0,05	0,08	1					
pap	-0,47	0,65	-0,28	0,60	0,39	1				
Débit	-0,88	0,36	-0,84	0,65	0,04	0,40	1			
Diff_D	0,25	-0,03	0,07	-0,11	-0,40	-0,27	-0,19	1		
Marée	-0,05	-0,03	0,04	-0,12	0,08	0,07	-0,09	0,00	1	
Lune	-0,23	0,07	-0,14	0,42	0,15	0,20	0,24	-0,15	-0,25	1

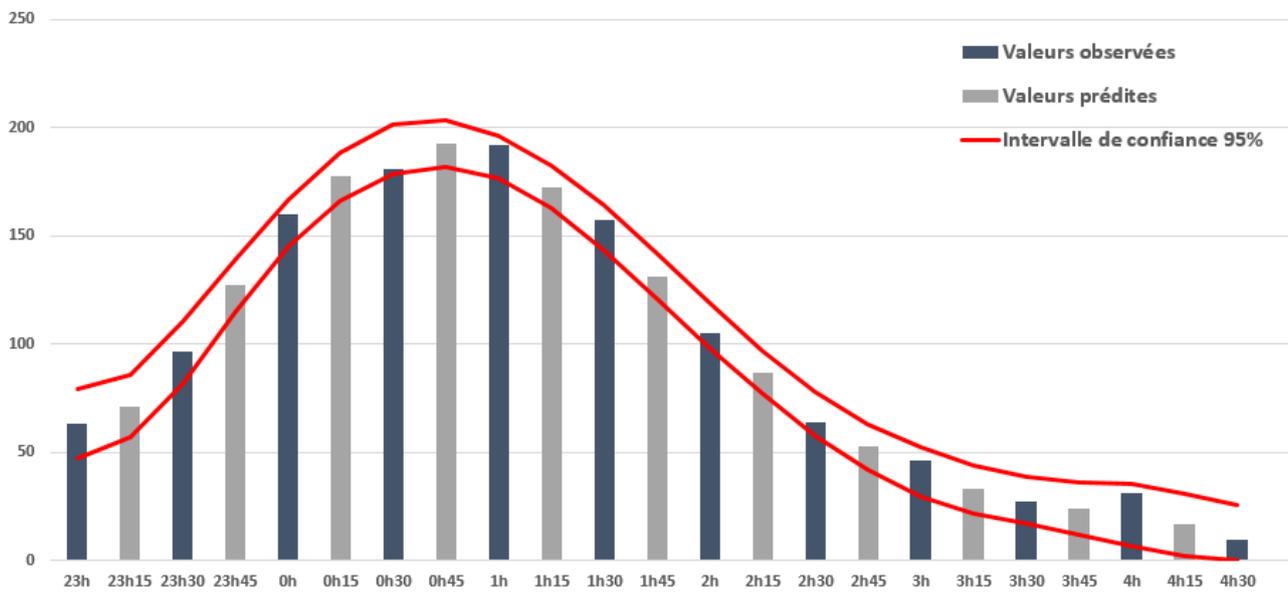
Annexe 7 : Coefficients de régression de chaque variable pour les trois frayères.

Sites	Temps	gtemps	Teau	gTeau	Diff_T	Pap	Débit	Diff_D	Marée	Lune
Crouin	-0,19	0,55	-0,03	0,26	0,01	0,72	0,06	-0,02	-0,17	0,15
La Baine	-0,16	0,43	-0,04	0,17	0,00	0,53	0,07	0,00	0,03	-0,24
Taillebourg	-0,05	0,71	-0,01	0,22	0,00	0,30	0,02	0,00	-0,09	0,04

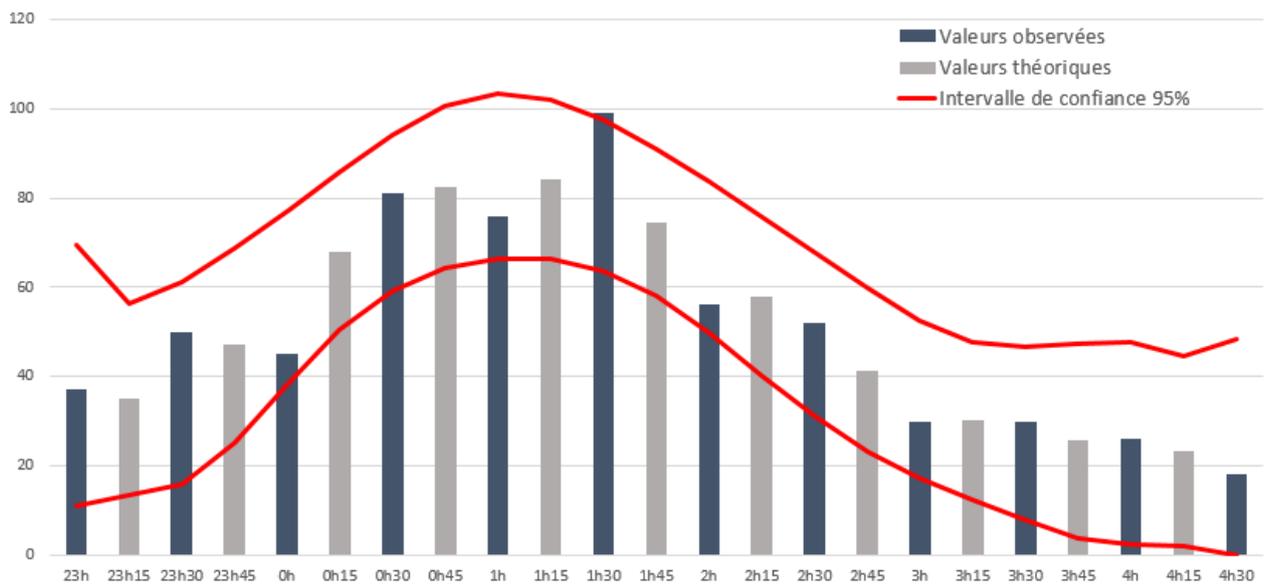
Annexe 8 : Comparaison de l'extrapolation du nombre de bulls pour les nuits manquantes de 2014 entre la méthode lm() et pls() (la méthode lm() n'a pas été testée en 2014 sur la frayère de La Baine puisque toutes les nuits ont été suivies).

Sites	Résultats obtenus en 2014				Recalcul de ces résultats en 2017			
	Méthode lm()				Méthode pls()			
	Borne inférieure	Estimation	Borne supérieure	Marge d'erreur	Borne inférieure	Estimation	Borne supérieure	Marge d'erreur
Crouin	4137	6503	8870	36%	3595	5643	7691	36%
La Baine	2355	2355	2355	0%	1748	2306	2864	24%
Taillebourg	2738	4035	5333	32%	2055	4245	5990	41%

Annexe 9 : Estimation du nombre de bulls pour les quarts d'heure manquants sur le site de Taillebourg. Les courbes rouges représentent l'intervalle de confiance à 95%.



Annexe 10 : Estimation du nombre de bulls pour les quarts d'heure manquants sur le site de Croûin. Les courbes rouges représentent l'intervalle de confiance à 95%.



8-9 Juin 2017	Gondeville																		0	0	20,2	17	Dégagé					
	Chateaufeu																			0	0	20,2	17,4	Nuageux				
	Basseau																			0	0	20,2		Couvert	Orageux			VH + SC (FD16)
	Chalonne																			0	0	20,2	17,8	Pluie				
	Vindelle																			0	0	20,1	19,2	Pluie				
15-16 Juin 2017	La Terne	0	0																			20,1	24	Orage	vent et pluie			
	Canal																					23,2	16	Dégagé				
	Moussard																					23,4	17	Dégagé				JN + PH (FD17)
	Taillebourg																					23,1	14	Dégagé				
	Port à Clou	0	0																									
15-16 Juin 2017	Port la Rousselle																											
	La Baine																											
	Pas des Charettes																											
	Bac de Dompierre																											
	Crouin																											
22-23 Juin 2017	Port Bouthier																											
	Gondeville	0	0																			23,8	17		1 pêcheur chaud le jour			
	Jarnac	0	0																			15						
	Saint-Simon																											
	Vibrac																											
22-23 Juin 2017	Chateaufeu																											
	Sireuil																											
	Fleurac																											
	Basseau																											