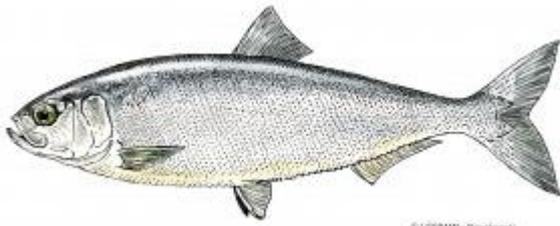
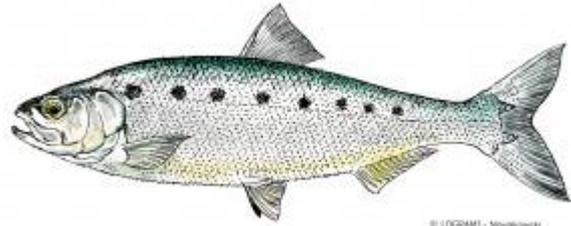


Estimation de la population de géniteurs d'aloses  
(*Alosa sp.*) sur le bassin de la Charente et des  
facteurs influençant la reproduction



Grande alose (*Alosa alosa*)



Alose feinte (*Alosa fallax*)

Marine VAN DER LINDE

Responsable de Stage :

Audrey POSTIC-PUIVIF, Chef de projet Poissons Migrateurs

Structure d'accueil :

EPTB Charente

Date :

du 1<sup>er</sup> mars au 31 août 2018

Année universitaire 2017-2018 – Soutenance le 12 septembre 2018

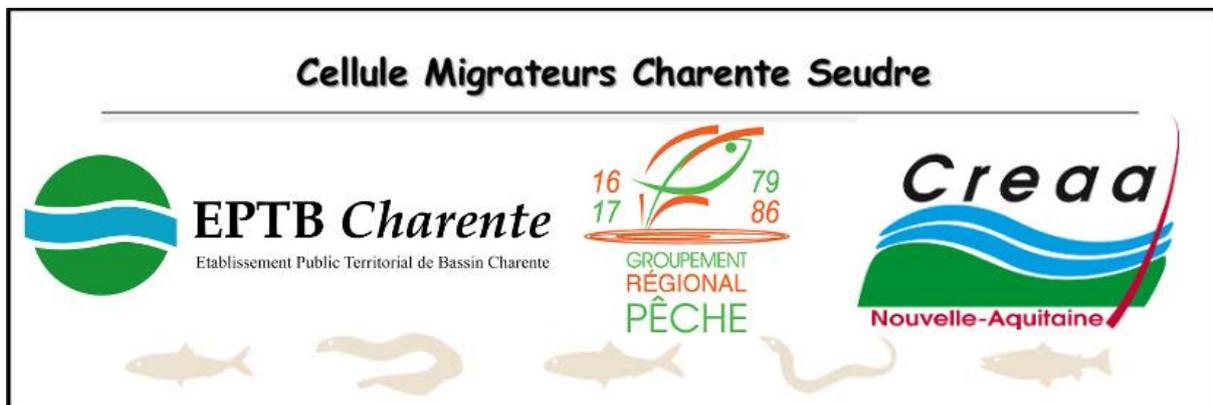
Master 2 « Patrimoine Naturel et Biodiversité »

**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 :**

VAN DER LINDE Marine, 2018. Estimation de la population de géniteurs d'aloses (Alosa sp.) sur le bassin de la Charente et des facteurs influençant la reproduction  
Rapport de stage Master 2 « Patrimoine Naturel et Biodiversité » - Université de Rennes1. EPTB Charente – Cellule Migrateurs Charente Seudre. 55 p.

## Remerciements

Je tiens d'abord à remercier chaleureusement Audrey POSTIC-PUIVIF, ma responsable, pour m'avoir acceptée en stage et pour sa présence tout au long de ses 6 mois. Je la remercie particulièrement pour sa disponibilité et ses corrections, le partage de ses connaissances, sa confiance et ses conseils. Ça a été un réel plaisir de travailler avec toi.

Merci à Éric BUARD et François ALBERT, autres membres de la Cellule Migrateurs, pour leur apport de connaissances, ces sorties terrains, que ce soit à terre comme sur l'eau, sous un soleil de plomb à chercher aloses, lamproies et anguilles ou durant ces longues nuits d'écoute. Malgré le peu de poissons migrateurs de cette saison, j'ai passé de très bons moments.

Je remercie également les équipes de Fédérations de pêches 16 et 17 ainsi que les équipes de l'Agence Française pour la biodiversité 16 et 17 pour le travail fourni dans le suivi de reproduction des aloses.

Pour finir, un grand merci à toute l'équipe de l'EPTB Charente pour son accueil chaleureux, son soutien et les bonnes discussions aux pauses café, les repas partagés et tout simplement la bonne ambiance générale qui régnait au bureau. Un clin d'œil à Adeline, Aurélie et Laura pour cette inoubliable sortie en marais poitevin : un moment de franche rigolade. Un mot aussi pour Lucille et Joanne, à nos galères de stagiaires, courage pour la suite.

# Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Matériels et méthodes.....</b>	<b>3</b>
1. Le Bassin Charente.....	3
1.1. Généralités.....	3
1.2. La passe à poissons de Crouin.....	3
1.3. La Cellule Migrateurs.....	4
1.4. Frayères étudiées.....	5
2. Les aloses ( <i>Alosa</i> sp.).....	5
2.1. Systématique et protection.....	5
2.2. Régime alimentaire.....	6
2.3. Distribution biogéographique.....	6
2.4. Cycle biologique.....	8
2.5. Reproduction et caractéristique d'un bull.....	8
2.6. Intérêts des aloses.....	9
2.7. Problèmes rencontrés par les aloses.....	9
2.8. Moyens mis en œuvre pour la conservation des aloses sur la Charente.....	10
3. Suivi audio de la reproduction.....	11
3.1. Sites d'écoutes.....	11
3.2. Pose des enregistreurs audionumériques.....	11
3.3. Suivi terrain nocturne.....	12
3.4. Acquisition des variables environnementales et biologiques.....	12
3.5. Traitement des données.....	13
3.5.1. Dépouillements des enregistrements.....	13
3.5.2. Extrapolation des nuits manquantes.....	14
3.5.3. Calibration.....	15
3.5.4. Interpolation des quarts d'heure manquants.....	15
3.5.5. Calcul du nombre de géniteurs.....	15

4. Survie des œufs et des larves.....	16
5. Suivi du linéaire.....	16
6. Front de migration.....	17
6.1. Suivi diurne.....	17
6.2. Suivi nocturne de l'activité de reproduction.....	17
7. Passages à la passe à poissons de Crouin.....	18
<b>Résultats et discussion.....</b>	<b>19</b>
1. Données brutes.....	19
1.1. Nombre de bulls dépouillés.....	19
1.2. Effort d'échantillonnage des principales frayères depuis 2010.....	19
2. Nombre de géniteurs.....	20
2.1. Géniteurs estimés sur la saison 2018.....	20
2.2. Géniteurs estimés sur le bassin Charente depuis 2013.....	20
3. Facteurs influençant le nombre de bulls par nuit.....	22
3.1. Facteurs impactant la reproduction de 2018.....	22
3.2. Facteurs influençant la reproduction sur le bassin Charente de 2014 à 2018.....	25
4. Efficacité de la reproduction.....	27
4.1. Température et débit.....	27
4.2. Survie cumulée des œufs et larves par le suivi de la température de l'eau.....	28
5. Suivi du linéaire.....	29
6. Front de migration.....	31
7. Passages à la passe à poissons de Crouin.....	33
<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>35</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>36</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>40</b>

# Table des illustrations

## Liste des figures

- Figure 1. Carte du bassin Charente avec sa localisation à l'échelle nationale (Source : EPTB Charente)..... 3
- Figure 2. Carte partielle de la Charente où est indiqué l'emplacement du barrage de Crouin et photo du barrage. Visuel depuis l'île, côté rive droite (Source : création personnelle)..... 4
- Figure 3. Photos : A. du système d'enregistrement vidéo de la station de comptage ; B. de la passe à poisson de Crouin vu de haut ; C. du passage en montaison de deux aloses (*Alosa sp.*) dont l'une parasitée par une lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) et d'une anguille (*Anguilla anguilla*) (Sources : F. Albert, photo personnelle, EPTB Charente)..... 4
- Figure 4. Carte de la Charente et de ses principales affluents. Sont indiquées les frayères secondaires (points jaunes) et les trois principales frayères : Taillebourg, La Baine et Crouin (étoiles violettes) (Source : création personnelle)..... 5
- Figure 5. Dessins des deux espèces françaises d'aloses : A. *alosa* et A. *fallax* et schémas de leur premier arc branchial avec le nombre de branchiospines permettant leur identification (Source : DORIS, 2018 ; modification personnelle)..... 5
- Figure 6. Cartes de répartition française (A) de la grande alose (*Alosa alosa*) et (B) de l'alose feinte (*Alosa fallax*) (Source : MNHN INPN, mise à jour 2017)..... 7
- Figure 7. Cycle biologique de *Alosa alosa* (en vert) et de *Alosa fallax* (en violet) dans les cours d'eau français. Les périodes des stades de développement et les événements du cycle sont indiqués en italique (Sources : Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981 ; Taverny, 1991 ; Baglinière & Elie, 2000 ; Aprahamian *et al.*, 2003 ; Baglinière *et al.*, 2003 ; Lochet, 2006 ; création personnelle)..... 7
- Figure 8. Schéma d'une frayère théorique d'aloses (*Alosa alosa*) et de ses caractéristiques (Source : Barral du MRM)..... 8
- Figure 9. Carte représentant l'emplacement des trois principales frayères de la Charente : Taillebourg, La Baine et Crouin (Source : création personnelle)..... 10
- Figure 10. (A) Photo du dispositif d'enregistrement posé sur le site de Taillebourg et (B) schéma des dispositifs d'enregistrements (Source : photo et création personnelles)..... 11
- Figure 11. Photo de la forme du son d'un bull entendu sur la frayère de Taillebourg grâce au logiciel Audacity® (Source : photo personnelle)..... 13
- Figure 12. Schéma des plages de températures pour une survie cumulée des œufs et des larves supérieure à 80% (*gamme optimale*) et supérieure à 5 % (*gamme de tolérance*) (Sources : Jatteau *et al.*, 2017 ; modification personnelle)..... 15
- Figure 13. Carte des trois principales frayères de la Charente et des 13 frayères secondaires prospectées lors du suivi du linéaire (Source : création personnelle)..... 15
- Figure 14. Carte des trois principales frayères de la Charente et des frayères secondaires prospectées en 2018 lors de la recherche du front de migration (Source : création personnelle)..... 17
- Figure 15. Nombre total de bulls entendus au cours de la saison 2018 sur les trois principales frayères de la Charente. De l'aval vers l'amont : Taillebourg (n = 16 nuits), La Baine (n = 15) et Crouin (n = 16)..... 18
- Figure 16. Nombre total de géniteurs d'aloses estimés depuis 2013 sur la Charente. L'année 2015 n'apparaît pas en raison du faible nombre de prospection des frayères, n = 3. Les barres d'erreur représentent le nombre de géniteurs pour les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance sauf pour 2013 où ces bornes n'ont pas été calculées..... 19

Figure 17. Nombre de géniteurs d'aloses depuis 2013 sur chacune des trois principales frayères de la Charente (Taillebourg, La Baine et Crouin). L'année 2015 n'apparaît pas en raison du faible nombre de prospection, n = 3 par frayère. Les barres d'erreur représentent le nombre de géniteurs pour les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance sauf pour 2013 où ces bornes n'ont pas été calculées.....	20
Figure 18. Transformation gaussienne du nombre de bulls selon (A) la température de la Charente (°C) et selon (B) l'indice journalier de la saison de reproduction (du jour 1 au jour 90) en 2018 sur le site de Taillebourg. Les cercles indiquent le nombre de bulls faibles à basses (bleu) et hautes (rouge) températures et au début (bleu) et à la fin (rouge) de la période de reproduction.....	22
Figure 19. Somme du nombre de bulls des trois principales frayères par nuit échantillonnée selon (A) la température journalière (°C) et selon (B) le débit journalier de la Charente en 2018. La bande verte indique la température seuil de la reproduction d'après Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981 et Baglinière & Elie, 2000.....	22
Figure 20. Nombre d'aloses ayant franchi la passe à poissons de Crouin selon le nombre de bulls dépouillés en 2018.....	23
Figure 21. Nombre de bulls dépouillés en 2018 selon les jours de suivi (de 1 à 90) et selon les coefficients de marée (courbe bleue) et le pourcentage de la luminosité théorique de la lune (courbe jaune).....	24
Figure 22. Température de la Charente (°C) en fonction du nombre de bulls dépouillés (N = 232) sur les années 2014 (orange), 2016 (vert), 2017 (violet) et 2018 (bleu).....	25
Figure 23. Différence de débit (m <sup>3</sup> /s) entre le jour J et le jour précédant J <sub>-1</sub> en fonction du nombre de bulls dépouillés (N = 232) sur les années 2014 (orange), 2016 (vert), 2017 (violet) et 2018 (bleu).....	25
Figure 24. Nombres d'aloses (bleu) et de silures (orange) franchissant la passe à poissons de Crouin selon le nombre de bulls dépouillés (N = 232) pour les années 2014, 2017 et 2018.....	26
Figure 25. Température moyenne de la Charente (°C) du 1 <sup>er</sup> mars au 17 juillet, à la passe à poissons du Crouin (2011-2017) et à Châteauneuf-sur-Charente (2016), selon les années (n = 365/an). Les lettres présentent la significativité du test post-hoc EMMs ( <i>Estimated Marginal Means</i> ) à p < 0,05. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards.....	26
Figure 26. Débit moyen de la Charente (m <sup>3</sup> /s) du 1 <sup>er</sup> mars au 31 juillet à la station de Beillant selon les années (n = 365/an). Les lettres présentent la significativité du test post-hoc EMMs ( <i>Estimated Marginal Means</i> ) à p < 0,05. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards.....	27
Figure 27. Nombre jours où la température a un impact négatif sur la survie cumulée des œufs et larves d'aloses selon les années (n = 153/an). Gamme optimale (survie cumulée <80%) à températures comprises entre 16,6 et 24,8 °C ; gamme de tolérance (survie cumulée <5%) à températures comprises entre 10,8 et 29,8 °C.....	27
Figure 28. Carte de l'activité des 16 frayères prospectées pour le suivi du linéaire. Les frayères actives sont en verts et les inactives en orange.....	29
Figure 29. Carte de la répartition des cadavres de grandes aloses, aloses feintes et hybrides sur la Charente avec les données depuis 2012.....	30
Figure 30. Carte de l'activité des frayères prospectées pour la recherche du front de migration. Les frayères actives sont en verts et les inactives en orange.....	31
Figure 31. Schéma représentatif de l'évolution du front de migration selon les années sur la Charente.....	31
Figure 32. Nombres d'aloses ( <i>Alosa sp.</i> ) et de silures ayant franchi la passe à poissons de Crouin selon les années de suivi. Les années 2011 et 2016 ne sont pas représentées suite à des dégâts causés à la passe ces années-là.....	32

Figure 33. Pourcentage moyen de jours de présence du silure (*Silurus glanis*) sur la période de présence d'aloses dans la passe à poissons de Crouin selon les années (n = 580). Les années 2011 et 2016 ne figurent pas dans l'analyse en raison de d'inondation et de travaux dans la passe. Les lettres présentent la significativité du test post-hoc EMMs (*Estimated Marginal Means*) à  $p < 0,05$ . Les barres d'erreur représentent les erreurs standards..... 32

## **Liste des tableaux**

Tableau I. Nombre de nuit de suivi de reproduction sur les trois principales frayères (Taillebourg, La Baine et Crouin) depuis 2010. Les années présentant un nombre plus important de nuit de suivi (en gras) servent pour l'estimation du nombre de géniteurs et la recherche des facteurs impactant la reproduction.....	18
Tableau II. Récapitulatif de l'estimation du nombre de bulls (en gras) et de l'intervalle de confiance à 95%, obtenus sur les trois principales frayères d'étude (Taillebourg, La Baine et Crouin).....	19
Tableau III. Récapitulatif des sites prospectés et actifs, du nombre de nuit de sortie et du nombre total de visites des frayères ainsi que du nombre de personnes nécessaires.....	28
Tableau IV. Récapitulatif du nombre maximal de bulls par quart d'heure par frayères depuis 2013 avec les trois principales frayères (Taillebourg, La Baine, Crouin) et les nombres les plus importants en gras par frayère.....	29
Tableau V. Nombre de sites prospectés et actifs de jour et de nuit avec le nombre de sortie et les moyens humains mis en place en 2018.....	30

## **Liste des annexes**

Annexe 1 – Traitements statistiques.....	I
Annexe 2 – Formules de la courbe de Gauss.....	II
Annexe 3 – Résultats de l'extrapolation des nuits manquantes.....	II
Annexe 4 – Bulls dépouillés et entendus sur le terrain et droite de régression.....	II
Annexe 5 – Résultats de la calibration.....	II
Annexe 6 – Résultats des AIC et AICc pour chaque équation.....	III
Annexe 7 – Exemple du nombre de bulls estimés pour les quarts d'heure manquants sur le site de Taillebourg.....	III
Annexe 8 – Résumé des résultats de chaque étape de calcul et nombre de bulls total.....	IV
Annexe 9 – Débit de la Charente selon les jours depuis 2011.....	IV
Annexe 10 – Température de la Charente selon les jours depuis 2011.....	V
Annexe 11 – Dates de manœuvre des vannes du barrage de La Baine.....	V
Annexe 12 – Nombre de bulls par nuit en 2018, débit, oranges et manœuvre des vannes.....	VI
Annexe 13 – Carte des principales frayères et des sites de Saint Savinien et Saintonge.....	VI
Annexe 14 – Résultats de l'analyse statistique des facteurs de 2018.....	VII
Annexe 15 – Résultats de l'analyse statistique des facteurs de 2014, 2016, 2017 et 2018.....	VII
Annexe 16 – Plages des températures de survie cumulée des œufs et larves.....	VIII
Annexe 17 – Résultats de l'analyse statistique de la présence du silure dans la passe.....	VIII

## Introduction

Les poissons migrateurs amphihalins sont des espèces accomplissant de longs trajets migratoires entre les milieux marins et fluviaux durant leur cycle de vie. Ils se répartissent en deux catégories (Myers, 1949 ; Baudoin *et al.*, 2014). Les espèces dites anadromes, comme la grande alose (*Alosa alosa*) et l'alose feinte (*Alosa fallax*), vivent et se nourrissent en mer puis migrent afin de se reproduire en rivière.

Les aloses sont des espèces particulièrement sensibles en raison des nombreuses pressions qu'elles subissent. Le changement entre eaux douces et salées induit une pression osmotique et les trajets migratoires, une dépense importante d'énergie (Zydlewski & Wilkie, 2012). Les changements du milieu comme le réchauffement des eaux, les variations de débits, les étiages importants ou la mauvaise qualité des eaux impactent fortement ces populations (Labedan, 2017).

Les pressions anthropiques sont nombreuses (Taverny, 1991 ; Baglinière *et al.*, 2003 ; Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2011) : la surexploitation des populations par pêche ou braconnage (civelles, caviars d'esturgeon...), la pollution des eaux, la destruction des frayères par extraction de granulats... Les introductions biologiques induisent de nouveaux impacts comme la nouvelle pression de prédation et d'effarouchement exercée par le silure (*Silurus glanis*) sur les grands fleuves français (Baudoin *et al.*, 2014 ; Guillerault *et al.*, 2015 ; Dartiguelongue, 2018).

Les ouvrages constituent des obstacles à la montaison et dévalaison des poissons migrateurs faisant d'eux l'une des causes de régression de population chez ces espèces (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2011). Ils induisent de nombreux impacts sur les populations en raison des problèmes de franchissement, de par leur nombre important et de par leur conception (Baudoin *et al.*, 2014). En effet, il serait plus de 70 000 obstacles recensés en France, de façon non exhaustive (Baudoin *et al.*, 2014).

Ces difficultés de franchissement peuvent limiter l'accès aux sites de reproduction et imposer des zones pour frayer qui ne seraient pas sélectionnées si elles étaient accessibles librement. Ces restrictions induisent parfois, comme chez les aloses, des cas d'hybridation entre aloses feintes (*A. fallax*) et grandes aloses (*A. alosa*).

Le blocage ou ralentissement au pied des ouvrages entraîne des retards dans la migration avec, pour conséquence, des mortalités par épuisement, un stress ainsi que des blessures suite à des tentatives de franchissement répétées (Larinier *et al.*, 1994 ; Baudoin *et al.*, 2014). Ainsi vulnérables, les poissons sont plus sensibles à la prédation et aux risques de maladies (Baudoin *et al.*, 2014 ; Guillerault *et al.*, 2015). Pour les juvéniles et les adultes ayant survécus à la reproduction, il est possible que des individus soient blessés ou tués lors de la dévalaison. En effet, ils sont susceptibles d'être entraînés dans les prises d'eau comme les turbines des centrales hydroélectriques où ils peuvent subir d'importants dommages (Baudoin *et al.*, 2014).

Pour pallier à ces problèmes de franchissement, il est possible d'effacer, d'aménager ou de gérer les ouvrages afin de permettre la montaison et/ou la dévalaison des espèces migratrices pour qu'elles atteignent leurs sites de reproduction ou de croissance.

En 2017, le nombre de géniteurs d'aloses estimés a radicalement chuté, passant de plus de 20 000 en 2016 à 6 817 en 2017 (Labedan, 2017). Le front de migration, c'est-à-dire le point le plus en amont où ont été observées les aloses, a été un des plus bas depuis 2011 (Labedan, 2017). Les conditions d'étiage sévères qui ont duré en 2017, ont pu rendre le franchissement des obstacles difficiles et peuvent

expliquer en partie la faible reproduction de 2017 compte tenu de l'importance du débit dans la migration puis la reproduction des aloses.

La question est de savoir comment va évoluer la population d'aloses du bassin Charente cette saison 2018 et quels sont les facteurs qui vont influencer cette reproduction.

Un des objectifs de cette étude est de suivre l'activité des trois principales frayères de la Charente à l'aide d'enregistrements audionumériques afin de pouvoir estimer le nombre de géniteurs présents cette année sur le bassin de la Charente puis de le comparer aux années précédentes. Le deuxième objectif est de déterminer quels sont les facteurs qui influencent la reproduction de cette année et qui ont influencé celles des années précédentes en analysant particulièrement la température de l'eau, le débit et la présence du silure. L'efficacité de la reproduction par la survie des œufs et larves à l'aide des températures de l'eau sera aussi estimée. Le dernier objectif est de suivre l'activité des frayères de la Charente et de déterminer le front de migration des aloses sur la Charente.

# Matériels et méthodes

## 1. Le bassin Charente

### 1.1. Généralités

Le bassin de la Charente est localisé entre la Loire au nord et la Gironde au sud. Sa superficie de 10 549 km<sup>2</sup> (EPTB Charente, 2018) en fait le plus petit bassin versant d'Adour-Garonne. Situé en région Nouvelle-Aquitaine, il s'étend sur les départements suivants : la Charente, la Charente-Maritime, la Dordogne, les Deux-Sèvres, la Vienne et la Haute-Vienne.

Le bassin charentais offre une grande diversité d'habitats propice à la reproduction et au développement des poissons migrateurs amphihalins. Il accueille principalement les anguilles, les grandes aloses et aloses feintes, les lamproies marines et fluviatiles, les truites de mer et saumons atlantiques.

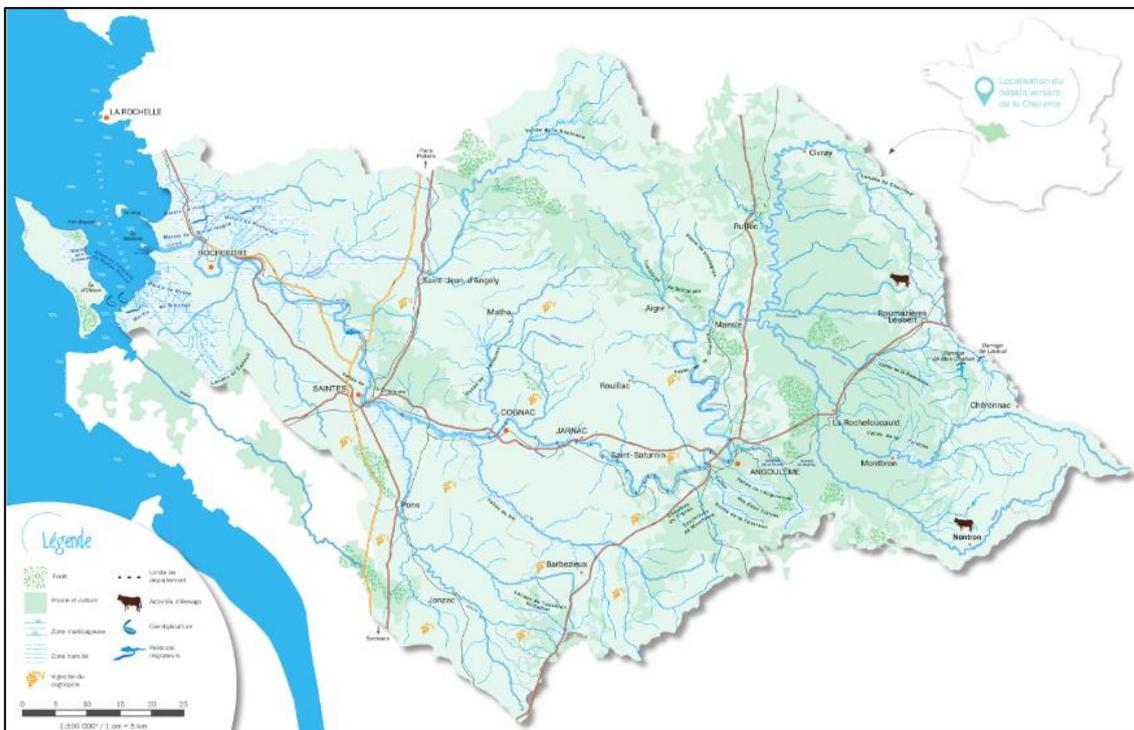


Figure 1. Carte du bassin Charente avec sa localisation à l'échelle nationale (Source : EPTB Charente).

Son cours d'eau principal, la Charente, prend sa source à Chéronnac dans le Massif Central et s'étire sur 365 km avant de se jeter dans l'océan atlantique au niveau de la baie de Marennes Oléron. Le bassin charentais comporte un système hydrographique de 6 650 km soutenus par 22 affluents (Fig. 1).

### 1.2. La passe à poissons de Crouin

Le barrage de Crouin est situé à environ 100 km de l'océan, sur la commune de Merpins en aval de la ville Cognac (16). En 2003, ce barrage présentait une hauteur de chute à l'étiage de 1,6 m et était listé dans les ouvrages de classe 3 (Hydro Concept, 2003). Il était alors considéré comme difficilement franchissable en période d'étiage du fait des enrochements apparents, de jets verticaux sur les vannes et du débit concentré sur un clapet.

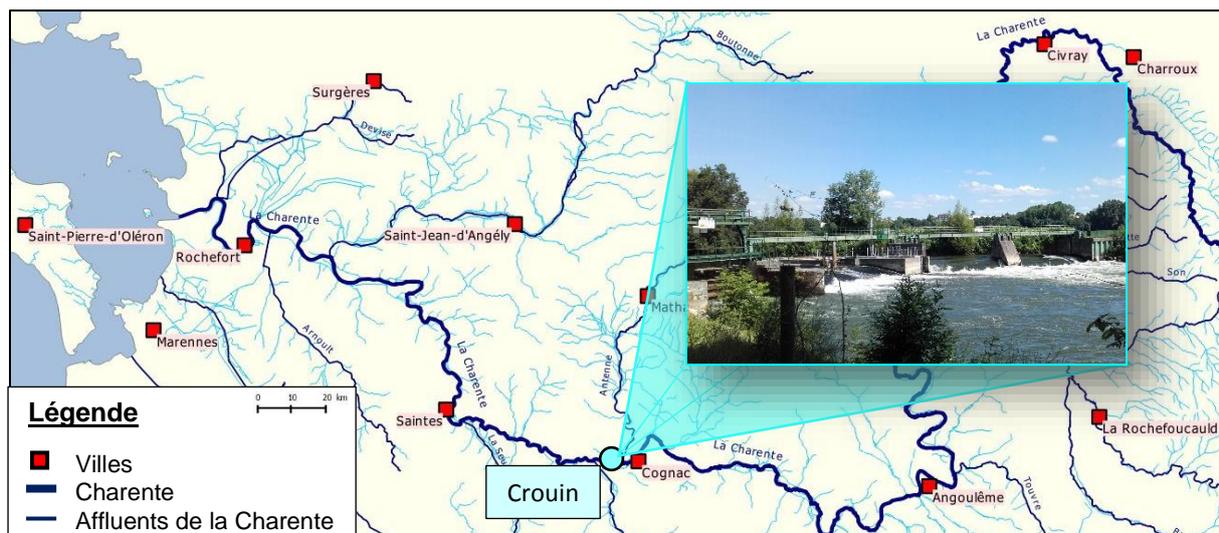


Figure 2. Carte partielle de la Charente où est indiqué l'emplacement du barrage de Crouin et photo du barrage. Visuel depuis l'île, côté rive droite (Source : création personnelle).

Le barrage de Crouin a été équipé d'une passe à poissons de type passe à bassins successifs à fentes verticales qui est opérationnelle depuis janvier 2010 (Fig. 2).

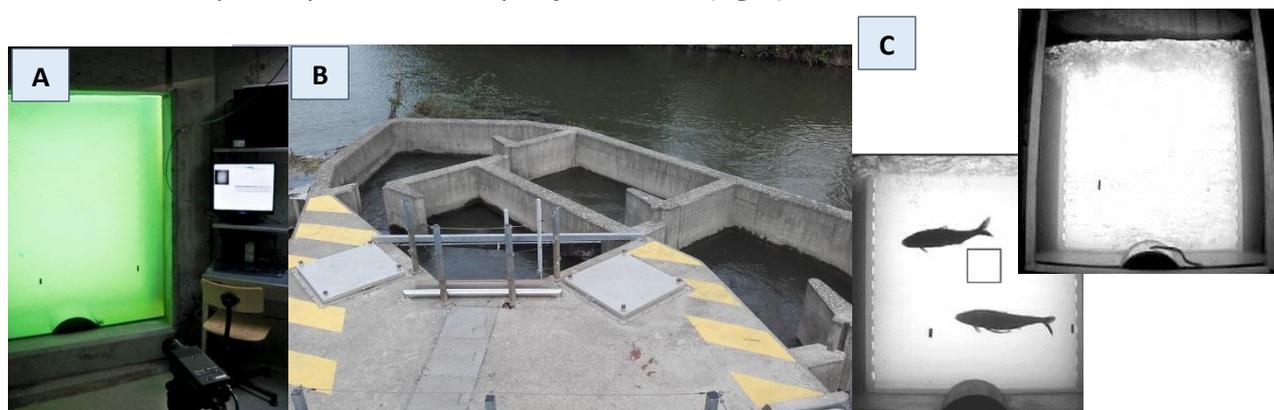


Figure 3. Photos : A. du système d'enregistrement vidéo de la station de comptage ; B. de la passe à poisson de Crouin vu de haut ; C. du passage en montaison de deux aloses (*Alosa sp.*) dont l'une parasitée par une lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) et d'une anguille (*Anguilla anguilla*) (Sources : F. Albert, photo personnelle, A. Postic-Puivif).

Cette passe est équipée d'une station de comptage avec un enregistrement vidéo afin d'assurer le suivi des poissons migrateurs chaque année (Fig. 3).

### 1.3. La Cellule Migrateurs

La Cellule Migrateurs Charente Seudre a été créé en 2009 sur le Bassin Charente. Elle regroupe l'Établissement Public Territorial du Bassin Charente (EPTB Charente), le Groupement des Fédérations de Pêche de Poitou-Charentes et le Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole (CREAA).

Depuis 2009, elle a mis en place 3 plans d'actions (2009-2011, 2012-2015, 2016-2020) comportant trois thématiques : la continuité écologique, la connaissance de l'état des populations de poissons migrateurs et les actions de communication. C'est à partir de cette année-là que les suivis d'aloses s'intensifient sur la Charente.



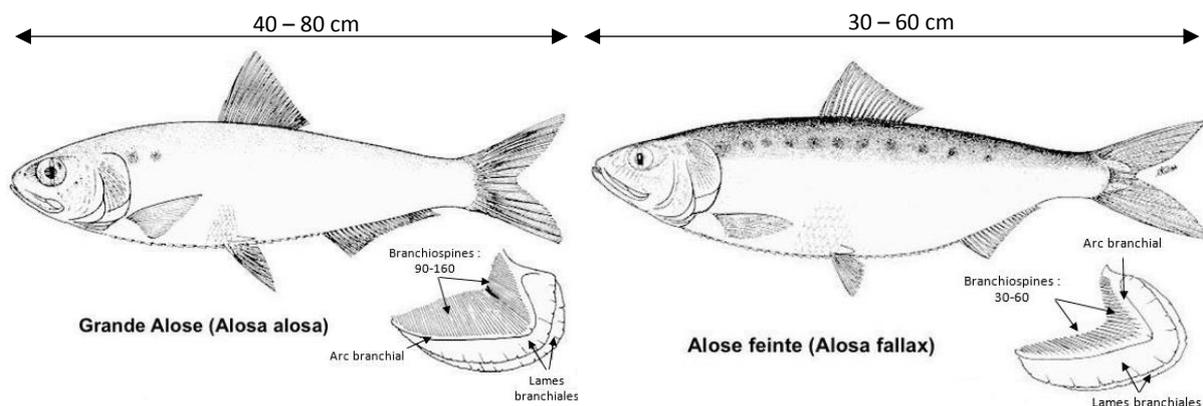


Figure 5. Dessins des deux espèces françaises d'aloses : *A. alosa* et *A. fallax* et schémas de leur premier arc branchial avec le nombre de branchiospines permettant leur identification (Source : DORIS, 2018 ; modification personnelle).

Morphologiquement (Fig. 5), les deux espèces se distinguent principalement par le nombre de branchiospines présentes sur le premier arc branchial (Baglinière & Elie, 2000). La grande alose en possède plus de 90 tandis que l'aloise feinte en a moins de 60.

Ces deux espèces sont classées vulnérables en Europe et sur le territoire français. Elles sont également listées dans les annexes III des conventions de Berne (1979) et de Barcelone ainsi que dans les annexes II et V de la Directive Habitat-Faune-Flore (Véron *et al.*, 2001 ; Rochard & Lasalle, 2010 ; MNHN INPN, 2018). Elles font l'objet d'une protection nationale (Arrêté du 8 décembre 1988, article 1) et sont listées dans les CoGePoMi depuis 1994. La grande alose (*Alosa alosa*) est listée dans l'annexe V de la convention OSPAR de 1992 (Rochard & Lasalle, 2010).

En France, la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) de 2006 impose un aménagement des barrages sur certains cours d'eau (article L214-17 du code de l'Environnement) afin d'assurer la libre circulation piscicole (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2011).

La Trame Verte et Bleue (TVB) a pour objectifs de diminuer la fragmentation des habitats en prenant en compte les déplacements des espèces et de relier les espaces importants par des corridors écologiques (article L371-1 du code de l'Environnement). Elle doit aussi contribuer au bon état écologique (quantité et qualité) des masses d'eau (Sordello *et al.*, 2014).

Plus spécifiquement, les Comités de Gestion des Poissons Migrateurs (CoGePoMi) sont des assemblées des grands bassins fluviaux français regroupant des représentants des collectivités territoriales, des représentants de la pêche professionnelle et de loisir, des scientifiques, des usagers, des propriétaires d'ouvrages et des concessionnaires (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2015). Ils mettent en place des Plans de Gestion des Poissons Migrateurs (PlaGePoMi<sup>2</sup>) en eau douce et en mer fixant pour 5 ans des mesures pour la reproduction, le développement, la conservation et la circulation des espèces.

Malgré ces protections, une diminution des reproducteurs est constatée depuis de nombreuses années sur les grands fleuves de France (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981 ; Boisneau *et al.*, 1990 ; Véron *et al.*, 2001). Ces dernières années, les effectifs de géniteurs à la montaison et en reproduction sont bas sur la plupart des bassins de la moitié sud de la France (Legrand & Besse, 2018 ; MIGADO, 2018a).

## 2.2. Régime alimentaire

En milieux fluviaux, les juvéniles d'aloses se nourrissent principalement de larves d'insectes (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981). Cependant, le régime alimentaire des deux espèces se distingue pendant la phase de croissance en mer. La grande alose (*Alosa alosa*) est planctophage tandis que l'alose feinte (*Alosa fallax*) est piscivore (Lochet, 2006). Les aloses cessent de s'alimenter lors de leur migration en eau douce.

## 2.3. Distribution biogéographique

Depuis le XX<sup>e</sup> siècle, les deux espèces connaissent une diminution de leur aire de répartition (Lochet, 2006). Cependant, elles sont présentes sur tous les grands fleuves français (Baglinière *et al.*, 2003 ; Aprahamian *et al.*, 2003).

*Alosa alosa* (Fig. 6A) se répartit sur les côtes atlantiques de la Norvège au Maroc (Baglinière *et al.*, 2003). Les populations françaises sont les plus importantes sur la Loire et le bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne où elles ont régressé ces dernières années (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981 ; Baglinière & Elie, 2000 ; MIGADO 2018a). Elles se sont étendues vers le nord notamment en Bretagne et Normandie (Hydro Concept, 2003). La grande alose a disparu de Méditerranée, de la Seine début XX<sup>e</sup> et du Rhône dans les années 1940 (Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981 ; Baglinière & Elie, 2000 ; Baglinière *et al.*, 2003 ; Lochet, 2006).

*Alosa fallax* (Fig. 6B) est actuellement présente des îles sur la façade atlantique britannique au Maroc et en Méditerranée (Baglinière & Elie, 2000 ; Aprahamian *et al.*, 2003).

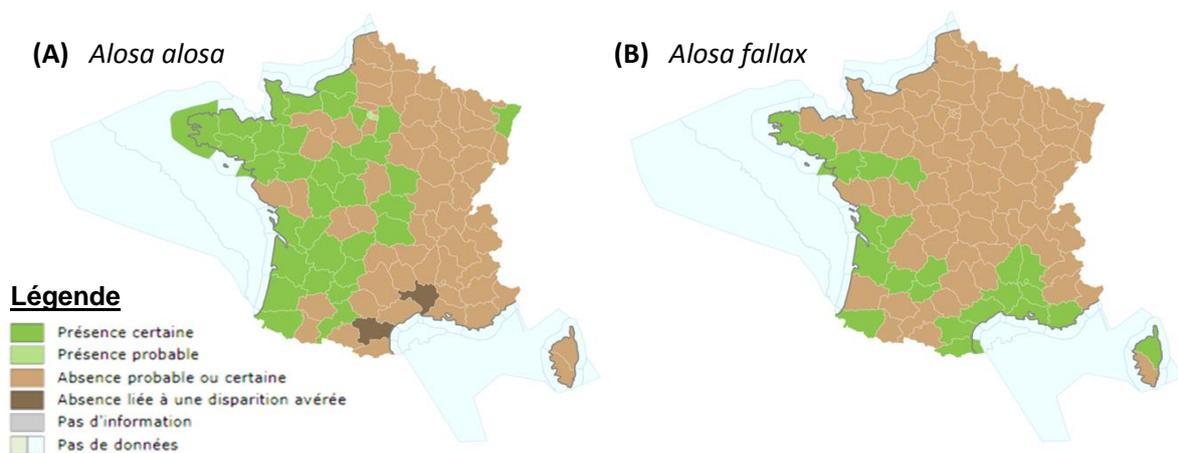


Figure 6. Cartes de répartition française (A) de la grande alose (*Alosa alosa*) et (B) de l'alose feinte (*Alosa fallax*) (Source : MNHN INPN, mise à jour 2017).

## 2.4. Cycle biologique

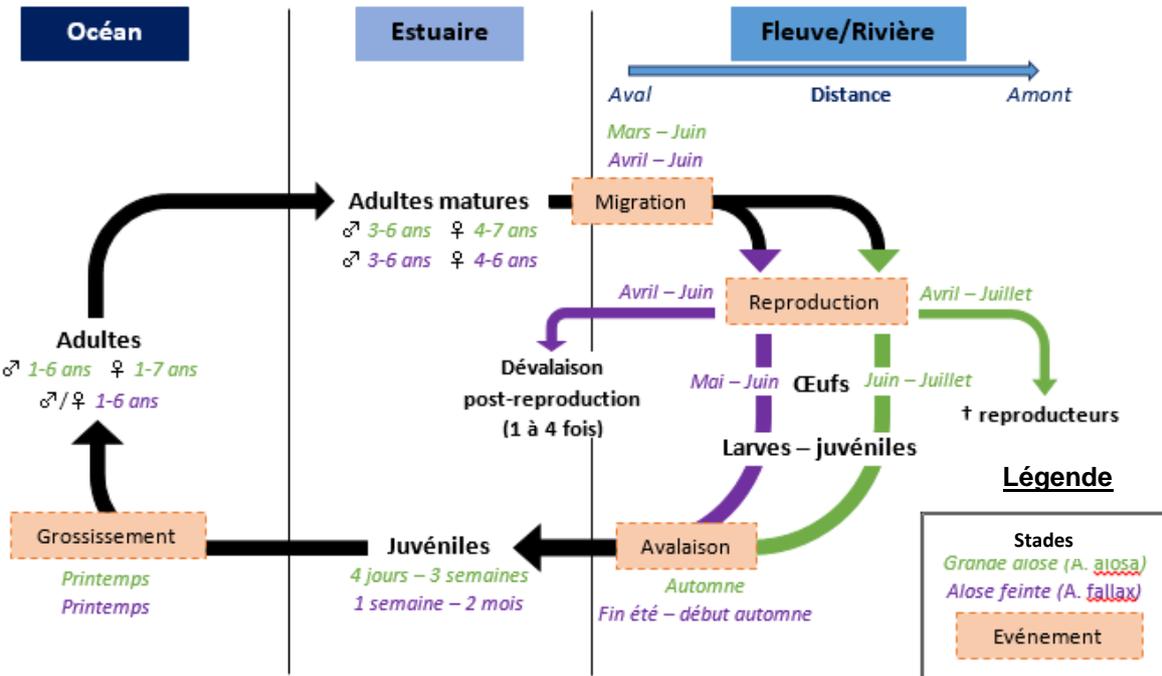


Figure 7. Cycle biologique de *Alosa alosa* (en vert) et de *Alosa fallax* (en violet) dans les cours d'eau français. Les périodes des stades de développement et les événements du cycle sont indiqués en italique (Sources : Cassou-Leins et Cassou-Leins, 1981 ; Taverny, 1991 ; Baglinière & Elie, 2000 ; Aprahamian *et al.*, 2003 ; Baglinière *et al.*, 2003 ; Locht, 2006 ; création personnelle).

Les aloses adultes matures migrent au printemps entre mars et juin (Fig. 7). Elles remontent les fleuves où elles sont nées au moment où les températures de l'eau se situent entre 10 et 12°C (Aprahamian *et al.*, 2003 ; Baglinière *et al.*, 2003).

Suite à la reproduction printanière, les géniteurs de grandes aloses meurent tandis que ceux de l'alose feinte, itéropares, tentent d'effectuer une migration post-reproduction afin de rejoindre la mer (Baglinière & Elie, 2000). Après l'éclosion, entre mai et juillet, les alosons ou juvéniles dévalent les fleuves en automne afin d'atteindre les estuaires. Le grossissement a lieu en mer et dure plusieurs années.

## 2.5. Reproduction et caractéristique d'un bull

La reproduction a lieu entre avril et juillet. Chez ces deux espèces, elle s'effectue sur des zones de frayères caractérisées par une plage de substrats grossiers délimitée par un profond en amont et une zone peu profonde à courant rapide en aval (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981 ; Boisneau *et al.*, 1990 ; Soulard *et al.*, 2010 ; Fig. 8). Les frayères de grande alose se situent en amont des zones sous influence de la marée dynamique tandis que les aloses feintes fraient plus en aval ou en limite de marée dynamique (Belaud *et al.*, 2001 ; Aprahamian *et al.*, 2003).

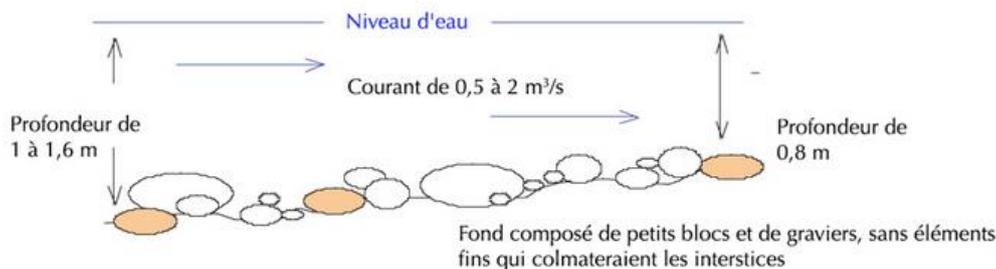


Figure 8. Schéma d'une frayère théorique d'aloses (*Alosa alosa*) et de ses caractéristiques (Source : Barral du MRM).

La reproduction se déroule la nuit où elle débute aux alentours de 21h30 et se termine vers 5h (Boisneau *et al.*, 1990) à une température seuil de 16-18°C (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981). Les couples montent à la surface flanc contre flanc et, à demi-émergé, frappent violemment la surface de l'eau avec leur nageoire caudale en exécutant un déplacement circulaire (Boisneau *et al.*, 1990 ; Baglinière & Elie, 2000). Les produits génitaux sont libérés et la fécondation a lieu dans le tourbillon provoqué. Cette phase, appelée « bull » (Roule, 1924 in Belaud *et al.*, 2001), est audible avec une intensité sonore pouvant atteindre 50 dB et est facilement visible sur les zones de frai (Baglinière & Elie, 2000 ; Soulard *et al.*, 2010).

Un bull dure entre 2 et 10 secondes (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981 ; Boisneau *et al.*, 1990). Les deux espèces se différencient par des bulls courts chez *Alosa fallax* (entre 2 et 3 secondes) et des bulls supérieurs à 3 secondes chez *Alosa alosa* (Baglinière & Elie, 2000 ; Aprahamian *et al.*, 2003).

## 2.6. Intérêts des aloses

*Alosa alosa* et *Alosa fallax* présentent des intérêts économique, scientifique, écologique, culturel et patrimonial.

En effet, ce sont deux espèces exploitées par la pêche professionnelle et sportive. Cependant, la grande alose fait l'objet d'un moratoire depuis 2009 interdisant son prélèvement dans les milieux fluviaux sur le bassin « Garonne » (CoGePoMi Garonne, Dordogne, Charente, Seudre et Leyre).

Ce sont de bons indicateurs écologiques des milieux aquatiques puisque, de tous les poissons migrateurs, les aloses sont les espèces les plus sensibles à la présence d'obstacles (Larinier *et al.*, 1994). Elles possèdent une faible capacité de nage et un comportement de saut inexistant lors du franchissement des ouvrages. Elles sont donc indicatrices de la libre circulation des espèces sur les cours d'eau. De plus, la température est l'un des facteurs prépondérant pour leur migration et leur reproduction (Baglinière & Elie, 2000).

Ces deux espèces présentent un intérêt scientifique en raison de phénomènes d'hybridation fréquemment rencontrés depuis une vingtaine d'années (Hydro Concept, 2003 ; Jolly *et al.*, 2011 ; Baudoin *et al.*, 2014 ; Boisneau, 2015).

Elles font partie du patrimoine biologique national et participe à l'identité d'un bassin versant.

## 2.7. Problèmes rencontrés par les aloses

D'importants facteurs semblent impacter la présence des aloses sur le bassin de la Charente. La pression de la pêche professionnelle et de loisir y est forte (Hydro Concept, 2003).

La qualité de l'eau est moyenne car la Charente enregistre un fort taux de nitrates, de microorganismes bactériens et de pesticides (Hydro Concept, 2003 ; EPTB Charente, 2018).

La modification physique du milieu par le curage, l'aménagement des cours d'eau, la mise en place de protection contre les crues altèrent les caractéristiques naturelles des habitats de la Charente. En effet, le remaniement du support granulométrique, la mise en suspension de fines particules ou la modification des écoulements affectent les aloses lors de leur migration et leur reproduction.

La Charente compte environ 2 300 ouvrages mais de plus en plus sont supprimés, aménagés ou gérés (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2018). En 2017, 68,3% ouvrages étaient traités ou en projet pour la libre circulation piscicole. En effet, le linéaire accessible s'améliore depuis la sortie du classement des cours d'eau (article L214-17 du Code de l'Environnement). Dans la majorité des cas cependant, les géniteurs ne choisissent pas les sites de fraie mais se rendent sur ceux auxquels ils ont accès. Ces zones de fraies imposées représentent aussi des sites où des phénomènes d'hybridation sont observés. Le blocage ou ralentissement au pied des ouvrages entraîne des retards dans la migration avec, pour conséquence, des mortalités par épuisement, un stress ainsi que des blessures suite à des tentatives de franchissement répétées (Larinier *et al.*, 1994 ; Baudoin *et al.*, 2014). Ainsi vulnérables, les poissons sont plus sensibles à la prédation et aux risques de maladies (Baudoin *et al.*, 2014 ; Guillerault *et al.*, 2015).

Les périodes d'étiages présentent des écoulements de l'eau faibles voir nuls (dits secs) qui entraînent une concentration des polluants. Ces étiages influencent la qualité des habitat et les capacités de migration.

La présence de silures est constatée notamment au niveau de la passe à poissons de Crouin où leur nombre a quadruplé en 2017, montant à 64 individus (Labedan, 2017 ; Dartiguelongue, 2018).

## 2.8. Moyens mis en œuvre pour la conservation des aloses sur la Charente.

L'étude des potentialités piscicoles de 2003, portée par l'EPTB Charente (Hydro Concept) a évalué que la Charente avait la capacité d'accueillir une grande diversité d'espèces et de leur offrir un milieu quantitativement et qualitativement riche.

C'est ainsi qu'en 2009, la Cellule Migrateurs a mis en place un premier programme d'actions (2009-2011) puis deux autres ont suivis (2012-2015 ; 2016-2020). Depuis cette année-là, un suivi des aloses a débuté sur la Charente.

Différentes méthodes ont été utilisées pour assurer ce suivi. Une estimation du nombre de géniteurs sur le bassin de la Charente est réalisée par un suivi des trois principales frayères. En 2012, il a été constaté la nécessité de mettre en place une méthode d'estimation fiable et robuste afin d'estimer le nombre de géniteurs. Depuis 2013, l'estimation du nombre de géniteurs se réalise par la pose d'enregistrements audionumériques en bordure de frayère. Cela permet de diminuer l'effort humain tout en augmentant l'effort d'échantillonnage. En 2014, Brias a proposé un protocole de suivi et une méthode d'estimation des géniteurs. En 2017, Labedan a permis d'améliorer le calcul de l'estimation du nombre de géniteurs et de valider le protocole.

Le front de migration est un indicateur de l'état de continuité écologique de la Charente. Il s'agit d'observer la présence d'aloses au pied des ouvrages et de rechercher les cadavres post-reproduction qui sont des bons indicateurs de présence. Des suivis nocturnes des frayères sont aussi réalisés pour suivre l'activité des frayères plus en amont de la passe de Crouin.

Annuellement, le nombre d'aloses présent sur le bassin charentais est déterminé en amont de Crouin grâce à la station de comptage de Crouin.

### 3. Suivi audio de la reproduction

Les cartes sont réalisées sous le logiciel QGIS. Les analyses statistiques sont effectuées à l'aide du logiciel R et sont présentées dans l'annexe 1.

#### 3.1. Sites d'écoutes

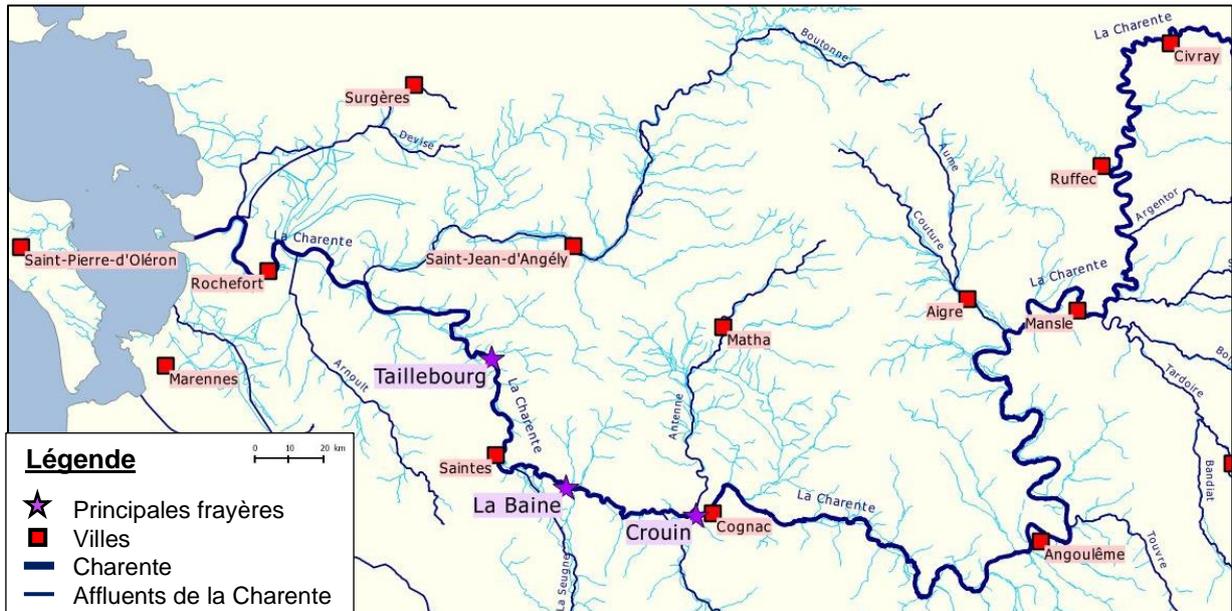


Figure 9. Carte représentant l'emplacement des trois principales frayères de la Charente : Taillebourg, La Baine et Crouin (Source : création personnelle).

Du fait du caractère sonore de la reproduction, il est possible d'identifier à l'ouïe les bulls et donc d'enregistrer l'activité des frayères la nuit (Baglinière & Elie, 2000). En effet, le comptage du nombre de bulls permet d'avoir l'importance relative des frayères et d'estimer le nombre de géniteurs (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981).

Les trois principales frayères suivies sur la Charente sont celles de Taillebourg, La Baine et Crouin, connues depuis 2012 pour représenter 50% de l'activité totale de reproduction sur la Charente à elles seules (Tallerie, 2012 ; Brias, 2014 ; Labedan, 2017 ; Fig. 9). De plus, elles sont susceptibles d'accueillir des enregistreurs, de par leur facilité d'accès et la présence relativement faible de bruits parasites (barrage, chute d'eau, circulation...) (Brias, 2014 ; Labedan, 2017).

#### 3.2. Pose des enregistreurs audionumériques

Les bulls sont enregistrés à l'aide d'un dispositif audionumérique.

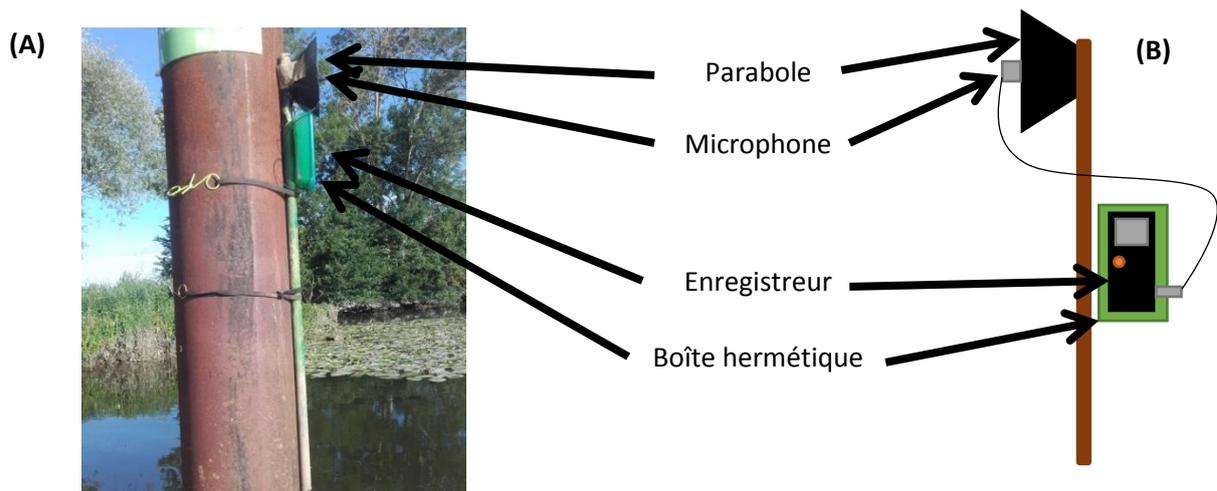


Figure 10. (A) Photo du dispositif d'enregistrement posé sur le site de Taillebourg et (B) schéma des dispositifs d'enregistrements (Source : photo et création personnelles).

Il est composé (Fig. 10) :

- d'une parabole fixée sur un manche en bois,
- d'un microphone Olympus® placé au centre de cette parabole,
- et d'un enregistreur Olympus® relié au micro et placé dans une boîte hermétique.

Ces dispositifs sont placés sur les trois principales frayères une à deux fois par semaine en fin de soirée et sont récupérés le lendemain matin (Tallerie, 2012 ; Brias, 2014). Pour la saison 2018, s'étalant de début avril à fin juin, ces dispositifs ont été posés 47 fois, soit un total de 16 enregistrements pour Taillebourg et Crouin et 15 enregistrements pour La Baine.

### 3.3. Suivi terrain nocturne

Parallèlement, des suivis de terrain nocturne sont réalisés par des agents sur ces trois principales frayères (Taillebourg, La Baine et Crouin). Ces agents sont les membres de la Cellule Migrateurs, des membres des Fédérations de Pêche de la Charente (16) et de la Charente-Maritime (17) et des membres des Services Départementaux 16 et 17 de l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB). Ils réalisent une heure de calibration sur site où ils comptent le nombre bulls vus et entendus par quart-d'heure (Boisneau *et al.*, 1990).

Cela permet de quantifier le pourcentage de bulls réellement entendus par l'oreille humaine par rapport au nombre de bulls enregistrés via l'appareil. En effet, certains bulls ne sont pas audibles sur l'enregistrement du fait de leur éloignement lors des écoutes.

### 3.4. Acquisition des variables environnementales et biologiques

La température de l'eau (°C) est mesurée toutes les heures par une sonde thermique placée dans la passe à poissons de Crouin. Une moyenne journalière, mensuelle et annuelle est calculée depuis 2010. La température de l'eau en 2016 provient d'une sonde positionnée à Châteauneuf-sur-Charente, à 40 km à l'amont de Crouin. En effet, la température de l'eau est un facteur prépondérant à l'activité de reproduction (Baglinière & Elie, 2000). Elle débute à une température seuil de 16-18°C (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981).

Le débit journalier ( $m^3/s$ ) de la Charente est relevé à la station de Beillant (Charniers, 17) depuis 2010. Il est obtenu via la Banque Hydro du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. Une moyenne mensuelle et annuelle est calculée. Le débit est aussi un facteur initiant la reproduction (Baglinière & Elie, 2000). Celle-ci s'arrête en période de crue avec des débits supérieurs à  $2,5 m^3/s$  (Baglinière & Elie, 2000). Une augmentation du débit aurait donc un impact négatif sur la reproduction.

Les différences de température et de débit sont calculés : *Taux d'accroissement calculé = différence température/débit entre le jour T et le jour d'avant ( $T-T_{-1}$ )*.

Les coefficients de la marée sont obtenus grâce au Service Hydrographique et Océanographique de la Marine au port de l'île d'Aix depuis 2010. Le coefficient journalier retenu est celui qui est compris entre 20h et 8h afin d'avoir le coefficient influençant la reproduction donc la nuit. L'influence des marées dynamiques est ressentie jusqu'à environ 100 km dans les terres et impacte les sites de Taillebourg et La Baine (Véron *et al.*, 2001). En effet, les forts coefficients permettent l'entrée en estuaire des aloses (Baglinière & Elie, 2000) mais aussi le passage du barrage de Saint Savinien (17). Ce dernier est le premier obstacle à la migration et n'ouvre ses vannes qu'à partir de coefficients de marée de 70 (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2018). Cette gestion influence l'arrivée et le passage des géniteurs vers l'amont, occasionnant des retards.

Le pourcentage de luminosité de la lune est obtenu via le calendrier lunaire depuis 2010. La pleine lune correspond à 100% de luminosité tandis que la nouvelle lune correspond à 0% de luminosité. Une luminosité excessive peut défavoriser la reproduction des poissons (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2013).

La présence des aloses et des silures est enregistrée par le système vidéo de la passe à poissons de Crouin et les données sont traitées par Jean Dartiguelongue (SCEA). La date, l'heure et le nombre d'individus ayant franchi la passe sont enregistrés depuis 2010. La présence de silures semble avoir un impact négatif sur la reproduction des aloses, de par sa présence (effarouchement) constatée sur les frayères (Labedan, 2017) et sa consommation de poissons migrateurs dont les aloses (Copp *et al.*, 2009 ; Syväranta *et al.*, 2009 ; Boisneau, 2015 ; Guillerault *et al.*, 2015).

Pour l'année 2018, la pluviométrie (mm) pour chacune des trois frayères (Taillebourg, La Baine et Crouin) est obtenue via les données des lames d'eau radar journalières d'ANTILOPE Météo France à Saintes. Des pluies trop importantes peuvent perturber la reproduction qui se déroule en surface (Baglinière & Elie, 2000). La quantité d'heure d'ensoleillement (h) ainsi que la température moyenne de l'air ( $^{\circ}C$ ) sur Cognac sont fournies par Météo France.

### 3.5. Traitement des données

#### 3.5.1. Dépouillements des enregistrements

L'écoute des enregistrements s'effectue de 23h à 4h45 grâce au logiciel Audacity (Brias, 2014 ; Fig. 11). Une écoute d'un quart d'heure sur deux suffit à estimer le nombre de bulls entendus dans la nuit puisque l'activité de reproduction des aloses suit une loi de Gauss (Brias, 2014). En effet, la période d'activité de reproduction augmente jusqu'au pic d'activité entre 1h et 2h avant de diminuer (Boisneau *et al.*, 1990). Seuls les bulls supérieurs à deux secondes sont comptabilisés.

Cela permet d'obtenir une estimation du nombre total de bulls dans une nuit en limitant le nombre d'écoutes. Il faut en moyenne 3 heures d'écoutes par site. Ainsi, 12 quarts d'heure par nuit sont

dépouillés, 16 dans le cas d'une calibration. **En 2018, pour les trois frayères, 151 heures d'écoute ont été effectuées.**

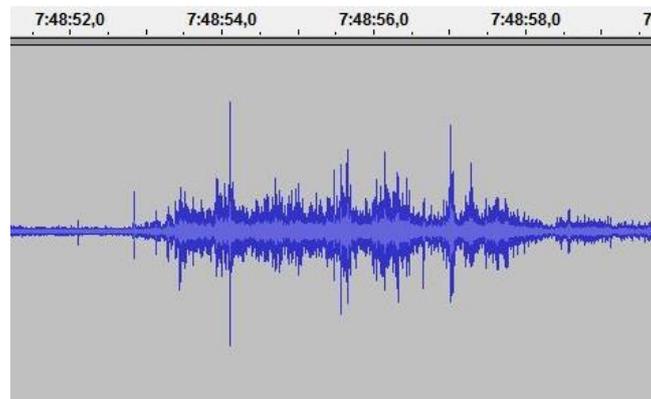


Figure 11. Photo de la forme du son d'un bull entendu sur la frayère de Taillebourg grâce au logiciel Audacity® (Source : photo personnelle).

### 3.5.2. Extrapolation des nuits manquantes

Les frayères ne sont pas suivies toutes les nuits donc les nuits manquantes sont extrapolées afin d'avoir une estimation du nombre de bulls sur la saison. Cette extrapolation est réalisée selon la méthode proposée en 2014 par Brias puis ajustée par Labedan en 2017.

Cette estimation nécessite les données des variables environnementales disponibles pouvant influencer ou être corrélées à l'activité de reproduction. Un indice temporel a aussi été ajouté aux données. Le jour 1 correspond au premier jour du suivi de toutes les années soit le 08-09 avril et le jour 90, au dernier jour de suivi, le 05-06 juillet.

La première étape consiste à transformer l'indice temporel et la température de l'eau qui réagissent de façon non linéaire à l'activité de reproduction. En effet, la température peut avoir un effet activateur ou inhibiteur si elle devient trop forte. De même, l'activité est plus importante en mai et juin (Boisneau *et al.*, 1990). Dans cette étude, la distribution du nombre moyens de bulls par quart d'heure durant toute une saison suit une loi Normale. La reproduction débute à 21h30 puis suit une progression lente jusqu'à 22h30 où elle s'accélère avant d'atteindre un pic aux alentours de 2h00. Elle diminue ensuite rapidement pour se terminer vers 5h.

Il faut ajuster une courbe de Gauss aux valeurs pour ces deux variables. Pour se faire, le nombre de bulls brut par nuit est transformé en logarithme naturel puis une parabole est ajustée au nuage de points (Borcard, 2000).

La méthode PLS (Partial Least Square) permet la construction d'un modèle prédictif (Labedan, 2017). Elle permet d'utiliser les variables disponibles pour estimer le nombre de bulls lors des nuits manquantes. La méthode (Labedan, 2017) est réalisée avec validation croisée 'leave-one-out' pour chacune des frayères.

La fonction predict() permet d'obtenir une estimation du nombre de bulls pour toutes les nuits. L'intervalle de confiance à 95% est obtenu suite à la régression linéaire entre les valeurs observées et celles théoriques obtenues avec la PLS grâce à la fonction confint().

La marge d'erreur relative est calculée comme suit afin d'estimer la précision du modèle :

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

### 3.5.3. Calibration

Pour chaque frayère, une régression linéaire est effectuée avec la fonction lm() entre les bulls enregistrés et les bulls entendus par les agents de terrain. Les droites de régression sont obtenues pour le nombre de bulls et les bornes de l'intervalle. Les coefficients sont ensuite appliqués aux résultats de l'extrapolation.

La marge d'erreur relative est estimée.

### 3.5.4. Interpolation des quarts d'heure manquants

Pour estimer le nombre total de bulls dans la nuit, il s'agit d'ajuster une courbe polynomiale aux quarts d'heure dépouillés. Différentes courbes de différents degrés sont créées par la fonction lm() puis comparées selon l'AIC et AICc (Critère d'Information d'Akaike corrigé). Pour chaque frayère, les modèles possédant les plus faibles AIC et AICc sont retenus. La fonction predict() fournit les données théoriques de tous les quarts d'heure avec leur intervalle de confiance.

Un coefficient multiplicateur est calculé pour l'estimation du nombre de bulls et ses bornes pour les trois frayères. Le coefficient multiplicateur de l'estimation est obtenu en calculant le rapport de la somme des résultats théoriques sur la somme des résultats observés. Les coefficients multiplicateurs des bornes supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance sont calculés de la même façon.

La marge d'erreur relative est calculée.

### 3.5.5. Calcul du nombre de géniteurs

La méthode a été décrite par Cassou-Leins et Cassou-Leins (1981) puis reprise lors des suivis sur la Charente par Taillierie (2012), Brias (2014) et Labedan (2017).

Le nombre de géniteurs est estimé à partir du nombre de bulls comptabilisés en utilisant plusieurs hypothèses basées sur la maturation fractionnée des ovaires (Baglinière & Elie, 2000) c'est-à-dire un fractionnement des pontes en relation avec la maturation progressive des ovocytes dans le temps (Taverny, 1991). Les hypothèses de calcul utilisées sont les suivantes :

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

Le nombre de géniteurs se calcul d'après la formule :  $\frac{\text{Nombre de bulls total}}{\text{Nombre de pontes (= 10)}} \times 2$

#### 4. Survie des œufs et des larves

Le recrutement d'une année dépend du nombre de géniteurs d'aloses présents cette année-là mais aussi de la survie des œufs et des larves l'année où ces géniteurs sont nés. En effet, la majorité des géniteurs retournent dans les rivières où ils sont nés (Martin *et al.*, 2015).

Jatteau *et al.* (2017) ont créé un modèle de survie des œufs, des larves et de survie cumulée depuis la fécondation des œufs jusqu'au stade larvaire (Fig. 12). Des plages de températures ont été définies pour des survies supérieures à 5% (*tolerance range*) et à 80% (*optimal range*).



Figure 12. Schéma des plages de températures pour une survie cumulée des œufs et des larves supérieure à 80% (*gamme optimale*) et supérieure à 5% (*gamme de tolérance*) (Sources : Jatteau *et al.*, 2017 ; modification personnelle).

Sur une période allant du début de la reproduction au début de dévalaison des alosons (1<sup>er</sup> avril au 31 août soit 153 jours), le nombre de jours où les températures de l'eau sont en dehors de ces plages sont comptabilisés. Ainsi, un pourcentage de jours en dehors de ces plages est obtenu chaque année depuis 2010.

#### 5. Suivi du linéaire

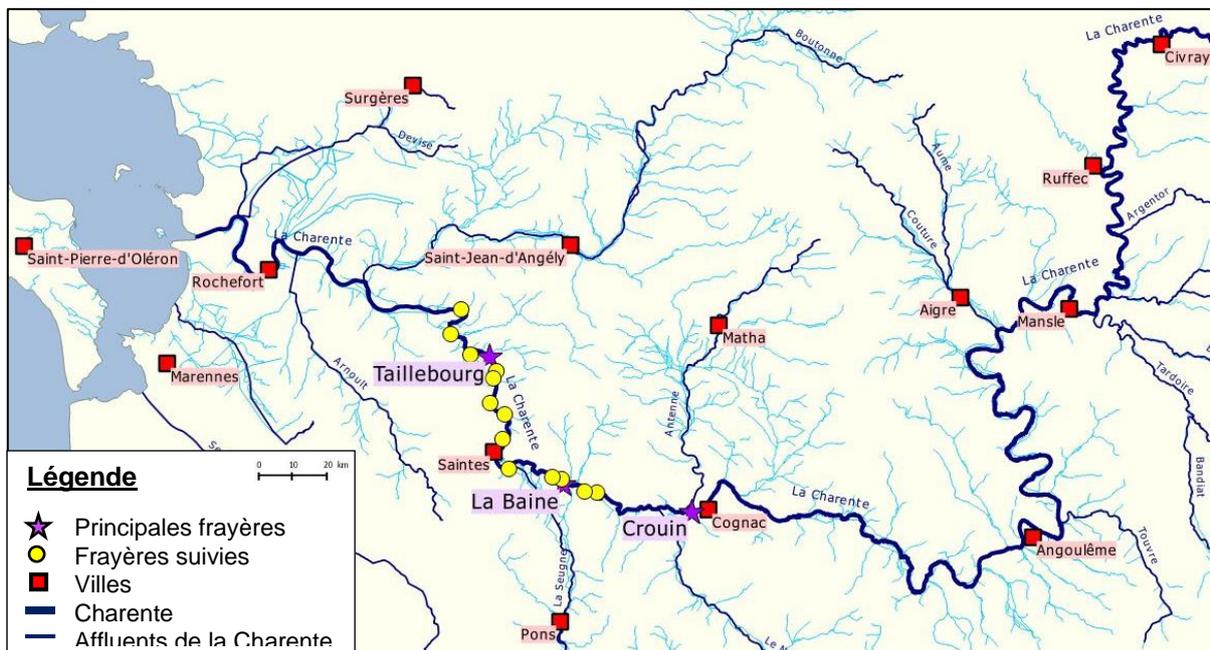


Figure 13. Carte des trois principales frayères de la Charente et des 13 frayères secondaires prospectées lors du suivi du linéaire (Source : création personnelle).

En plus des trois principales frayères (Taillebourg, La Baine et Crouin), d'autres frayères sont suivies (Fig. 13). Leur activité est vérifiée la nuit en restant sur site deux fois un quart-d'heure plein (xxh00, xxh15, xxh30 ou xxh45).

Pour chacune d'elle, une fiche de terrain est remplie où sont relevés la température de l'air et de l'eau, la météo ainsi que les heures d'écoutes et le nombre de bulls entendus. Les équipes de terrain sont des agents des fédérations de pêches 16 et 17, des services départementaux de l'AFB 16 et 17 ou de la Cellule Migrateurs.

## 6. Front de migration

Le front de migration est le point le plus en amont où est attestée la présence d'aloses. Ainsi connaître ce point chaque année permet de savoir si les aménagements effectués sur différents obstacles au franchissement sont efficaces. Les fronts de migration annuels sont comparés entre eux ainsi qu'avec le front de migration historique atteint en 1998 à Ruffec pour *Alosa alosa* (situé en amont d'Angoulême) (Véron *et al.*, 2001).

### vi diurne

Les journées de prospection consistent à observer la présence d'aloses tentant de franchir les obstacles. Durant ces journées, la recherche de cadavres d'aloses est aussi effectuée.

Les cadavres sont de bons indicateurs de présence et de la remontée possible des individus dans les cours d'eau. Les cadavres sont récupérés afin d'identifier l'espèce en comptant les branchiospines et pour des analyses génétiques. Cela permet de différencier les points de remontée maximum des deux espèces. En effet, l'alose feinte reste plutôt dans les parties basses des fleuves, proche des estuaires (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981 ; Aprahamian *et al.*, 2003), soumises à la marée dynamique.

Une fiche de terrain est remplie où sont renseignées les conditions environnementales comme la température de l'eau, la météo et la localisation précise ainsi que le nombre d'individus observés ou récupérés.

En 2018, 17 journées de terrains ont été effectuées par les membres des fédérations de pêches 16 et 17, des services départementaux de l'AFB 16 et 17 ou de la Cellule Migrateurs. Une journée de navigation s'est déroulée le 22 juin 2018 et a regroupé 10 personnes (4 de la Cellule, 4 du SD16 et 2 du SD17).

### 6.2. Suivi nocturne de l'activité de reproduction

Ce suivi nocturne s'effectue sur des frayères situées à l'amont de Crouin et sur les principaux affluents de la Charente (Fig. 14).

L'activité de reproduction y est vérifiée. Les agents restent deux quarts-d'heure sur site. Pour chacune d'elle, une fiche de terrain est remplie où est relevé la température de l'air et de l'eau, la météo ainsi que les heures d'écoutes et le nombre de bulls entendus.

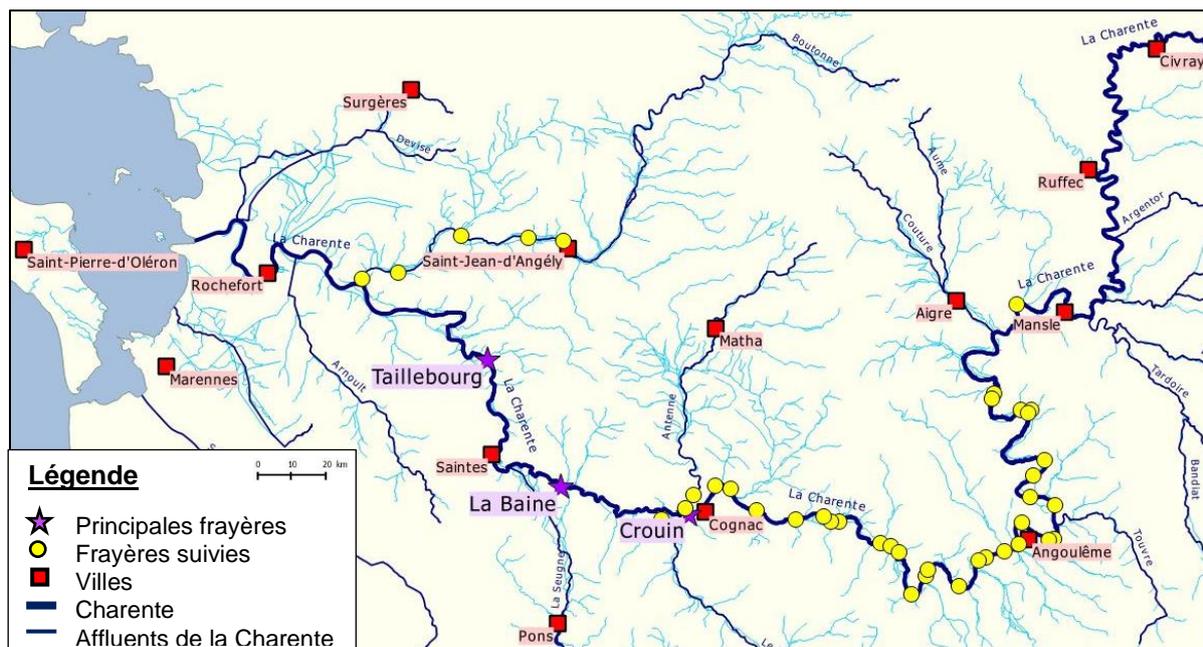


Figure 14. Carte des trois principales frayères de la Charente et des frayères secondaires prospectées en 2018 lors de la recherche du front de migration (Source : création personnelle).

## 7. Passages à la passe à poissons de Crouin

Le franchissement d'aloses et de silures à la passe à poissons de Crouin est analysé. Ces données sont celles fournies par Jean Dartiguelongue (SCEA) entre 2010 et 2018 à l'exception des années 2011 et 2016 où la passe a subi des dégâts empêchant le suivi de la migration. Les données environnementales testées sont la température journalière de l'eau, le débit journalier, le coefficient de marée, la luminosité de la lune, le mois et l'année.

La présence/absence du silure au passage des aloses est comparée aux données environnementales et à la présence des aloses à la passe à poissons.

Le nombre d'aloses franchissant la passe est testé afin de connaître les facteurs environnementaux qui influencent leur présence dans la passe.

## Résultats et discussion

### 1. Données brutes

#### 1.1. Nombre de bulls dépouillés

Pour la saison 2018, un total de 1 943 bulls a été entendu sur les trois principales frayères (Fig. 15). Le **nombre de bulls** est différent selon les sites ( $\chi^2 = 393,52$  ; ddl = 2 ;  $p < 0,05$ ). La frayère de Taillebourg est plus active que celles de La Baine ( $\chi^2 = 352,54$  ; ddl = 1 ;  $p < 0,05$ ) et de Crouin ( $\chi^2 = 143,31$  ; ddl = 1 ;  $p < 0,05$ ). Cette dernière est plus active que La Baine ( $\chi^2 = 53,11$  ; ddl = 1 ;  $p < 0,05$ ).

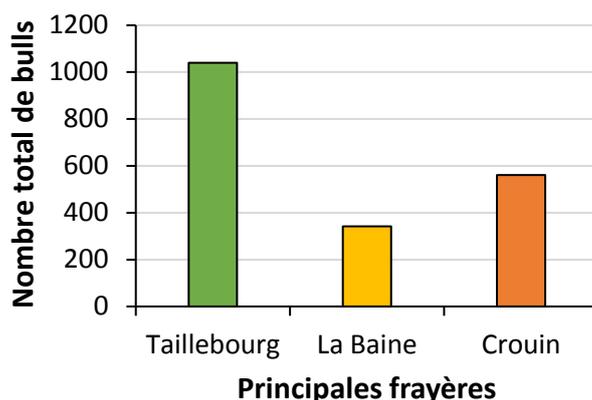


Figure 15. Nombre total de bulls entendus au cours de la saison 2018 sur les trois principales frayères de la Charente. De l'aval vers l'amont : Taillebourg (n = 16 nuits), La Baine (n = 15) et Crouin (n = 16).

#### 1.2. Effort d'échantillonnage des principales frayères depuis 2010

Le **nombre de nuit de suivi** sur les principales frayères est constant depuis 2016 avec une stabilisation à une quinzaine de nuit par saison depuis 2017.

L'année 2014 correspond à l'année où un suivi vidéo a été réalisé sur la frayère de La Baine, comptabilisant ainsi 88 nuits de suivi (Brias, 2014). En 2017, un enregistreur a été volé sur la frayère de Crouin, expliquant le nombre plus faible de nuits suivies sur ce site (Labedan, 2017).

Pour la saison 2018, 16 nuits ont été échantillonnées pour les frayères de Taillebourg et Crouin contre 15 nuits pour le site de La Baine. En effet, suite aux fortes pluies du début de saison, la frayère a été inaccessible le premier jour de pose, la nuit du 9 au 10 avril.

Tableau I. Nombre de nuit de suivi de reproduction sur les trois principales frayères (Taillebourg, La Baine et Crouin) depuis 2010. Les années présentant un nombre plus important de nuit de suivi (en gras) servent pour l'estimation du nombre de géniteurs et la recherche des facteurs impactant la reproduction.

Sites	2010	2011	2013	<b>2014</b>	2015	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Taillebourg	5	4	7	<b>22</b>	2	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>16</b>
La Baine		2	7	<b>88</b>	3	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Crouin	3	3	7	<b>18</b>	3	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>16</b>

## 2. Nombre de géniteurs

### 2.1. Géniteurs estimés sur la saison 2018

En 2018, le bassin Charente a accueilli un total de 4 794 géniteurs (Tab. II). Les étapes du calcul sont présentées dans les annexes 2 à 8.

Le **nombre de géniteurs** est différent selon les frayères ( $\chi^2 = 1305,90$  ; ddl = 2 ;  $p < 0,05$ ). Taillebourg présente le plus grand nombre de géniteurs par rapport à La Baine ( $\chi^2 = 1159,80$  ; ddl = 1 ;  $p < 0,05$ ) et Crouin ( $\chi^2 = 459,58$  ; ddl = 1 ;  $p < 0,05$ ). La Baine semble la frayère la moins active ( $\chi^2$  ;  $p < 0,05$ ). La marge d'erreur est similaire entre les trois frayères ( $\chi^2 = 3,17$  ; ddl = 2 ;  $p = 0,21$ ) et atteint en moyenne une valeur de 88% qui est élevée.

Tableau II. Récapitulatif de l'estimation du nombre de bulls (en gras) et de l'intervalle de confiance à 95%, obtenus sur les trois principales frayères d'étude (Taillebourg, La Baine et Crouin) en 2018.

Site	Nombre de géniteurs			
	Borne inférieure	Estimation	Borne supérieure	Marge d'erreur
Taillebourg	1108	<b>2720</b>	5217	91,8%
La Baine	338	<b>722</b>	1261	74,8%
Crouin	503	<b>1352</b>	2670	97,5%

### 2.2. Géniteurs estimés sur le bassin Charente depuis 2013

Chaque année, les **effectifs de géniteurs** sont différents des années précédentes ( $\chi^2 = 24928,00$  ; ddl = 4 ;  $p < 0,05$  ; Fig. 16). L'année 2013 est la plus active puisque 27 765 géniteurs sont estimés sur le bassin. Cependant, la Charente semble connaître une diminution progressive et régulière du nombre de ses géniteurs. Les deux dernières années sont particulièrement critiques car l'effectif des géniteurs est passé sous la barre des 10 000 (6 817 en 2017 et 4 794 en 2018).

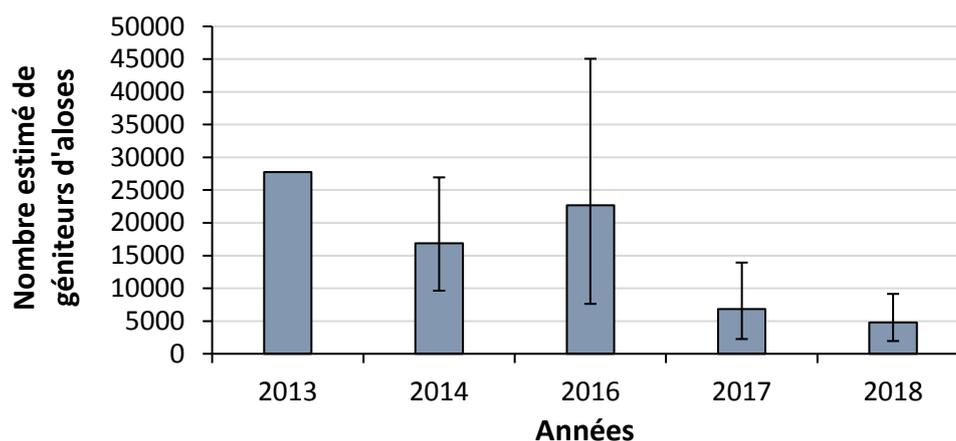


Figure 16. Nombre total de géniteurs d'aloses estimés depuis 2013 sur la Charente. L'année 2015 n'apparaît pas en raison du faible nombre de prospection des frayères,  $n = 3$ . Les barres d'erreur représentent le nombre de géniteurs pour les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance sauf pour 2013 où ces bornes n'ont pas été calculées.

L'année 2018 présente un nombre de géniteurs d'aloses inférieur à 5 000. Ce nombre n'a cessé de diminuer en 5 ans. La forte chute de 2017 semble être liée au fort étiage observé sur toute la période

de reproduction (Labedan, 2017 ; Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2018). En effet, cette année-là, les températures de l'eau ont été les plus hautes et les débits les plus bas sur la période de reproduction (Annexes 9 et 10).

Une étude de Briand *et al.*, (2015) a estimé un stock potentiel de géniteurs d'aloses à atteindre sur le Bassin Vilaine de 50 000 individus. Ils ont proposé une quantité minimale nécessaire au renouvellement de l'espèce, soit 30% de ce stock potentiel, de 15 000 individus. Ils ont estimé ces mêmes paramètres sur le bassin Charente, similaire à la Vilaine en taille de fleuve (230 km) et de superficie de bassin (11 000 km<sup>2</sup>). Or, suivant cette étude, **la Charente devrait présenter un stock potentiel de 80 000 aloses soit une biomasse limite de 24 000 aloses.**

Les effectifs actuels en 2018 sont deux fois moins importants puisque le nombre de géniteurs estimés sur les trois principales frayères, présentant 50% de l'activité de la Charente, est inférieur à 5 000 aloses. Ce qui pourrait poser question pour le renouvellement de la population de géniteurs sur le bassin charentais.

Les **frayères** de Taillebourg et La Baine présentent une diminution globale du nombre de géniteurs avec une remontée en 2016 (respectivement  $\chi^2 = 3446,40$  ; ddl = 4 ;  $p < 0,05$  et  $\chi^2 = 25146,00$  ; ddl = 4 ;  $p < 0,05$  ; Fig. 17). En revanche, le nombre de reproducteurs sur le site de Crouin augmente jusqu'en 2016 avant de chuter brusquement ( $\chi^2 = 3446,40$  ; ddl = 4 ;  $p < 0,05$ ). L'année 2018 semble être la plus critique pour chacune des frayères ( $p < 0,05$ ).

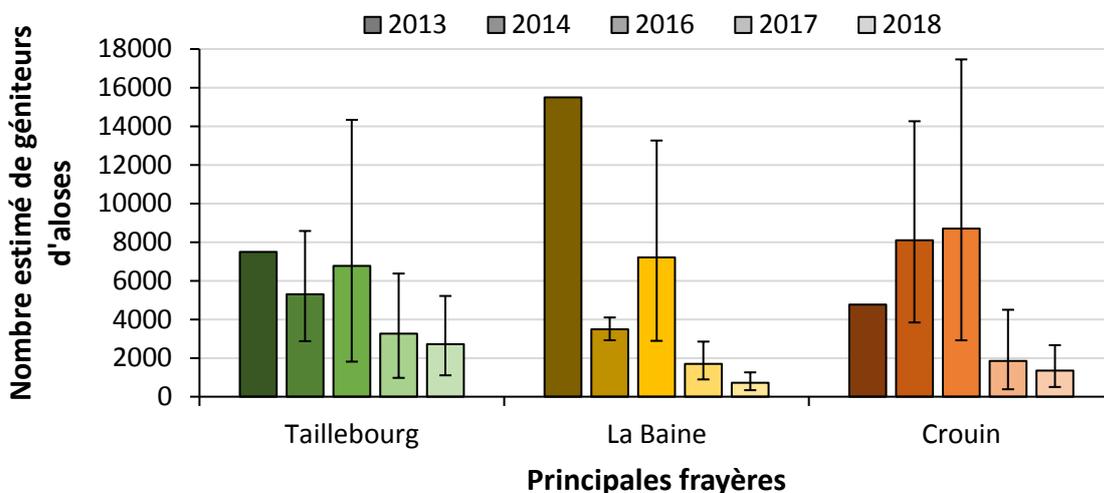


Figure 17. Nombre de géniteurs d'aloses depuis 2013 sur chacune des trois principales frayères de la Charente (Taillebourg, La Baine et Crouin). L'année 2015 n'apparaît pas en raison du faible nombre de prospection,  $n = 3$  par frayère. Les barres d'erreur représentent le nombre de géniteurs pour les bornes inférieures et supérieures de l'intervalle de confiance sauf pour 2013 où ces bornes n'ont pas été calculées.

La frayère de Taillebourg présente le plus d'activité, que ce soit par le nombre brut de bulls entendus (Fig. 15) que par le nombre de géniteurs estimés sur la saison 2018 (Fig. 17). Le site de La Baine est celui qui accueille le moins de reproducteurs cette année. Cette tendance était similaire en 2017 (Labedan, 2017).

En 2013, la frayère de **La Baine** était la plus active mais depuis cette année-là, elle semble être la moins attractive. Il est possible qu'elle ait évolué ces dernières années en termes d'attractivité. De plus, les trois vannes du barrage, situé en aval de la frayère, semblent avoir été manipulés plus souvent en

2018 (Annexes 11 et 12). Remontées en début de saison de reproduction (27 avril), elles ont été descendues le 30 mai, suite aux violents orages du 21 et du 26-27 mai (Annexe 12). Cette date correspond aussi à la veille du pic d'activité de 2018, la nuit du 31 mai au 1<sup>er</sup> juin. Le nombre de bulls dépouillés à La Baine est alors le plus élevé de la saison avec 107 bulls entendus. Le reste de la saison ce nombre de bulls ne dépasse pas 65 bulls. Cet abaissement des vannes pourrait expliquer une présence plus importante des reproducteurs sur la frayère de La Baine suite à un franchissement plus facile du barrage.

Contrairement aux sites de La Baine et Taillebourg, la frayère de **Crouin** semblait accueillir de plus en plus de géniteurs jusqu'au fort étiage de 2017. Ce dernier aurait modifié les caractéristiques de la frayère et provoqué un déplacement spatial des géniteurs qui s'adaptent aux conditions hydrologiques (Labedan, 2017). En effet, la hauteur d'eau et les courants sont des facteurs importants du choix des sites de frai (Boisneau *et al.*, 1990 ; Soulard *et al.*, 2010).

La frayère de **Taillebourg** semble toujours la plus active puisque sa fréquentation diminue moins brusquement que celles des autres frayères. C'est la frayère la plus calme concernant le bruit de fond lors des enregistrements. En effet, elle se situe le long d'un quai et aucun bruit de barrage ne gêne l'écoute comme sur les sites de La Baine et de Crouin (Labedan, 2017 ; commentaire personnel). Elle accueille en majorité des aloses feintes (*Alosa fallax*) du fait de sa proximité de la mer (environ 80 km). Elle est plus facile d'accès considérant la présence de barrage tous les 2 km sur la Charente et se situe 36 km après le barrage de Saint-Savinien considéré comme le premier obstacle majeure au linéaire accessible (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2018 ; Annexe 13).

Le Conseil Départemental de la Charente-Maritime (17) aménage actuellement le barrage de Saint-Savinien pour le rendre franchissable. Sur les ouvrages situés en amont, jusqu'à Châteauneuf-sur-Charente, c'est le Conseil Départemental de la Charente (16) qui aménage dans le cadre d'une convention coordonnée avec l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2018). L'ensemble de ces aménagements va augmenter le linéaire accessible et permettre l'accès aux frayères amont.

### 3. Facteurs influençant le nombre de bulls par nuit

Les années étudiées et présentant le plus de données ( $n \geq 10$  par frayère) sont 2014, 2016, 2017 et 2018.

#### 3.1. Facteurs impactant la reproduction de 2018

En 2018, **sept variables** influencent positivement le nombre de bulls entendus sur l'ensemble des principales frayères (Annexe 14) : les transformations gaussiennes de l'indice temporel et de la température de l'eau, le nombre d'aloses franchissant la passe de Crouin, le coefficient de marée, la luminosité théorique de la lune, le débit et la différence journalière de débit. Le nombre de silure, la température de l'eau, la pluviométrie et la différence de température n'ont pas d'impact sur le nombre de bulls en 2018.

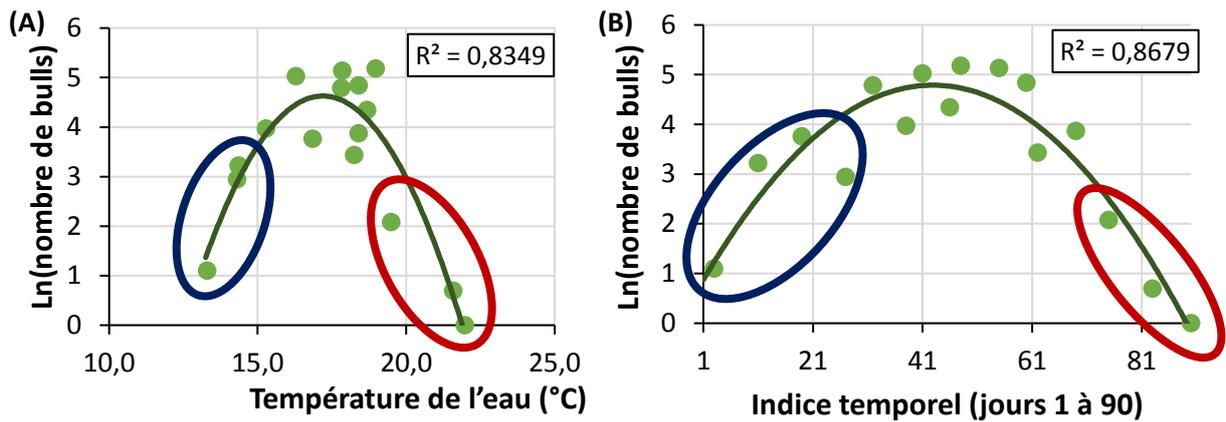


Figure 18. Transformation gaussienne du nombre de bulls selon (A) la température de la Charente (°C) et selon (B) l'indice journalier de la saison de reproduction (du jour 1 au jour 90) en 2018 sur le site de Taillebourg. Les cercles indiquent le nombre de bulls faibles à basses (bleu) et hautes (rouge) températures et au début (bleu) et à la fin (rouge) de la période de reproduction.

Le nombre de bulls entendus en 2018 est faible à **températures** basses et hautes. Le pic d'activité se situe entre des températures allant de 16 à 19 °C (Fig. 18A et 19A). Or la température initie la reproduction et l'inhibe quand elle devient trop importante (Baglinière & Elie, 2000). Elle est donc un des facteurs connus et principaux qui contrôlent la reproduction des aloses en 2018.

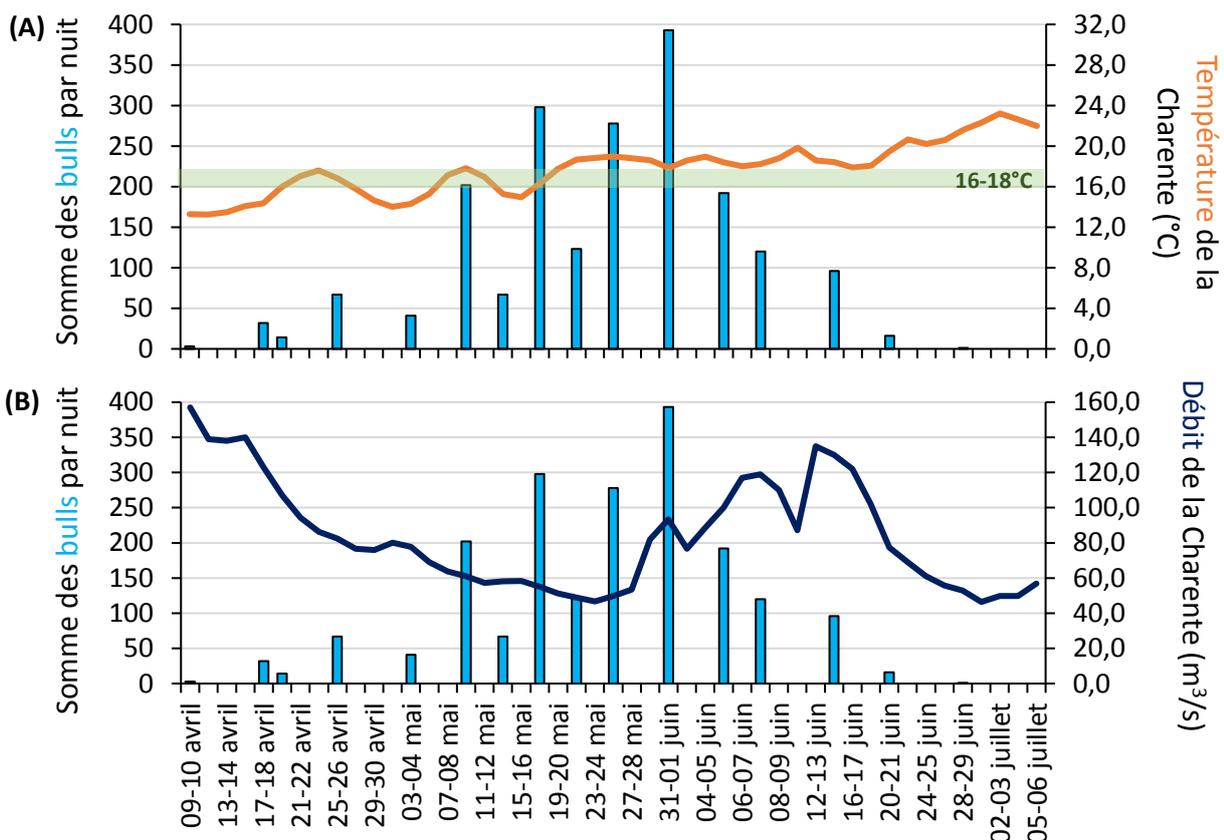


Figure 19. Somme du nombre de bulls des trois principales frayères par nuit échantillonnée selon (A) la température journalière (°C) et selon (B) le débit journalier de la Charente en 2018. La bande verte indique la température seuil de la reproduction d'après Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981 et Baglinière & Elie, 2000.

De même, le début et la fin de **saison** 2018 présentent un nombre de bulls plus faible qu'en milieu de saison avec un pic en milieu de saison (Fig. 18B) vers fin mai-début juin (Fig. 19). Cette évolution

de la température correspond à l'activité connue de la reproduction dans le temps avec une augmentation progressive jusqu'au pic fin mai-début juin avant de diminuer (Boisneau *et al.*, 1990).

Une augmentation du **débit** (et de la différence de débit) semblerait aussi induire une augmentation de la reproduction. En effet, le pic de 2018 est situé la nuit du 31 mai au 1<sup>er</sup> juin, suite à une augmentation de débit de 45 m<sup>3</sup>/s en une semaine, repassant au-dessus des 80 m<sup>3</sup>/s (Fig. 19B).

Le débit est un facteur prépondérant de la reproduction (Baglinière & Elie, 2000). En effet, une période de forte crue induit un arrêt de la reproduction. De même, des débits bas peuvent aussi modifier les caractéristiques des frayères notamment la hauteur et les zones de courants (Cassou-Leins & Cassou-Leins, 1981 ; Boisneau *et al.*, 1990 ; Souldard *et al.*, 2010) ce qui les rendraient moins optimales pour la reproduction. En 2017, Labedan a constaté un déplacement de la frayère de Crouin vers l'aval. Ainsi moins de bulls auraient pu être 'entendu' par les enregistreurs du fait de leur éloignement par rapport à l'appareil.

Les conditions météorologiques de 2018, malgré un bon début d'année avec un débit attrayant (moyenne de 320 m<sup>3</sup>/s et 267 m<sup>3</sup>/s en janvier et février), ont pu perturber la reproduction. En effet, les violents orages de fin mai (21, 26 et 27) et début juin (6, 9 et 10) ont engendré une reprise des débits qui sont repassés au-dessus de 80 m<sup>3</sup>/s. Celle-ci a entraîné une diminution des températures de l'eau, entraînant à son tour une baisse de la reproduction et un apport d'eau chargée en particules (commentaire personnel).

Les aloses savent optimiser la survie des premiers stades de développement en ajustant leur tactique de reproduction pour répondre aux conditions environnementales de la rivière (Lambert *et al.*, 2018). Ainsi, suite aux conditions météorologiques défavorables de fin mai, les aloses auraient profité de la période qui suit pour se reproduire, anticipant une baisse des débits.

Les résultats indiquent que, parfois, les nuits où le nombre de bull est élevé, le nombre d'aloses franchissant la passe est aussi plus élevé (Fig. 20).

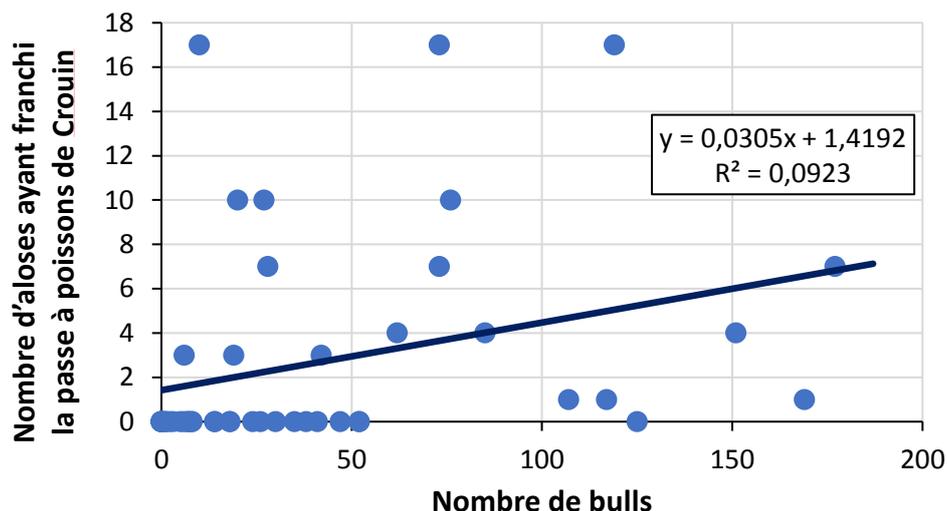


Figure 20. Nombre d'aloses ayant franchi la passe à poissons de Crouin selon le nombre de bulls dépouillés en 2018.

Les **coefficients de marée** dépendent des phases de la **lune**. Ces deux facteurs pourraient influencer positivement la reproduction en 2018. En effet, deux des plus grands pics de nombre de bulls (N = 297 et N = 393) ont eu lieu à des coefficients de marée élevés, respectivement de 102 et 81 (Fig. 21).

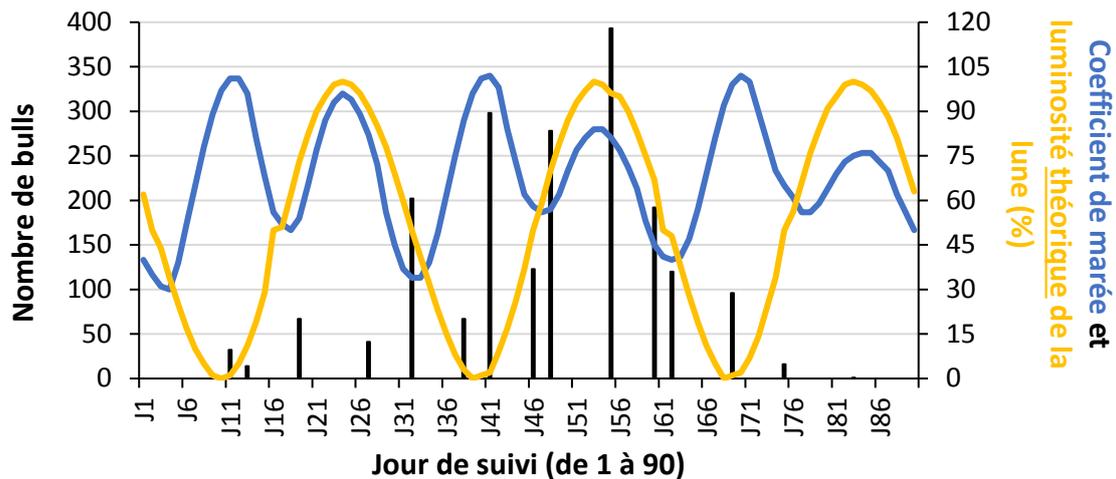


Figure 21. Nombre de bulls dépouillés en 2018 selon les jours de suivi (de 1 à 90) et selon les coefficients de marée (courbe bleue) et le pourcentage de la luminosité théorique de la lune (courbe jaune).

Le nombre d'aloses ( $n = 201$ ) ayant franchi la passe en 2018 est le plus faible jamais enregistré jusqu'à présent (Dartiguelongue, 2018 ; Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2018). Cependant, les forts coups d'eau au début du printemps ont pu permettre un échappement en mars-avril du fait de la quantité d'eau importante qui a pu rendre le barrage partiellement franchissable sur cette période pour certaines espèces.

La présence plus importante d'aloses dans la passe à poisson au moment des fortes activités de reproduction peut s'expliquer par l'arrivée de reproducteurs sur les sites suivant les coefficients de marée. En effet, les forts coefficients permettent l'entrée en estuaire des aloses (Baglinière & Elie, 2000) mais aussi le passage du barrage de Saint-Savinien (Annexe 13). Ce dernier est le premier obstacle à la migration et n'ouvre ses vannes qu'à partir de coefficients de marée de 70 (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2018). Ainsi, arrivés sur les trois principales frayères, certains individus se reproduisent sur les sites tandis que les autres poursuivent leur migration plus en amont en franchissant la passe à poissons de Crouin.

En effet, les fortes activités de reproduction ( $n > 100$  bulls/nuit) dans la saison et notamment le pic de la nuit du 31 mai au 1<sup>er</sup> juin sont précédés, de 4 jours (Taillebourg) à 10 jours avant par des coefficients  $> 100$ .

La luminosité lunaire excessive semblait défavorable à la reproduction (Cellule Migrateurs Charente Seudre, 2013) mais ce n'est pas le cas de cette année où le pic sur chacune des principales frayères a eu lieu pendant la pleine lune. Cependant la couverture nuageuse pendant les nuits de pleine lune atténue l'effet de celle-ci. La marée étant liée au cycle lunaire, cela peut aussi expliquer cette activité forte lors de la pleine lune.

### 3.2. Facteurs influençant la reproduction sur le bassin Charente de 2014 à 2018

Sur l'ensemble des années 2014, 2016, 2017 et 2018, **six facteurs** influencent la reproduction des aloses (Annexe 15) : la température, le nombre d'aloses et de silures franchissant la passe de Crouin et la variation du débit.

La **température** est connue pour être un facteur prépondérant de la reproduction des aloses (Baglinière & Elie, 2000). Sur l'ensemble des données de reproduction d'aloses sur la Charente (Fig. 22),

il semblerait que l'activité de reproduction diminue avec la température, avec des exceptions liées au moment dans la saison et au débit.

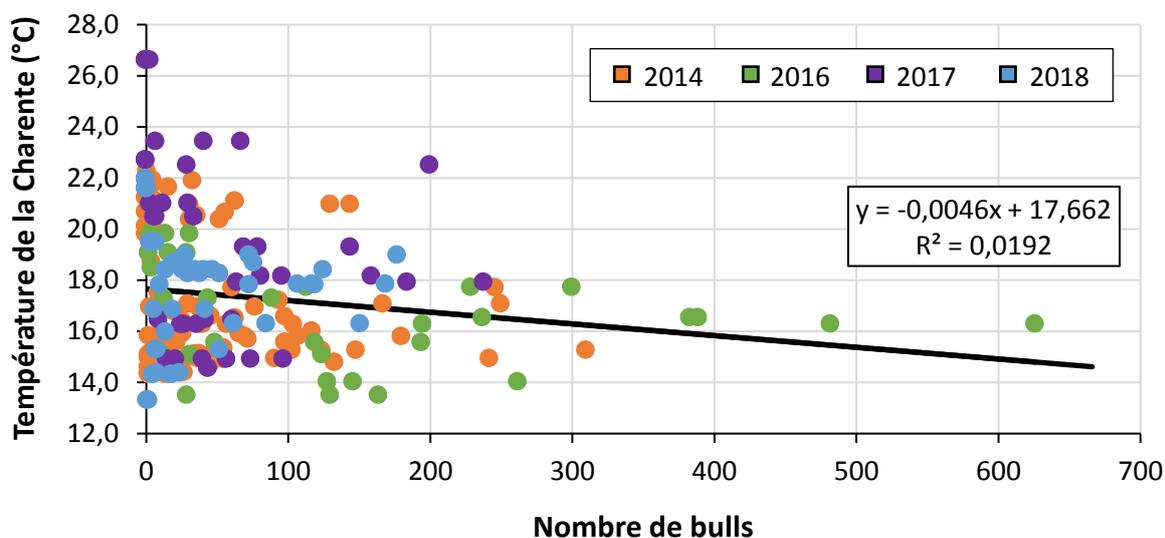


Figure 22. Température de la Charente (°C) en fonction du nombre de bulls dépouillés (N = 232) sur les années 2014 (orange), 2016 (vert), 2017 (violet) et 2018 (bleu).

Les reprises de **débit** importantes ont un effet négatif sur la reproduction (Baglinière & Elie, 2000). Sur l'ensemble des saisons de reproduction, il semblerait qu'un débit diminuant de façon régulière augmente l'activité de reproduction (Fig. 23).

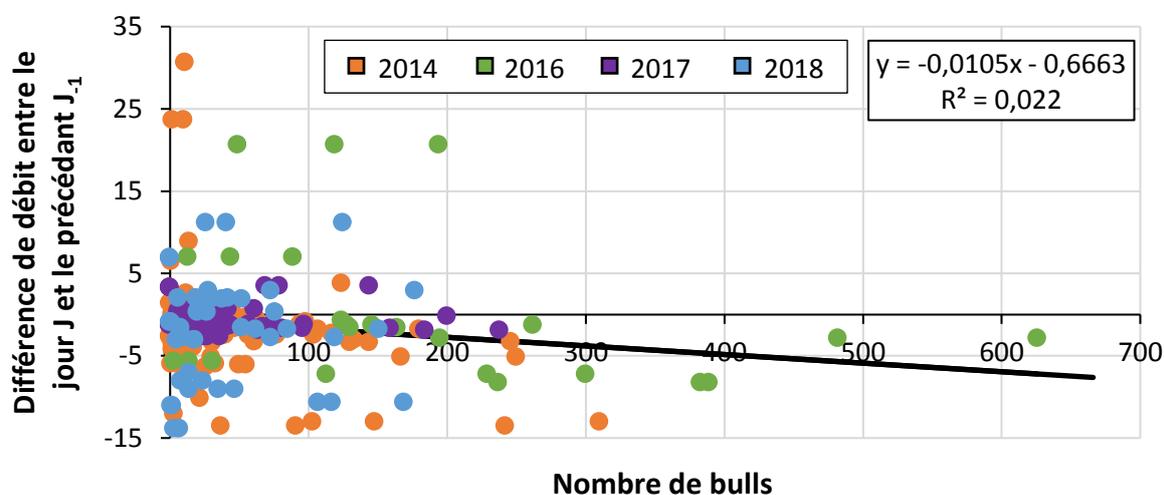


Figure 23. Différence de débit (m<sup>3</sup>/s) entre le jour J et le jour précédent J<sub>-1</sub> en fonction du nombre de bulls dépouillés (N = 232) sur les années 2014 (orange), 2016 (vert), 2017 (violet) et 2018 (bleu).

L'activité de reproduction est plus importante les mêmes nuits où sont constatés des franchissements importants d'aloses et de silures à la **passé à poissons** de Crouin (Fig. 24). La présence plus importante d'**aloses** dans la passé à poisson au moment des fortes activités de reproduction peut s'expliquer par l'arrivée de reproducteurs sur les sites suivant les coefficients de marée. Certains restent sur la frayère pour se reproduire tandis que les autres continuent la migration vers des zones plus à l'amont. Le nombre de **silures** franchissant la passé à poisson peut-être dû à la présence plus importante d'aloses dans la passé. En effet, le silure a été observé dans et devant les ouvrages de franchissement

(Baudoin *et al.*, 2014 ; Guillerault *et al.*, 2015 ; Dartiguelongue, 2017) et sur les frayères à de nombreuses reprises, notamment sur le site de La Baine en 2017 et 2018 (Labedan 2017 ; commentaire personnel).

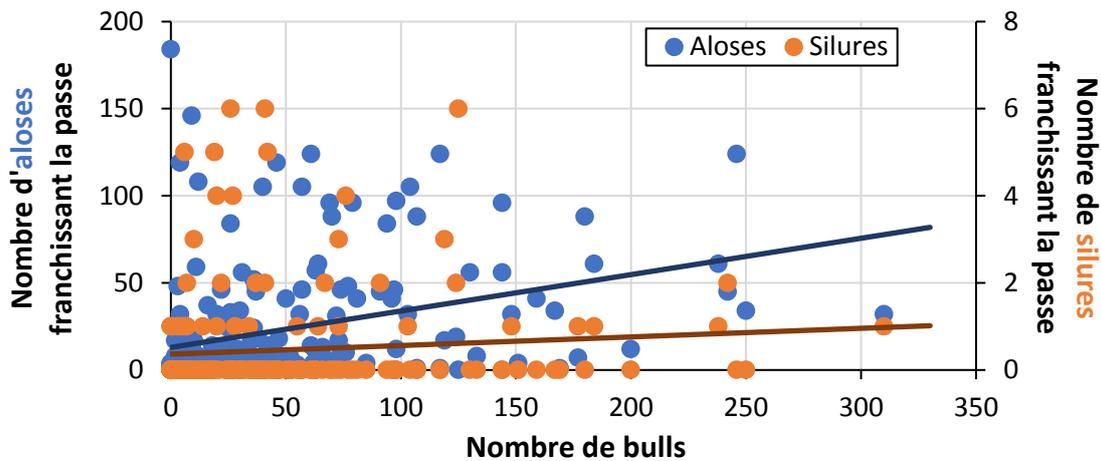


Figure 24. Nombres d'aloses (bleu) et de silures (orange) franchissant la passe à poissons de Crouin selon le nombre de bulls dépouillés (N = 232) pour les années 2014, 2017 et 2018.

#### 4. Efficacité de la reproduction

##### 4.1. Température et débit

Il est intéressant d'étudier les conditions de température et de débit de 2011 à 2014 avec un intérêt particulier pour 2013. Cela correspond à la période où sont nés les géniteurs se reproduisant en 2018 puisqu'ils sont âgés de 4 à 7 ans avec une majorité âgés de 5 ans.

La **température moyenne** de la Charente sur la période de reproduction est différente selon les années ( $F = 1426,50$  ;  $ddl = 7$  ;  $p < 0,05$  ; Fig. 25). Les années les plus chaudes sont 2011 et 2017 ( $18,1 \pm 0,4$  °C et  $17,9 \pm 0,4$  °C) et les années les plus froides sont 2013 et 2016 avec respectivement des températures moyennes printanières à  $14,7 \pm 0,3$  °C et  $15,0 \pm 0,3$  °C. En 2018, la température moyenne se situait à  $16,2 \pm 0,4$  °C. La température printanière moyenne a diminué de plus de 2°C entre 2011 et 2013 et 2013 est une des années les plus froides. Le débit printanier moyen a presque quadruplé entre 2011 et 2013, augmentant de 23 m<sup>3</sup>/s à presque 80 m<sup>3</sup>/s. L'année 2013 est une de celle ayant un des plus forts débits printaniers.

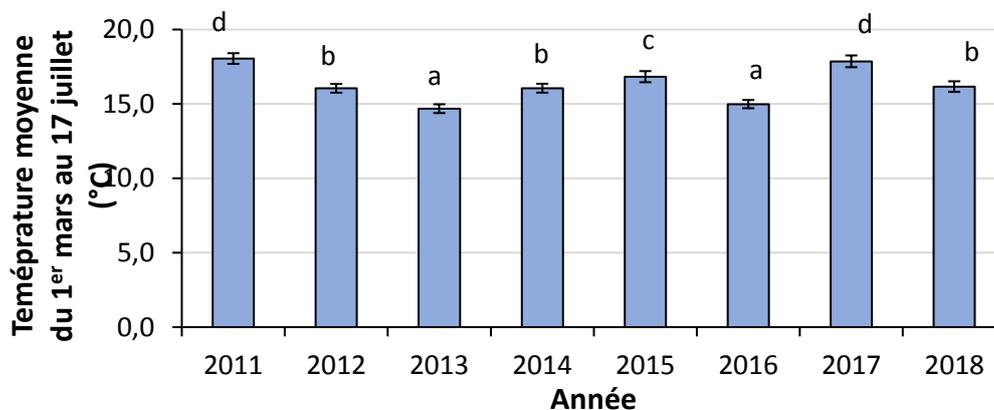


Figure 25. Température moyenne de la Charente (°C) du 1<sup>er</sup> mars au 17 juillet, à la passe à poissons du Crouin (2011-2017) et à Châteauneuf-sur-Charente (2016), selon les années (n = 365/an). Les lettres présentent la significativité du test post-hoc EMMs (*Estimated Marginal Means*) à  $p < 0,05$ . Les barres d'erreur représentent les erreurs standards.

Le **débit moyen** de la Charente sur la période de reproduction est différent selon les années ( $F = 259,40$  ;  $ddl = 7$  ;  $p < 0,05$  ; Fig. 26). Le débit printanier moyen en 2011 était le plus bas avec environ  $22,7 \pm 1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Il était de presque  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  en 2018. Les débits moyens ont augmenté de 2011 à 2014 ( $88,3 \pm 6,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) puis ont diminué en 2015 et 2017 ( $63,7 \pm 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $42,3 \pm 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

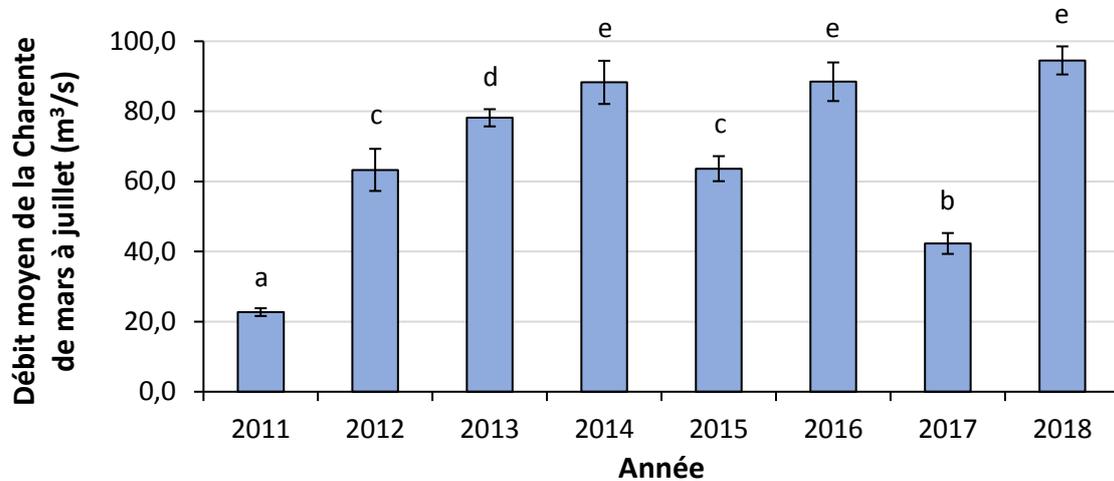


Figure 26. Débit moyen de la Charente ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) du 1<sup>er</sup> mars au 31 juillet à la station de Beillant selon les années ( $n = 365/\text{an}$ ). Les lettres présentent la significativité du test post-hoc EMMs (*Estimated Marginal Means*) à  $p < 0,05$ . Les barres d'erreur représentent les erreurs standards.

Les variations de température et de débit sur ces trois années sont importantes puisqu'en 2 ans, ces variables évoluent d'un extrême à l'autre. Ces facteurs prépondérants pour la reproduction (Baglinière & Elie, 2000) ont tous deux un aspect négatif pour l'année 2013, année majoritaire de naissance des géniteurs de 2018. Ces mauvaises conditions environnementales pourraient expliquer le faible nombre de reproduction (en 2013) et de futurs reproducteurs sur les frayères (géniteurs de 2018).

#### 4.2. Survie cumulée des œufs et larves par le suivi de la température de l'eau

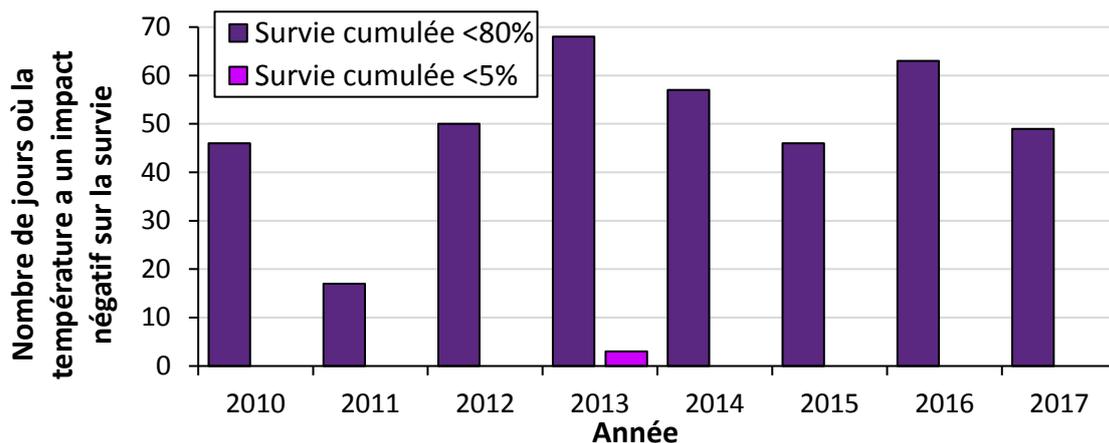


Figure 27. Nombre jours où la température a un impact négatif sur la survie cumulée des œufs et larves d'aloses selon les années ( $n = 153/\text{an}$ ). **Gamme optimale** (survie cumulée <80%) à températures comprises entre 16,6 et 24,8 °C ; **gamme de tolérance** (survie cumulée <5%) à températures comprises entre 10,8 et 29,8 °C.

Depuis 2010, le nombre de jours où la température est hors de la gamme optimale est différent ( $\chi^2 = 33,58$  ;  $ddl = 7$  ;  $p < 0,05$  ; Fig. 27). L'année 2011 a été l'année avec la **survie** la plus optimale puisque seulement 17 jours (11%) étaient hors de la plage de température de la gamme optimale. Les autres

années, ce nombre varie entre 46 jours (30%) et 68 jours (44%). L'année 2013 est la seule année présentant 3 jours (2%) sous la plage des températures de la gamme de tolérance.

De plus, en prenant en compte les plages de températures d'eau de survie des œufs et larves identifiées par Jatteau *et al.* en 2017, il est possible d'obtenir un nombre de jours où les températures sont hors de ces plages établies et où la survie des œufs et des larves n'a pas été optimale (Annexe 16). Ainsi, l'année 2013 compte 68 jours, soit plus d'un tiers du temps, en-dessus ou au-dessous des plages de température où la survie est estimée supérieure à 80%. De plus, elle est la seule année où la température passe sous la plage de survie de 5% pendant 3 jours (2%).

Cette faible efficacité de reproduction, se basant uniquement sur l'analyse des températures, peut expliquer en partie le faible nombre de reproducteur présent sur la Charente cette saison 2018.

## 5. Suivi du linéaire

Le **nombre de sites** prospectés est similaire depuis 2013 (Tab. III). Chaque année, tous les sites étaient actifs sauf en 2018 où aucune activité n'a été détectée sur un des sites.

Le nombre de **sorties** réalisées a presque doublé en 2018. De même, le nombre de fois où les frayères ont été visitées était plus important en 2018 mais aussi important en 2014.

Tableau III. Récapitulatif des sites prospectés et actifs, du nombre de nuit de sortie et du nombre total de visites des frayères ainsi que du nombre de personnes nécessaires.

Années	Sites prospectés	Sites actifs	Nombre de sorties réalisées	Nombre total de visites des frayères	Moyens humains
2013	16	16	6	44	16
2014	16	16	9	71	26
2015	16	16	7	33	14
2016	15	15	8	44	18
2017	16	16	8	47	20
2018	16	15	15	64	19

Le nombre de **personnes** participant aux suivis est relativement constant, sauf en 2014 où 26 personnes ont réalisé des sorties de suivi du linéaire. En 2018, 19 personnes ont participé aux prospections nocturnes : 4 membres de la Cellule Migrateurs, 4 de la fédérations de pêche de Charente (16) et 2 membres de la fédération de pêche de Charente-Maritime (17) ainsi que 4 et 5 membres des services départementaux 16 et 17 de l'AFB.

Sur les 13 frayères secondaires, 12 ont été **actives** en 2018 (Fig. 28). Le moulin de La Baine n'a pas été actif cette année lors des prospections effectuées. Cependant, les gestionnaires du restaurant du moulin ont signalé qu'ils avaient entendu des bulls plusieurs nuits en 2018.

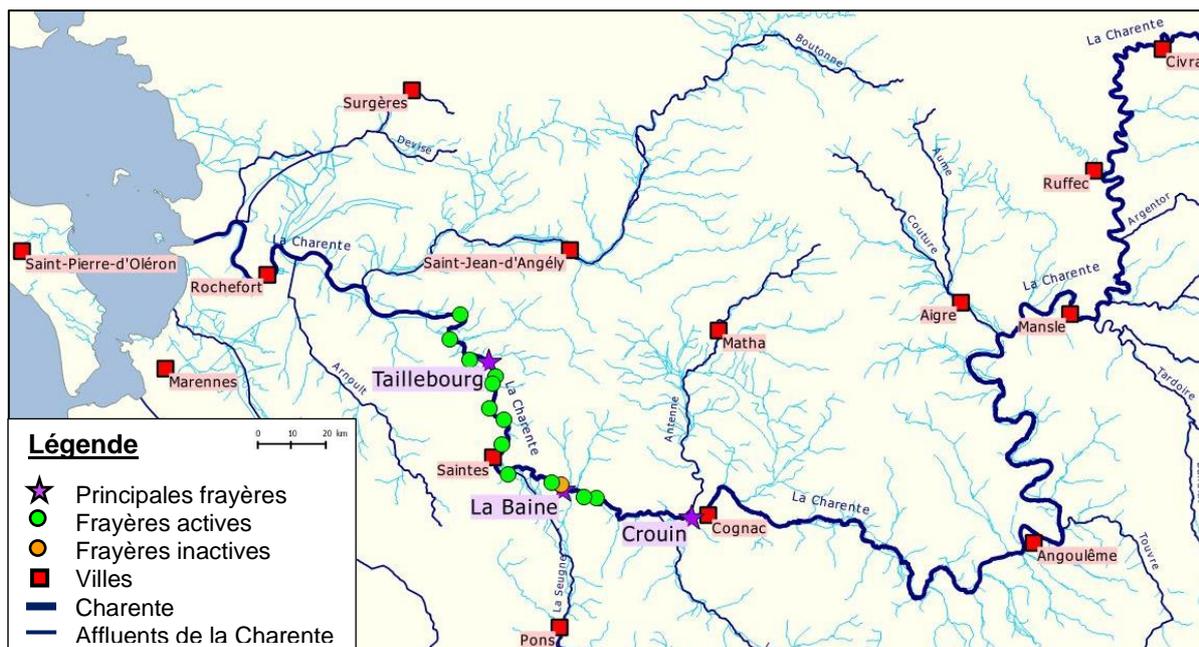


Figure 28. Carte de l'activité des 16 frayères prospectées pour le suivi du linéaire. Les frayères **actives** sont en verts et les **inactives** en orange.

En 2018, sur l'ensemble des frayères suivies, le nombre de bulls maximum par quart d'heure est le plus important pour les trois principales frayères en particulier Taillebourg qui présente le nombre de bulls par quart d'heure le plus élevé (Tab. IV). Cependant, le site de Port à Clou présente un nombre de bulls maximum supérieur à ceux de La Baine et Crouin (43 bulls contre 24). Ce nombre est assez atypique par rapport aux années précédentes.

Tableau IV. Récapitulatif du nombre maximal de bulls par quart d'heure par frayères depuis 2013 avec les trois principales frayères (Taillebourg, La Baine, Crouin) et les nombres les plus importants en gras par frayère.

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

## 6. Front de migration

En 2018, **41 sites ont été prospectés en journée** mais aucune activité n'a été constatée : ni cadavres, ni présence aux pieds des ouvrages (Tab. V). Sur les **27 frayères prospectées la nuit, 3 étaient actives** dont Bagnolet, Saint Simon et Châteauneuf-sur-Charente.

Tableau V. Nombre de sites prospectés et actifs de jour et de nuit avec le nombre de sortie et les moyens humains mis en place en 2018.

Front de migration	Jour	Nuit	Journée navigation
Sites prospectés	41	27	1 cadavre trouvé
Sites actifs	0	3	
Nombre de sorties	16	11	
Moyens humains	8	17	?

**Depuis 2012, 160 cadavres d'aloses** ont été récupérés sur la Charente et sur la Seudre (Fig. 29). En 2018, un seul cadavre a été découvert à Jarnac et 53 aloses ont été pêchées près de l'île d'Oléron dans le cadre d'un suivi réalisé par le CREEA, sur des récifs artificiels. Certains individus n'ont cependant pas été déterminés, entre grande et feinte, en raison de l'absence de tête.

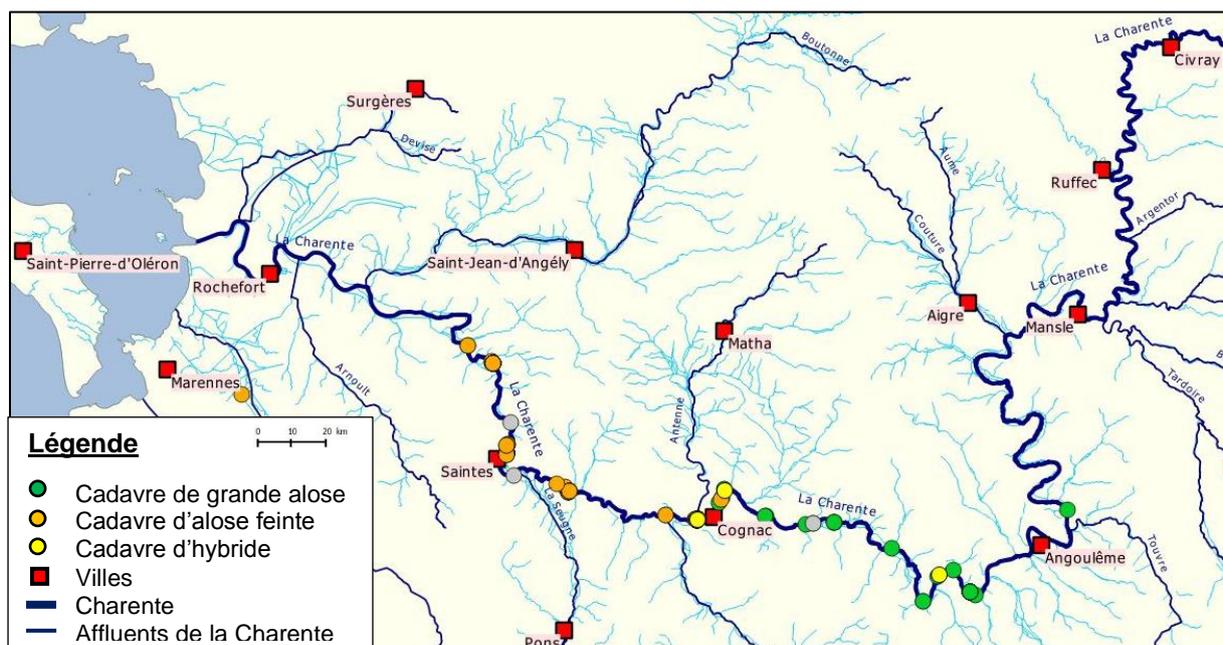


Figure 29. Carte de la répartition des cadavres de **grandes aloses**, **aloses feintes** et **hybrides** sur la Charente avec les données depuis 2012.

Les aloses feintes (*Alosa fallax*) sont majoritairement retrouvées en aval de Crouin sauf pour un cadavre trouvé autour de la Maison blanche en 2012 (à Cognac). Cela correspond au front de migration établi par Véron *et al.* en 2001. En effet, les aloses feintes fraient en aval et sous la limite de la marée dynamique (Belaud *et al.*, 2001 ; Aprahamian *et al.*, 2003). Or la limite de la marée dynamique est ressentie jusqu'à La Baine (Véron *et al.*, 2001), à Chaniers.

Les grandes aloses (*Alosa alosa*) sont retrouvées en amont de Crouin. En effet, leurs frayères se situent en amont des zones sous influence de la marée dynamique.

Quatre individus ont été identifiés comme étant des hybrides, 3 en 2015 et 1 en 2017. Ils comportaient un nombre de branchiospines compris entre 60 et 90 (N = 73, 75, 66 et 77). Deux des hybrides ont été trouvés dans les blocs en aval du barrage de Crouin, un autre au Solençon entre Cognac et Bagnolet et le dernier sur le barrage de Saint-Simeux.

En 2018, la frayère active la plus en amont est celle de Châteauneuf-sur-Charente (Fig. 30). Seulement 3 frayères en amont de Crouin ont été actives cette année : Bagnolet, Saint-Simon et Châteauneuf-sur-Charente. Le front de migration de 2018 est donc Châteauneuf-sur-Charente.

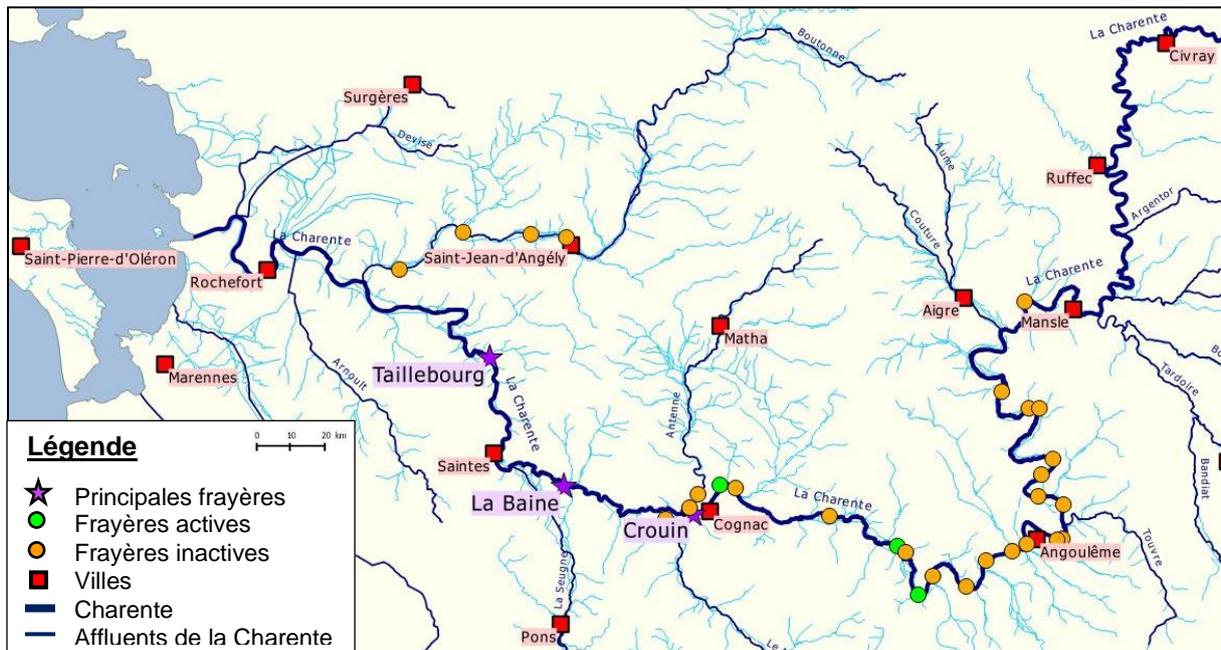


Figure 30. Carte de l'activité des frayères prospectées pour la recherche du front de migration. Les frayères actives sont en verts et les inactives en orange.

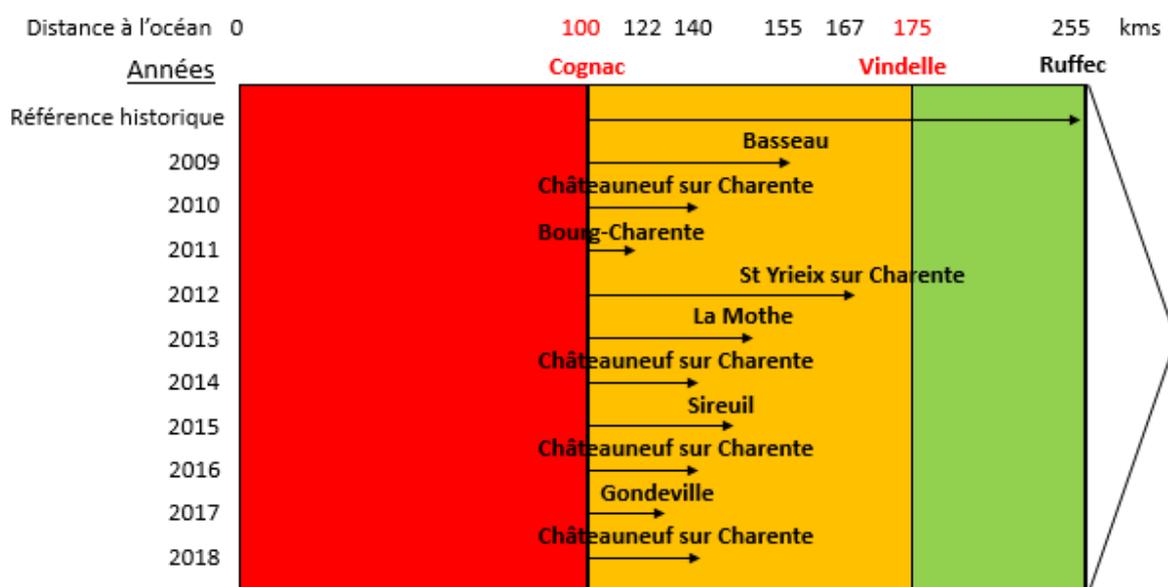


Figure 31. Schéma représentatif de l'évolution du front de migration selon les années sur la Charente.

Le front de migration de référence est situé à Ruffec à 255 km de l'océan (Fig. 31). Le front de migration est relativement bas en 2018 mais plus haut que ceux atteints en 2011 (Bourg-Charente) et 2017 (Gondeville). Il est cependant le même qu'en 2010, 2014 et 2016.

## 7. Passages à la passe à poissons de Crouin

La **présence du silure** (*Silurus glanis*) dans la passe à poisson de Crouin est influencée par cinq variables (Annexe 17) : la présence d'aloses, la température, le débit, la luminosité théorique de la lune, et les années.

La **présence d'aloses** semble inversement corrélée à la présence de silures dans la passe à poissons de Crouin (Fig. 32).

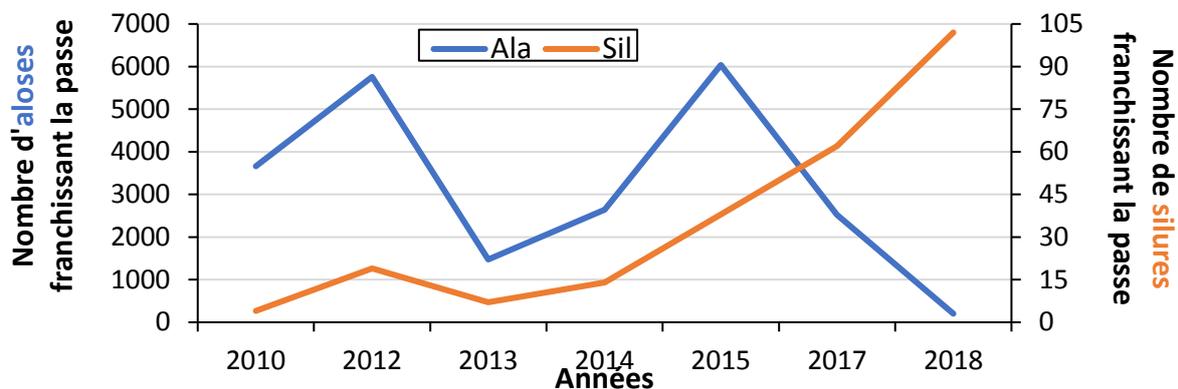


Figure 32. Nombres d'aloses (*Alosa sp.*) et de silures ayant franchi la passe à poissons de Crouin selon les années de suivi. Les années 2011 et 2016 ne sont pas représentées suite à des dégâts causés à la passe ces années-là.

Plus la **température** augmente, plus il y a de silures présents dans la passe. En revanche, une forte **luminosité de la lune** aura un impact négatif sur sa présence dans la passe.

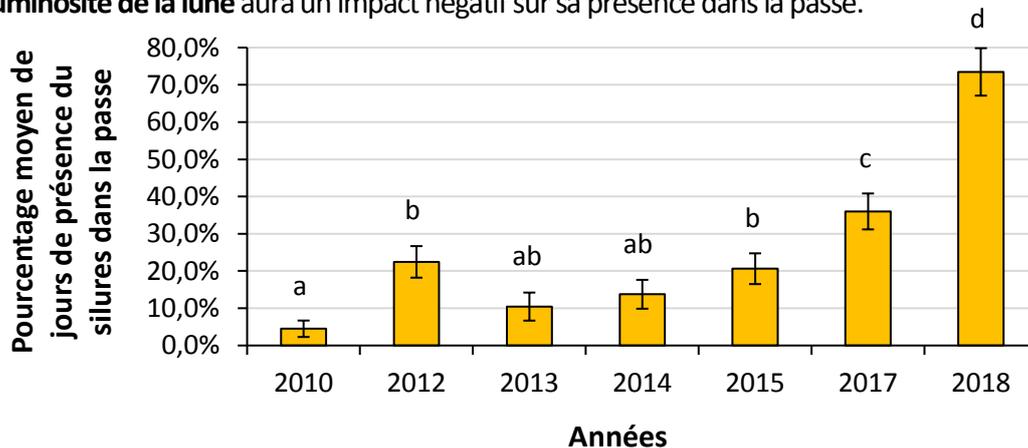


Figure 33. Pourcentage moyen de jours de présence du silure (*Silurus glanis*) sur la période de présence d'aloses dans la passe à poissons de Crouin selon les années (n = 580). Les années 2011 et 2016 ne figurent pas dans l'analyse en raison de d'inondation et de travaux dans la passe. Les lettres présentent la significativité du test post-hoc EMMs (*Estimated Marginal Means*) à  $p < 0,05$ . Les barres d'erreur représentent les erreurs standards.

La présence du silure dans la passe est plus importante ces dernières **années** (Fig. 33). L'année 2010 présentait une présence moyenne de silures de  $4,5\% \pm 2,2\%$  jours dans l'année. De 2012 à 2015, le silure était présent en moyenne  $16,8\% \pm 4,0\%$  du temps sur la période du passage des aloses. En 2017 et 2018, ce pourcentage moyen est monté à  $36,0\% \pm 4,8\%$  jours et  $73,5\% \pm 6,4\%$  jours.

Les effectifs ont triplé depuis 2015, passant de 38 individus à 102 individus au 20 août 2018 (Dartiguelongue, 2018 ; données non publiées 2018). Il n'était que 4 en 2012. Cela est peut-être révélateur d'une population croissante de silures dans le secteur de Crouin.

Les passages de silure dans la passe se font pendant la période de reproduction des aloses, à la fin mai et en juin. Or, il s'agit aussi de la période de reproduction du silure et de sa reprise d'activité qui suit l'augmentation de la température de l'eau (Copp *et al.*, 2009). Copp *et al.* (2009) informent, en effet, que le silure effectue une migration en amont pour atteindre son lieu de reproduction. Ainsi, l'utilisation des passes à poissons à cette période de l'année semble habituelle. Cependant, la fréquentation croissante des passes à poissons semble indiquer une hausse des individus reproducteurs.

De plus, la présence d'un prédateur aussi imposant que le silure dans les passes à poissons peut induire un effarouchement des espèces empruntant le dispositif. Ainsi, sa présence dans les passes à l'arrivée des poissons migrateurs (Syväranta *et al.*, 2009 ; Baudoin *et al.*, 2014) pourrait diminuer ou retarder le passage des aloses et donc perturber l'accès aux frayères amont et le succès de la reproduction.

Cela est d'autant plus inquiétant que la contribution d'espèces migratrices à son régime alimentaire peut atteindre les 50% à proximité des barrages (Syväranta *et al.*, 2009 ; Guillerault *et al.*, 2015). Au printemps, le silure sort de son jeûne hivernal (Copp *et al.*, 2009). Son besoin énergétique important (Copp *et al.*, 2009 ; Boisneau, 2015) le pousse à se procurer des proies disponibles en quantité importante comme l'alose (Carol *et al.*, 2007 ; Slavík *et al.*, 2015).

Ainsi, la fatigue liée aux migrations, les blessures potentielles et le stress des poissons migrateurs sont susceptibles d'en faciliter la chasse. Ceux-ci peuvent être ralentis à l'aval des ouvrages, le temps de trouver l'entrée du dispositif, qui est parfois réduite en proportion de la taille du cours d'eau.

## Conclusion et perspectives

Le bilan du nombre de géniteurs d'aloses sur la Charente est inquiétant mais il est tout aussi inquiétant sur les bassins versants adjacents.

Le bassin Gironde-Garonne-Dordogne présente un nombre de géniteurs estimés entre 5 000 et 10 000 depuis 2012, ce qui est faible par rapport à la moyenne des 180 000 géniteurs estimés entre 1987 et 2005 (MIGADO, 2018a). Au 13 juillet 2018, le nombre de passage d'aloses aux principales stations de comptage de la Garonne et de la Dordogne a chuté de 60% entre 2017 et 2018 (MIGADO, 2018a et b). Le bassin de la Loire enregistre des passages aux stations de comptage mauvais depuis 2009 avec une moyenne de 1 415 aloses entre 2013 et 2017 (Legrand & Besse, 2018) et un passage de 1 319 aloses au 8 août 2018.

En revanche, le bassin de la Vilaine et l'association Normandie Grands Migrateurs ont vu leur effectif d'aloses aux stations de contrôle augmenter depuis 2014 (Briand, 2018 ; NGM, 2018). Ces données semblent indiquer une remontée de l'aire de distribution d'*Alosa sp.* vers le nord, peut-être sous l'effet du réchauffement des eaux dans les secteurs les plus au sud.

Il serait intéressant de poursuivre la surveillance de l'évolution des effectifs de silures ainsi que d'étudier ses horaires de passage dans la passe à poissons. Ainsi, il serait possible d'observer s'il y a bien un évitement d'ordre temporel par les aloses, du silure, et si celui-ci induit un effarouchement.

Il serait intéressant de réaliser une nouvelle étude de potentialités piscicoles afin d'actualiser les connaissances sur les frayères mais aussi sur leur évolution ces quinze dernières années. Une étude de la question du bouchon vaseux en estuaire de la Charente serait utile. Elle apporterait des réponses sur la qualité de l'eau en estuaire, notamment sur son impact potentiel au moment de la migration des aloses et des autres poissons migrants, à la montaison, comme à la dévalaison.

## Bibliographie

- Aprahamian M.W., Baglinière J.L., Sabatié M.R., Alexandrino P., Thiel R. & C.D. Aprahamian (2003). Biology, status, and conservation of the anadromous Atlantic twaite shad *Alosa fallax fallax*. *American Fisheries Society Symposium*, **35**: 103-124.
- Baglinière J.L. & P. Elie (2000). Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.): écobiologie et variabilité des populations. Cemagref, INRA (eds), Paris, 275p.
- Baglinière J.L., Sabatié M.R., Rochard E., Alexandrino P., & M.W. Aprahamian (2003). The allis shad *Alosa alosa*: biology, ecology, range and status of populations. *American Fisheries Society Symposium*, **35**: 85-102.
- Baudouin J.M., Burgun V., Chanseau M., Larinier M., Ovidio M., Sremski W., Steinbach P. & B. Voegtle (2014). Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons – Principes et Méthodes. ONEMA (ed), 200p.
- Belaud A., Carette A., Cassou-Leins F. & J.J. Cassou-Leins (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, DOI: 10.1051/kmae:2001024.
- Boisneau C. (2015). Alosa 2012-2013 – Suivi des aloses en Loire moyenne et approche de la prédation par le silure. *Rapport de l'Université de Tours*, 91p.
- Boisneau P., Mennesson-Boisneau C. & J.L. Baglinière (1990). Description d'une frayère et comportement de reproduction de la grande alose (*Alosa alosa* L.) dans le cours supérieur de la Loire. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, **316**: 15-23, DOI: 10.1051/kmae:1990022.
- Borcard (2000). Régression. *Département de sciences biologiques - Université de Montréal*, 56p.
- Briand C., Baglinière J.L. & M.A. Arago (2015). Gestion des aloses en Vilaine. COGEPOMI Bretagne (ed), *étude*, 5p.
- Briand C., Sauvaget B. & G. Eriau (2018). Volet migrateurs 2015-2021 – Suivi scientifique des migrations de poissons de la passe à bassins du barrage d'Arzal (Vilaine, Morbihan). EPTB Vilaine (ed), *Rapport d'étude*, 35p.
- 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 2 : Dynamique des Écosystèmes Aquatiques*. Université de Pau et des Pays de l'Adour, France, 36p.
- Cassou-Leins F. & J.J. Cassou-Leins (1981). Recherches sur la biologie et l'halieutique des migrateurs de la Garonne et principalement de l'alose *Alosa alosa* L. *Thèse de doctorat : ichtyologie appliquée*. Institut National Polytechnique, France, 382p.
- Cellule Migrateurs Charente Seudre (2011). Continuité écologique – La restauration de la libre circulation des poissons migrateurs sur les bassins Charente et Seudre. EPTB Charente,

- Groupement fédérations de pêche du Poitou-Charentes & CREAA (eds), Chasseneuil-sur-Bonnieure, *Guide technique*, 19p.
- Cellule Migrateurs Charente Seudre (2013). Programme d'Actions 2012-2025 – Rapport technique 2012. EPTB Charente, Groupement fédérations de pêche du Poitou-Charentes & CREAA (eds), *Rapport technique*, 171p.
- Cellule Migrateurs Charente Seudre (2015). Programme d'Actions 2016-2020 – Continuité écologique et gestion des populations. EPTB Charente, Groupement fédérations de pêche du Poitou-Charentes & CREAA (eds), *Document cadre*, 42p.
- Cellule Migrateurs Charente Seudre (2017). Programme d'Actions 2016-2020 – Rapport technique 2016. EPTB Charente, Groupement fédérations de pêche du Poitou-Charentes & CREAA (eds), *Rapport technique*, 126p.
- Cellule Migrateurs Charente Seudre (2018). Programme d'Actions 2016-2020 – Rapport technique 2017. EPTB Charente, Groupement fédérations de pêche du Poitou-Charentes & CREAA (eds), *Rapport technique*, 144p.
- Chanseau M., Mayeras F., Brasier W., Noel Y. & J.M. Lascaux (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, ECOGEA (eds), *Rapport 2006*, 41p.
- Copp G.H., Britton J.R., Cucherousset J., García-Berthou E., Kirk R., Peeler E. & S. Stakėnas (2009). Various invader or benign feline? A review of the environmental biology of European catfish *Silurus glanis* in its native and introduced ranges. *Fish and Fisheries*, **10**: 252-282, DOI: 10.1111/j.1467-2979.2008.00321.x.
- Dartiguelongue J. (2018). Contrôle du fonctionnement de la passe poissons installée à Crouin (16) sur la Charente. Suivi de l'activité ichtyologique en 2017. *Rapport des Services et Conseils en Environnement Aquatique (SCEA)*, 38p.
- DORIS [Ed]. *Alosa alosa/fallax* (Linnaeus, 1758)/(Lacepède, 1803). *Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et la flore Subaquatiques*, site web : <http://doris.ffesm.fr/ref/specie/4490>. Le 21 août 2018.
- EPTB Charente (2018). RECEMA Charente – Réseau d'évaluation Complémentaire de l'Etat de l'Eau et des Milieux aquatiques du bassin de la Charente et de ses affluents – Bilan 2017. Groupement des acteurs du bassin de la Charente et de ses affluents pour l'amélioration de la connaissance et le suivi de l'état de l'eau et des milieux aquatiques (ed), 55p.
- Guillerault N., Delmotte S., Poulat N. & F. Santoul (2015). Etudes des interactions du Silure glane (*Silurus glanis*) avec l'ichtyofaune métropolitaine. ONEMA, EcoLab, MAD-Environnement (eds), *Rapport d'étude*, 49p.
- Hydro Concept (2003). Etude des potentialités piscicoles des bassins de la Charente et de la Seudre pour les poissons migrateurs. EPTB Charente (ed), *Rapport d'étude*, 138p.

- Jatteau P., Drouineau H., Charles K., Carry L., Lange F. & P. Lambert (2017). Thermal tolerance of allis shad (*Alosa alosa*) embryos and larvae: Modeling and potential applications. *Aquatic Living Ressources*, **30**: 1-8, DOI: 10.1051/alr/2016033.
- Jolly M.T., Maitland P.S. & M.J. Genner (2011). Genetic monitoring of two decades of hybridization between allis shad (*Alosa alosa*) and twaite shad (*Alosa fallax*). *Conservation Genetics*, **12**: 1087-1100, DOI: 10.1007/s10592-011-0211-3.
- Labedan M. (2017). Estimation du nombre de géniteurs d'aloses sur le bassin versant de la Charente. *Rapport de stage de master 2 : Dynamique des Écosystèmes Aquatiques*. Université de Pau et des Pays de l'Adour, France, 46p.
- Lambert P., Jatteau P., Paumier A., Carry L. & H. Drouineau (2018). Allis shad adopts an efficient spawning tactic to optimize offspring survival. *Environmental Biology of Fishes*, **101**: 315-326, DOI: 10.1007/s10641-017-0700-4
- Larinier M., Porcher J.P., Travade F. & C. Gosset (1994). Passe à poissons – Expertise, conception des ouvrages de franchissement. Conseil Supérieur de la Pêche (ed), Paris, 336p.
- Legrand M. & T. Besse (2018). Paroles de Migrateurs n°16 – Retour sur l'année 2017. LOGRAMI (ed), *Rapport d'activité*, 8p.
- Lochet A. (2006). Dévalaison des juvéniles et tactiques gagnantes chez la grande alose *Alosa alosa* et l'alose feinte *Alosa fallax* : apports de la microchimie et de la microstructure des otolithes. *Thèse de doctorat : océanographie*. Université de Bordeaux I, France, 208p.
- Martin J., Rougemont Q., Drouineau H., Launey S., Jatteau P., Bareille G., Berail S., Pécheyran C., Feunteun E., Roques S., Clavé D., Nachón D.J., Autunes C., Mota M., Réveillac E. & F. Daverat (2015). Dispersal capacities of anadromous Allis Shad population inferred from a coupled genetic and otolith approach. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques*, **72**: 991-1003, DOI: 10.1139/cjfas-2004-0510.
- MIGADO (2018a). Actions techniques 2017. MIGADO – Association Migrateurs Garonne Dordogne (ed), *Rapport d'activité*, 32p.
- MIGADO (2018b). Bulletin d'informations des stations de contrôle de la Dordogne et de la Garonne – Semaine 27. MIGADO (ed), **19**: 10p.
- Muséum National d'Histoire Naturelle [Ed]. *Inventaire National du Patrimoine Naturel*, site web : <https://inpn.mnhn.fr>. Le 21 août 2018.
- Myers G.S. (1949). Usage of anadromous, catadromous and allied terms for migratory fishes. *Copeia*, **1949**: 89-97, DOI: 10.2307/1438482.
- NGM [Ed]. Comptage des géniteurs d'aloses. *Normandie Grands Migrateurs*, site web : <http://normandiegrandsmigrateurs.fr/les-poissons-migrateurs-de-normandie/aloses/comptage-geniteurs-aloses>. Le 22/08/2018.

- Rochard E. & G. Lassalle (2010). Conservation de la biodiversité et changement climatique : un nécessaire changement de paradigme - Le cas des poissons migrateurs amphihalins. *Sciences Eaux and Territoires : la Revue de l'IRSTEA*, **3**: 104-109.
- Slavík O., Horký P., Maciak M. & M. Wackermannová (2015). Familiarity, prior residency, resource availability and body mass as predictors of the movement activity of the European catfish. *Journal of ethology*, **34**: 23-30, DOI: 10.1007/s10164-015-0441-9
- Sordello R., G. Conruyt-Rogéon & J. Touroult (2014). La fonctionnalité des continuités écologiques – Premiers éléments d'illustration et de compréhension. MNHN-SPN (ed), *Rapport*, 33p.
- Soulard A., Lascaux J.M. & F. Firmignac (2010). Site d'intérêt communautaire « Vallée de la Dordogne » - Présentation des inventaires piscicoles réalisés au 15/04/2010. MIGADO, ECOGEA (eds), *DOCOB « Vallée de la Dordogne » (FR 7200660)*, 107p.
- Syväranta J., Cucherousset J., Kopp D., Martino A., Céréghino R. & F. Santoul (2009). Contribution of anadromous fish to the diet of European catfish in a large river system. *Naturwissenschaften*, **96**: 631-635, DOI: 10.1007/s00114-009-0511-3.
- Taillerie S. (2012). Caractérisation des populations d'aloses sur le bassin versant de la Charente. *Rapport de stage de master 2 : 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 dévalaison et de l'impact des activités humaines. *Thèse de doctorat : biologie marine*. Université de Bordeaux I, France, 566p.
- Véron V., Sabatié R., Baglinière J.L. & P. Alexandrino (2001). Première caractérisation morphologique, biologique et génétique des populations de grande alose (*Alosa alosa*) et d'alose feinte (*Alosa fallax* spp.) de la Charente (France). *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, **362/363**: 1037-1057, DOI: 10.1051/kmae:2001035.
- Zydlewski J. & M.P. Wilkie (2012). Freshwater to seawater transitions in migratory fishes In McCormick S.D., Farrell A.P. & C.J. Brauner (eds), *Euryhaline Fishes*. Fish physiology, **32**: 253-326, DOI: 10.1016/B978-0-12-396951-4.00006-2.

# Annexes

## Annexe 1 – Traitements statistiques

Toutes les figures sont construites sous Excel. Les analyses statistiques sont effectuées sous le logiciel R à l'aide des packages car, Hmisc, RVAideMemoire, emmeans, MASS.

- Estimation du nombre de géniteurs

- Comparaison des géniteurs selon les années et les sites

Pour l'année 2018, le nombre de géniteurs pour chaque frayère est comparé par un test de conformité de  $\chi^2$ . Les années 2010, 2011 et 2015 présentent trop peu de données par frayères (nombre de nuits échantillonnées  $< 7$ ). Ainsi, pour les années 2013, 2014, 2016, 2017 et 2018, le nombre total de géniteurs est comparé selon les années et selon les sites par des tests d'homogénéité de  $\chi^2$ . Un test post-hoc de  $\chi^2$  de comparaison deux à deux est réalisé pour chaque test significatif.

- Facteurs influençant le nombre de bulls par nuit

Avant chaque analyse, les variables explicatives sont testées deux à deux par un test de Pearson afin de vérifier une éventuelle corrélation. Le coefficient de corrélation seuil choisi est  $r > 70$ . Sous ce seuil, les variables sont gardées et au-dessus de ce seuil, elles sont sélectionnées selon leur pertinence. Les données 2018 ( $n = 47$ ) sont analysées par un GLM (*Generalized Linear Model*) suivant la loi de binomiale négative. Les années 2014 ( $n = 113$ ), 2016 ( $n = 31$ ) et 2017 ( $n = 41$ ) présentent le plus de données ( $n > 10$  par frayère). Elles sont comparées entre elles avec 2018 par un GLM testant une interaction entre sites et années et suivant une loi binomiale négative. Un test post hoc du rapport des vraisemblances (*Likelihood Ratio Test = LRTest*) est réalisé à chaque modèle significatif.

- Données environnementales et silures

Les moyennes printanières de températures de l'eau (du 1<sup>er</sup> mars au 17 juillet) et de débit (du 1<sup>er</sup> mars au 31 juillet) de 2011 à 2017 sont testées par un GLM suivant une loi normale. La présence journalière de silures selon différents facteurs environnementaux (présence d'aloses, années, température, débit, coefficient de marée et pourcentage de luminosité lunaire) est analysée par un GLM (loi binomiale). Un test post hoc F complété par un test EMMs (*Estimated Marginal Means*) sont appliqués sur les modèles significatifs afin de comparer les années pour les trois GLM.

- Efficacité de la reproduction des années grâce aux températures de l'eau

Le nombre de jours hors des plages de survie  $>80\%$  des œufs et des larves sont comparés selon les années par un test de conformité de  $\chi^2$ . Un test post-hoc de  $\chi^2$  de comparaison deux à deux est réalisé pour chaque test significatif.

## Annexe 2 – Formules de la courbe de Gauss

Formule de construction de la courbe de Gauss (Borcard, 2000). Les coefficients  $a_2$ ,  $a_1$  et  $b$  sont obtenus suite à l'ajustement de la parabole au nuage de points (voir annexe 3). Ils permettent la construction de la courbe de Gauss ( $Z_x$ ) par les calculs des paramètres suivant : l'optimum ( $u$ ), du sommet de la courbe ( $c$ ) et de la tolérance ( $t$ ).  $x$  est la valeur de la variable (indice temporel ou température de l'eau) à ajuster.

$$u = \frac{-a_1}{2a_2} \qquad c = e^{-(a_2u^2 + a_1u + b)} \qquad t = \frac{1}{\sqrt{-2a_2}}$$

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

## Annexe 3 – Résultats de l'extrapolation des nuits manquantes

Tableau de l'estimation du nombre total de bulls (en gras) avec son intervalle de confiance à 95% sur chacune des principales frayères (Taillebourg, La Baine et Crouin) suite à l'extrapolation des nuits manquantes réalisée par la méthode de PLS (*Partial Least Square*). La marge d'erreur relative est calculée en pourcentage.

Sites	Borne inférieure	Nombre de bulls	Borne supérieure	Marge d'erreur relative
Taillebourg	3048	<b>5219</b>	7415	42,1%
La Baine	888	<b>1475</b>	2071	40,4%
Crouin	1585	<b>2677</b>	3742	39,8%

## Annexe 4 – Bulls dépouillés et entendus sur le terrain et droite de régression

Tableau du nombre de bulls enregistrés (E) et entendus (T) sur le terrain pour chacune des frayères avec le nombre de quarts d'heure calibrés. Les équations de régression obtenues sont indiquées avec leur coefficient de régression ( $R^2$ ).

Sites	Bulls de l'enregistreur (E)	Bulls de terrain (T)	% (E/T)	Nombre de quarts d'heure calibrés	$R^2$	Equation de régression
Taillebourg	423	584	72,4%	24	0,94	$y = 1,3255x + 0,9714$
La Baine	103	146	70,5%	24	0,97	$y = 1,2507x + 0,7157$
Crouin	124	175	70,9%	22	0,98	$y = 1,2689x + 0,8024$

## Annexe 5 – Résultats de la calibration

Tableau de l'estimation du nombre de bulls et son intervalle de confiance à 95% (en gras) pour chacune des frayères (Taillebourg, La Baine et Crouin) suite à la calibration par régression linéaire entre bulls dépouillés et entendus sur le terrain. Les équations de régression sont indiquées pour chaque site ainsi que le calcul de la marge d'erreur relative.

Sites		Borne inférieure	Estimation	Borne supérieure	Marge d'erreur relative
Taillebourg	Equations	$y = 1,18x - 2,50$	$y = 1,33x + 0,97$	$y = 1,47x + 4,44$	57,8%
	<b>Résultats après la calibration</b>	<b>3592</b>	<b>6919</b>	<b>10918</b>	
La Baine	Equations	$y = 1,16x - 0,01$	$y = 1,25x + 0,72$	$y = 1,34x + 1,44$	50,9%
	<b>Résultats après la calibration</b>	<b>1028</b>	<b>1846</b>	<b>2785</b>	
Crouin	Equations	$y = 1,19x + 0,06$	$y = 1,27x + 0,80$	$y = 1,35x + 1,55$	48,6%
	<b>Résultats après la calibration</b>	<b>1885</b>	<b>3398</b>	<b>5048</b>	

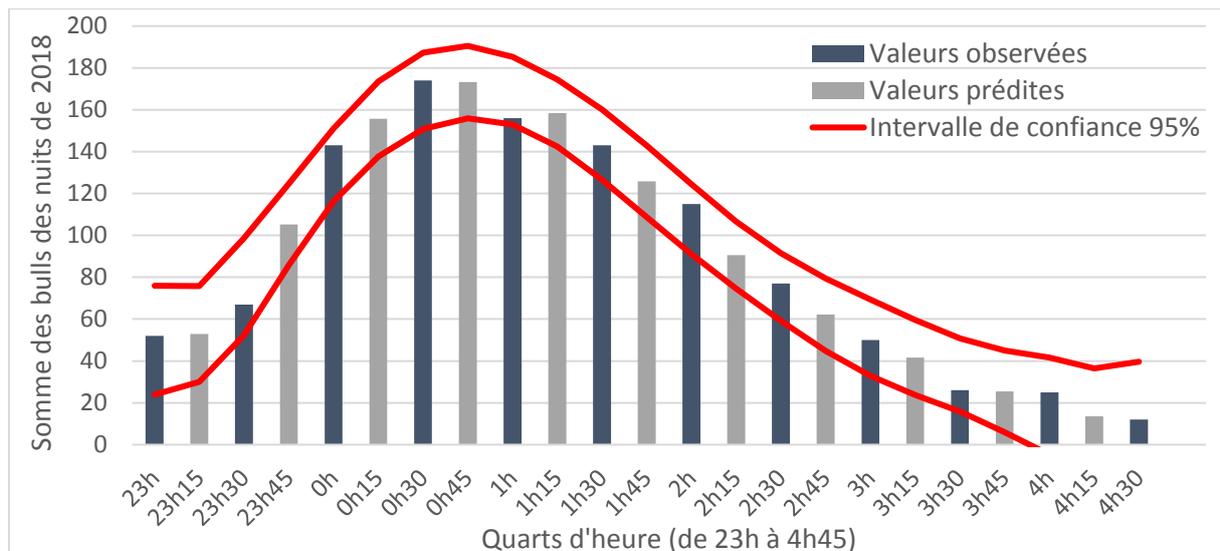
## Annexe 6 – Résultats des AIC et AICc pour chaque équation

Tableau des équations polynomiales construites du degré 2 au degré 6 avec les coefficients de régression et les Critère d'Information d'Akaike (corrige) (AIC(c)) les plus faibles en gras pour les sites de Taillebourg, La Baine et Crouin. Les équations choisies sont indiquées en couleur.

Sites	Degré	Formule	R <sup>2</sup>	AIC	AICc
Taillebourg	2	$-0,8495x^2 + 15,9795x + 57,7381$	0,75	121,68	122,94
	3	$0,0981x^3 - 4,3810x^2 + 50,0190x - 11,7141$	0,94	105,47	107,69
	4	$0,0026x^4 - 0,0285x^3 - 2,4173x^2 + 39,3632x + 1,8781$	0,95	106,42	109,95
	5	$-0,0012x^5 + 0,0751x^4 - 1,5843x^3 + 11,8384x^2 - 11,7856x + 48,7608$	0,98	98,13	103,38
	6	$0,0001x^6 - 0,0095x^5 + 0,3030x^4 - 4,558x^3 + 30,45x^2 - 60,81x + 84,58$	<b>0,99</b>	<b>95,23</b>	<b>102,70</b>
	La Baine	2	$-0,2529x^2 + 4,6528x + 21,1330$	0,78	90,44
3		$0,0202x^3 - 0,9790x^2 + 11,6517x + 6,8529$	0,88	85,36	87,58
4		$0,0026x^4 - 0,1067x^3 + 0,9881x^2 + 0,9776x + 20,4685$	0,94	80,20	83,73
5		$-0,0005x^5 + 0,0307x^4 - 0,7095x^3 + 6,512x^2 - 18,84x + 38,63$	<b>0,99</b>	<b>64,66</b>	<b>69,91</b>
6		$0,00001x^6 - 0,0014x^5 + 0,0566x^4 - 1,047x^3 + 8,626x^2 - 24,41x + 42,70$	0,99	65,79	73,25
Crouin		2	$-0,5018x^2 + 9,5802x + 27,9683$	0,78	106,43
	3	$0,0517x^3 - 2,3625x^2 + 27,5155x - 8,6259$	<b>0,95</b>	<b>90,67</b>	<b>92,89</b>
	4	$0,0005x^4 + 0,0297x^3 - 2,0220x^2 + 25,6675x - 6,2686$	0,95	92,56	96,09
	5	$-0,00007x^5 + 0,0045x^4 - 0,0564x^3 - 1,233x^2 + 22,84x - 3,674$	0,95	94,50	99,75
	6	$-0,000005x^6 + 0,0003x^5 - 0,0046x^4 + 0,0617x^3 - 1,972x^2 + 24,78x - 5,10$	0,95	96,49	103,95

## Annexe 7 – Exemple du nombre de bulls estimés pour les quarts d'heure manquants sur le site de Taillebourg

Graphique de la somme totale du nombre de bulls observés (foncés) et prédits par le modèle (clairs) pour chaque quart d'heure de la nuit (de 23h à 4h45) en 2018 sur la frayère de Taillebourg. L'intervalle de confiance est ajouté (courbes rouges).



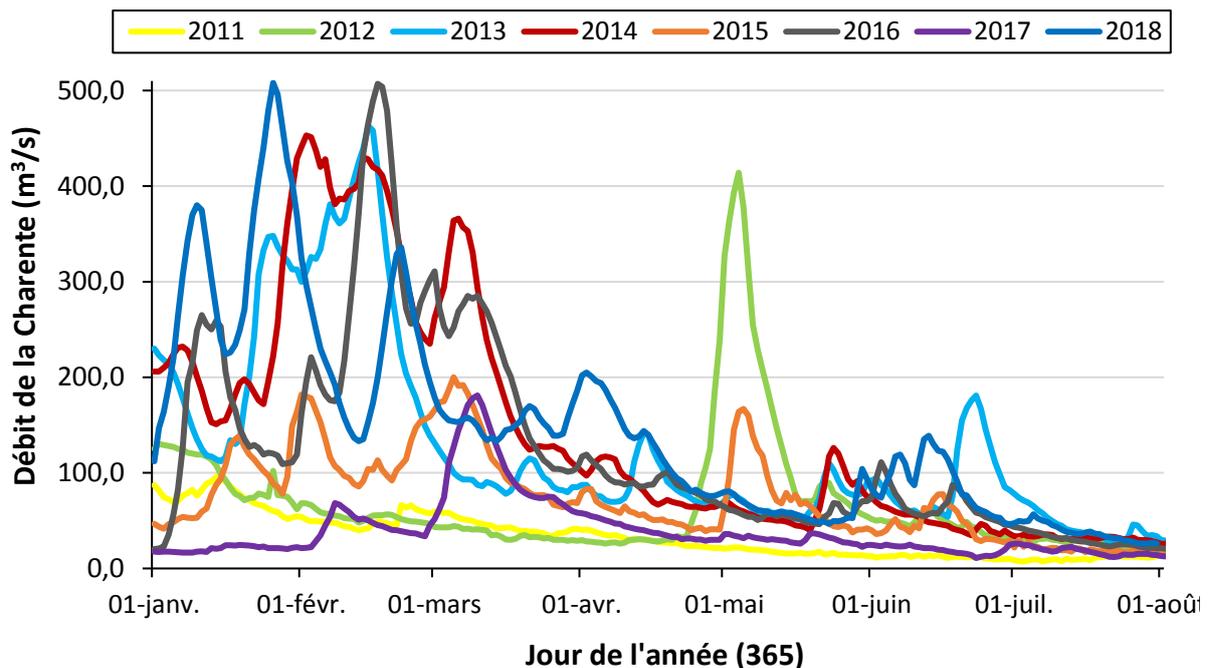
## Annexe 8 – Résumé des résultats de chaque étape de calcul et nombre de bulls total

Tableau récapitulatif des étapes de calcul d'estimation du nombre de bulls total (en gras) pour les trois principales frayères (Taillebourg, La Baine et Crouin). Le nombre de bulls estimé, son intervalle de confiance à 95% et le calcul de la marge d'erreur sont indiqués pour l'extrapolation des nuits manquantes, la calibration et l'interpolation des quarts d'heure manquants.

Site		Borne inférieure	Estimation	Borne supérieure	Marge d'erreur
Taillebourg	Extrapolation nuits manquantes	3048	5219	7415	41,2%
	Calibration	3592	6919	10918	57,8%
	Coefficients multiplicateurs des quarts d'heure manquants	1,54	1,97	2,39	21,5%
	<b>Nombre de bulls total</b>	<b>5541</b>	<b>13602</b>	<b>26084</b>	<b>91,8%</b>
La Baine	Extrapolation nuits manquantes	888	1475	2071	40,4%
	Calibration	1028	1846	2785	50,9%
	Coefficients multiplicateurs des quarts d'heure manquants	1,64	1,95	2,26	15,9%
	<b>Nombre de bulls total</b>	<b>1690</b>	<b>3608</b>	<b>6306</b>	<b>74,8%</b>
Crouin	Extrapolation nuits manquantes	1585	2677	3742	39,8%
	Calibration	1885	3398	5048	48,6%
	Coefficients multiplicateurs des quarts d'heure manquants	1,33	1,99	2,64	32,9%
	<b>Nombre de bulls total</b>	<b>2515</b>	<b>6761</b>	<b>13351</b>	<b>97,5%</b>

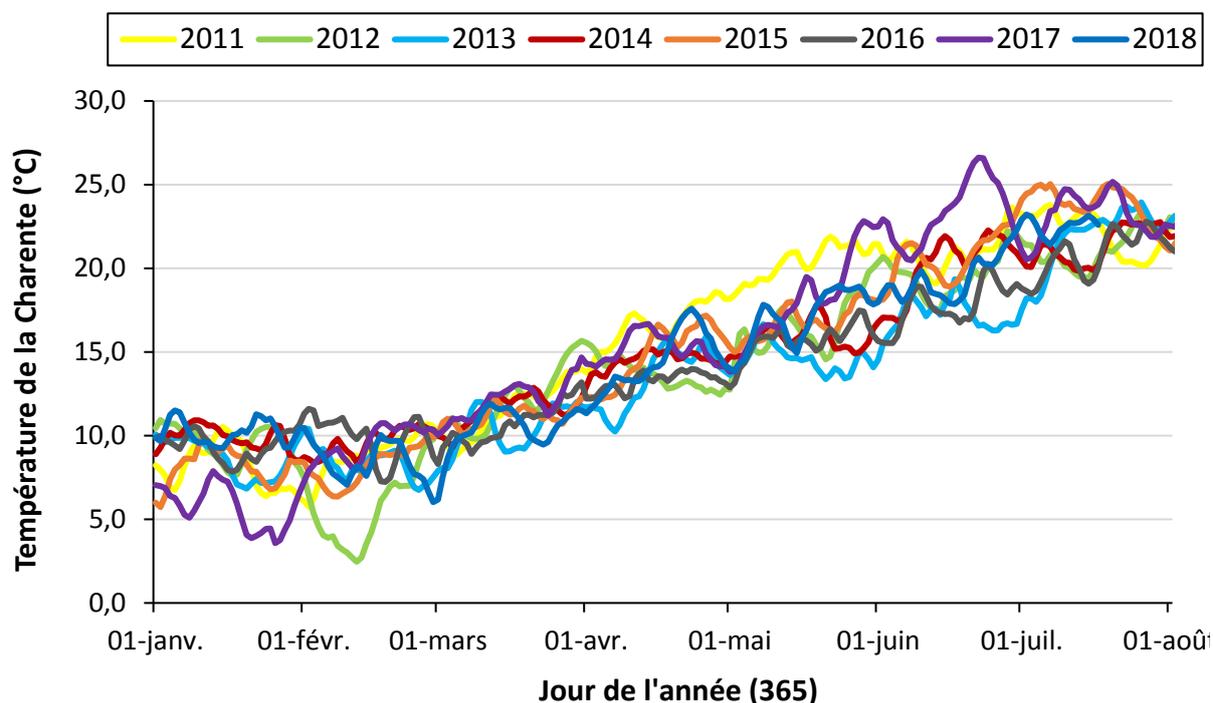
## Annexe 9 – Débit de la Charente selon les jours depuis 2011

Graphique du débit journalier de la Charente (m<sup>3</sup>/s) du 1<sup>er</sup> janvier au 1<sup>er</sup> août depuis l'année 2011. En 2018, les deux pics de janvier s'élevaient à 380 m<sup>3</sup>/s (10 janvier) et 508 m<sup>3</sup>/s (26 janvier).



## Annexe 10 – Température de la Charente selon les jours depuis 2011

Graphique de la température journalière de la Charente (°C) du 1<sup>er</sup> janvier au 1<sup>er</sup> août depuis l'année 2011.



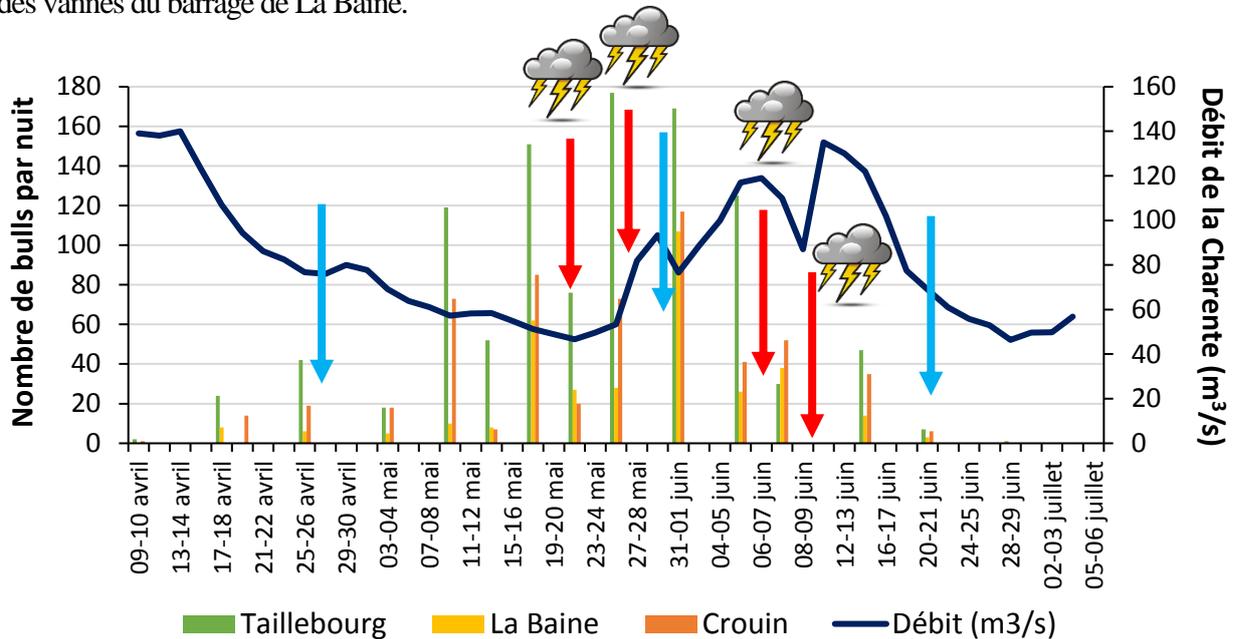
## Annexe 11 – Dates de manœuvre des vannes du barrage de La Baine

Tableau des dates et des manœuvres (remontée ou descente) des trois vannes du Barrage de La Baine (Commune de Courcoury, 17) pour les années 2017 et 2018. Le 14 août correspond à la réparation de la vanne 3, descendue à 14h30 et remontée à 15h15.

Date	Action	Cote avant manoeuvre		Cote après manoeuvre	
		Amont	Aval	Amont	Aval
30/05/2017	Remontée	2,44	2,33		
03/01/2018	Descente				
27/04/2018	Remontée	2,71	2,59	2,92	2,52
30/05/2018	Descente	3,32	3,07		
20/06/2018	Remontée	2,95	2,87	3,08	2,69
14/08/2018	Descendue puis remontée	2,64	2,48	2,69	2,40

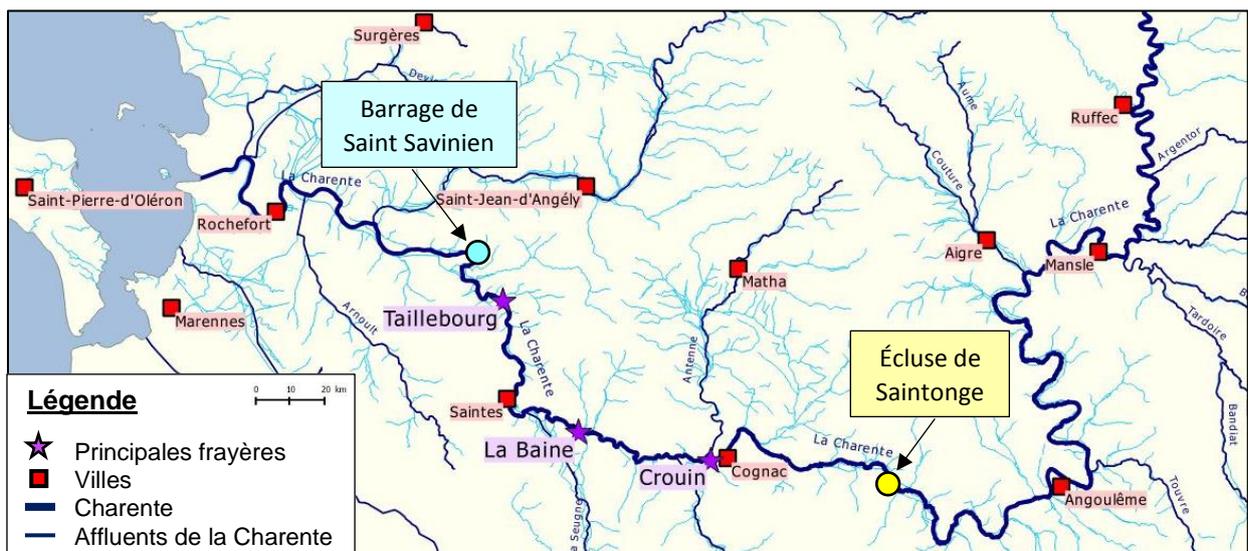
## Annexe 12 – Nombre de bulls par nuit en 2018, débit, oranges et manœuvre des vannes

Graphique du nombre de bulls par nuit sur la saison 2018 en fonction du débit (en m<sup>3</sup>/s) et selon les trois principales frayères de la Charente. Les flèches rouges indiquent les jours de gros orages : le 21 mai et le 6 juin et les nuits du 26-27 mai et du 09-10 juin. Les flèches bleues symbolisent les remontées et descentes des vannes du barrage de La Baine.



## Annexe 13 – Carte des principales frayères et des sites de Saint Savinien et Saintonge

Carte de la Charente où est indiquée la position du barrage de Saint Savinien (en bleu) et de l'écluse de Saintonge, deux premiers ouvrages posant un problème de franchissement pour les aloses (*Alosa sp.*).



### Annexe 14 – Résultats de l'analyse statistique des facteurs de 2018

Tableau présentant les résultats du GLM (*Generalized Linear Model*) testant l'influence des variables sur le nombre de bull pour la saison 2018. Les facteurs en gras ont un impact sur la reproduction. gTeau et Teau : transformations gaussiennes de l'indice temporel et de la température de l'eau, Teau : température de l'eau, Diff\_T et Diff\_D : différences de température et débit entre le jour T et le jour T-1, Débit : débit, pap et sil : nombres d'aloses et de silures passés à la passe à poisson de Crouin, Marée : coefficient de marée, Lune : pourcentage de visibilité de la lune, Pluvio : millimètre de pluie.

Variables	$\chi^2$	ddl	p	Significativité	Sens de la pente
<b>gTemps</b>	6,42	1	0,011	*	0,018
Teau	0,30	1	0,584		
<b>gTeau</b>	4,06	1	0,044	*	0,018
Diff_T	1,05	1	0,306		
<b>pap</b>	9,68	1	0,002	**	0,145
sil	0,46	1	0,497		
<b>Débit</b>	5,65	1	0,017	*	0,022
<b>Diff_D</b>	5,34	1	0,021	*	0,073
<b>Marée</b>	7,39	1	0,007	**	0,030
<b>Lune</b>	6,68	1	0,010	**	0,013
Pluvio	0,84	1	0,358		

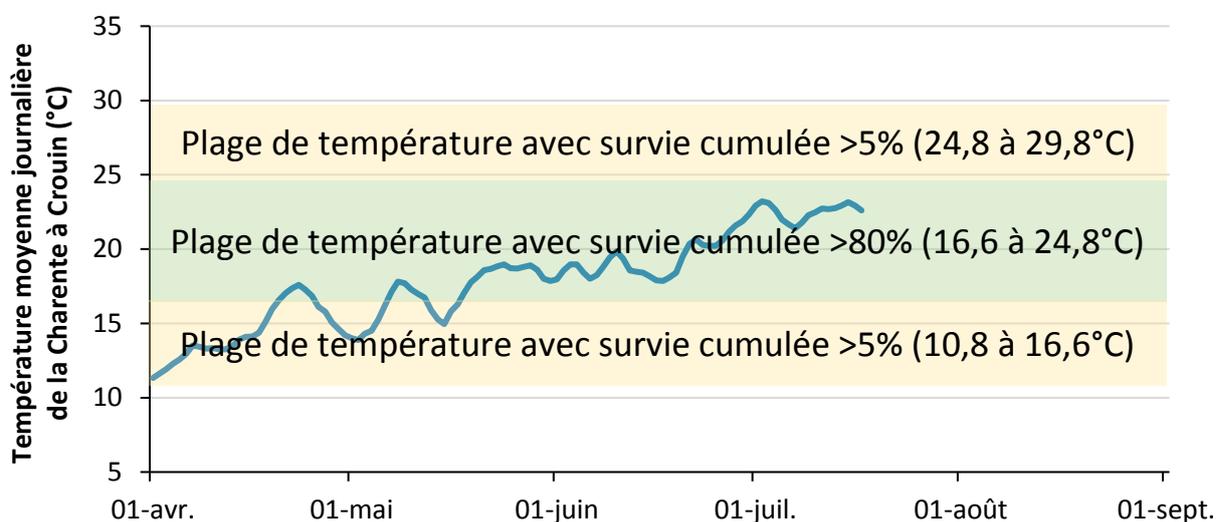
### Annexe 15 – Résultats de l'analyse statistique des facteurs de 2014, 2016, 2017 et 2018

Tableau présentant les résultats du GLM (*Generalized Linear Model*) testant l'influence des variables sur le nombre de bull pour les saisons 2014, 2016, 2017 et 2018. gTeau : transformation gaussienne de la température de l'eau, Teau : température de l'eau, Diff\_T et Diff\_D : différences de température et débit entre le jour T et le jour T-1, Débit : débit, pap et sil : nombres d'aloses et de silures passés à la passe à poisson de Crouin, Marée : coefficient de marée, Lune : pourcentage de visibilité de la lune, Site : les trois frayères principales (Taillebourg, La Baine et Crouin), Année : années (2014, 2016, 2017 ou 2018).

Variables	$\chi^2$	ddl	p	Significativité	Sens de la pente
<b>Teau</b>	5,63	1	0,018	*	-0,087
<b>gTeau</b>	26,78	1	2,28e-7	***	0,026
Diff_T	1,09	1	0,297		
<b>pap</b>	14,86	1	0,0001	***	0,012
<b>sil</b>	9,91	1	0,002	**	0,226
Débit	0,37	1	0,544		
<b>Diff_D</b>	6,92	1	0,009	**	-0,038
<b>Marée</b>	3,83	1	0,050	.	0,008
Lune	0,002	1	0,963		
Année	3,65	2	0,161		
Site	2,37	2	0,306		
Année:Site	2,59	4	0,629		

## Annexe 16 – Plages des températures de survie cumulée des œufs et larves

Graphique de la température journalière à la passe à poisson de Crouin, du 1<sup>er</sup> avril au 17 juillet 2018. Les plages de températures de survies cumulées des œufs et larves sont indiqués : en vert pour celle supérieure à 80% (gamme optimale de survie) et en jaune celle supérieure à 5% (gamme de tolérance).



## Annexe 17 – Résultats de l'analyse statistique de la présence du silure dans la passe

Tableau IV. Résultats du GLM (*Generalized Linear Model*) testant l'influence des variables et de la présence d'aloses sur la présence du silure depuis 2010 (sauf 2011 et 2016). ALA et SIL : présences ou absence d'alose et de silure franchissant la passe à poissons de Crouin, Année : années 2010-2018 sauf 2011 et 2016, Mois : de mars à août ; Débit : débit, Temp : température de l'eau, Maree : coefficient de marée, Lune : pourcentage de visibilité de la lune

Variables présence silures	$\chi^2$	ddl	p	Significativité	Sens de la pente
ALA	57,36	1	3,64e-14	***	-30,28
Annee	69,78	6	4,53e-13	***	-
Temp	12,04	1	0,0005	***	0,307
Debit	9,87	1	0,002	**	0,011
Maree	0,92	1	0,338		
Lune	16,13	1	5,93e-05	***	-0,016