

Etude du comportement pré-migratoire et de l'échappement des anguilles argentées du lac de Grand-Lieu

L'échappement des anguilles argentées du lac : suivi télémétrique et réflexion autour de sa conciliation avec la gestion anthropique du milieu



Mémoire de dominante d'approfondissement Gestion des Milieux Naturels

Présenté par : Manon CLAIRBAUX

Stage effectué du 27/02/17 au 27/08/17

A : Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers (CRESCO) /

Muséum National d'Histoire Naturelle

38 rue du Port Blanc - 35800 Dinard

Maîtres de stage : Eric FEUNTEUN-Thomas TRANCART- Anthony ACOU-Alexandre CARPENTIER

Enseignant référent : Philippe DURAND

Soutenu le 11 septembre 2017

Année 2016/2017

Photographie :

Le lac de Grand-Lieu avec ses nupharaies, forêts flottantes et verveux

Virgil MAZEL – Octobre 2016

Etude du comportement pré-migratoire et de l'échappement des anguilles argentées du lac de Grand-Lieu

L'échappement des anguilles argentées du lac : suivi télémétrique et réflexion
autour de sa conciliation avec la gestion anthropique du milieu

Mémoire de dominante d'approfondissement Gestion des Milieux Naturels

Présenté par : Manon CLAIRBAUX

Stage effectué du 27/02/17 au 27/08/17

A : Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers (CRESCO) /
Muséum National d'Histoire Naturelle
38 rue du Port Blanc - 35800 Dinard

Maître(s) de stage : Eric FEUNTEUN-Thomas TRANCART- Anthony ACOU-Alexandre CARPENTIER

Enseignant référent : Philippe DURAND

Soutenu le 11 septembre 2017

Année 2016/2017

Résumé

L'anguille européenne est une espèce évaluée comme en danger critique d'extinction dont le cycle de vie repose sur deux grandes migrations entre milieux océaniques et continentaux. La reproduction de l'espèce dépend du retour à la mer des futurs reproducteurs appelés anguilles argentées. Le Plan de Gestion Européen protégeant l'espèce a pour objectif d'optimiser cette migration.

Ainsi, l'étude menée s'intéresse à l'échappement vers la mer des anguilles argentées à partir d'un milieu lacustre. Un suivi télémétrique a permis d'étudier le comportement pré-migratoire de l'espèce, de déterminer les facteurs déclencheurs de la migration et de comprendre l'impact de la gestion anthropique du lac sur la stratégie d'échappement des individus. Des entretiens avec les usagers et gestionnaires du lac ont permis d'identifier les leviers et points de blocages dans la conciliation entre les besoins biologiques du pool de migrateurs et les activités humaines.

Il a été montré que les anguilles argentées suivies se sont beaucoup déplacées. Elles occupaient préférentiellement des milieux dont la profondeur variait entre 70 et 150 cm. L'échappement hors du lac a été induit par l'atteinte d'un niveau d'eau suffisant ainsi que par des phénomènes de dépressions atmosphériques et de précipitations. Le retour à la mer des individus suivis a été bien moindre que celui préconisé par le Plan de Gestion, et a été fortement limité par le vannage utilisé pour la gestion du niveau d'eau du lac.

L'ouverture de l'ouvrage en réponse aux facteurs déclencheurs de la migration est alors primordiale pour la réalisation de l'échappement. Cependant, la gestion anthropique des niveaux de l'eau doit concilier l'ensemble des activités autour du lac : la problématique « anguille argentée » devra ainsi être prise en compte dans les décisions prises dans un climat parfois tendu. Afin de tout de même favoriser l'échappement la création d'un exutoire de dévalaison est actuellement proposée.

Summary

The European eel is a species listed as Critically Endangered whose life cycle is based on two tremendous migrations between oceanic and continental environments. The species' reproduction depends on the return to the sea of the future spawners, who are called silver eels. The European Management Plan protecting the species aims to optimize this migration.

So, this study dealt with the escapement to the sea of silver eels from a lacustrine environment. A telemetric monitoring allowed to study the species' pre-escapement behavior, to determine the triggers of the migration and to understand the impact of the lake's anthropic management on the escapement strategy of the individuals. Interviews with users and managers of the lake permitted to identify levers and sticking points in the conciliation between the biologic needs of the species' migratory pool and human activities.

It has been shown that the silver eels of the study, moved a lot. They preferentially lived into habitats where the deep fluctuated between 70 and 150 cm. The escapement from the lake has been caused by the reached of a sufficient level of water and also by atmospheric depressions and precipitations phenomena. The return to the sea of monitored individuals has been considerably lower than the return prescribed by the Management Plan, and has been strongly limited by the floodgates that are responsible for the water level's management.

The floodgates' opening in response to the migration's triggers is so essential to the escapement's realization. However, the anthropic management of water level must conciliate all the activities on the lake: the "silver eels" problematic must be taken into account for decisions which are made in an often tense climate. Even so, in order to favor the escapement, the creation of a outfall for downriver migration is currently proposed.

Engagement de non plagiat

1 Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux :
 - Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive.
 - Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

2 Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

3 Sanction : En cas de manquement à ces consignes, la DEVE/le correcteur se réservent le droit d'exiger la réécriture du document sans préjuger d'éventuelles sanctions disciplinaires.

4 Engagement :

Je soussigné (e) Hanon Clairbaux
Reconnait avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A Dinard le 31/04/2014

Signature :



Remerciements

Ce stage ne se serait pas aussi bien déroulé sans un grand nombre de personnes qui m'ont guidée, soutenue et permis de travailler six mois dans les meilleures conditions possibles.

En ce sens, je souhaiterais tout d'abord remercier mes différents maîtres de stage qui m'ont tous fait bénéficier de leurs conseils. Merci à Thomas Trancart pour m'avoir mis le pied à l'étrier sur des aspects de R qui m'étaient totalement obscures et de m'avoir orientée tout au long de ce stage ainsi que dans la rédaction de ce mémoire. Merci encore pour son écoute et ses conseils vis-à-vis du stage et du reste. Merci également à Anthony Acou pour avoir partagé avec moi une partie de ses connaissances sur les mystères de l'anguille européenne : nos discussions, toujours instructives, m'auront été très bénéfiques. Enfin, mes remerciements vont à Eric Feunteun et Alex Carpentier pour leurs remarques toujours pertinentes sur le travail réalisé. Merci à vous tous pour votre disponibilité et considération à mon égard lors de ce stage.

De plus, la découverte de Grand-Lieu et ses acteurs n'aurait pas été possible sans Valentin Danet que je remercie grandement pour m'avoir amenée plusieurs fois sur ce site magnifique et avoir pris le temps de m'impliquer dans ce projet et de m'aider tout au long de l'étude.

Ainsi, je voudrais remercier Fabrice Batard, Erwan Brient, François Charruau, Michel Coudriau, Hervé de Villepin, Benoit Favreau, Jean-Marc Gillier, Dominique Guillet, Patrick Lapoirie, Pierrick Le Bards, Erwan Le Floc'h, David Lefort, Didier Mace, Gerard Monier, Thomas Obe, Dominique Roubion et Christophe Sorin pour avoir eu la gentillesse de répondre à mes questions lors des entretiens semi-directifs et de m'avoir fait découvrir leur territoire et activités.

Ce stage n'aurait pas été aussi agréable sans l'accueil chaleureux de l'ensemble du personnel de la station marine de Dinard que je remercie vivement. Leur sympathie me manquera. Bonne continuation à tous ! L'ambiance régnant au sein du « bureau des stagiaires » notamment grâce à Romane Boymond, Chloé Dambrine, Marius Delosmone, Hélène Godefroy, Raphaëlle Holczinger et Emilie Mauduit me manquera également.

Enfin, mes remerciements vont à Philippe Durand et Marieke Blondet pour leurs avis toujours constructifs sur le déroulement du stage et des entretiens semi-directifs.

Table des matières

Remerciements	1
Table des figures et tableaux	3
Index alphabétique des sigles	4
1. Introduction	5
2. Présentation de l'espèce étudiée	8
2.1. <i>Un poisson migrateur présent au sein d'une vaste aire de répartition</i>	8
2.2. <i>Un cycle de vie complexe</i>	9
2.3. <i>Les causes du déclin de la population</i>	11
3. Le plus grand lac de plaine français pour site d'étude	13
3.1. <i>Présentation</i>	13
3.2. <i>Un lac protégé et surveillé</i>	15
3.3. <i>Un lac pourtant en danger</i>	18
3.4. <i>Un lac pour de nombreux usages</i>	19
3.5. <i>La population d'anguille du lac de Grand-Lieu</i>	20
4. Réalisation du suivi télémétrique des anguilles argentées du lac	21
4.1. <i>Marquage des anguilles argentées</i>	21
4.2. <i>Mise en place du réseau d'hydrophones</i>	23
4.3. <i>Reconstruction des trajectoires a posteriori</i>	25
5. Analyse des trajectoires reconstruites	29
5.1. <i>Etude de l'impact du marquage</i>	29
5.2. <i>Etude du comportement pré-migratoire</i>	31
5.3. <i>Etude de la stratégie d'échappement</i>	46
6. Conciliation des besoins biologiques du pool de migrateur avec les enjeux socio-économiques du lac	55
6.1. <i>La réalisation d'entretiens semi-directifs avec les acteurs du territoire</i>	55
6.2. <i>Analyses thématiques des entretiens</i>	56
6.3. <i>Discussion</i>	60
7. Conclusion	64
Bibliographie	65
Liste des contacts	69
Lexique	70
Annexes	71
<i>Annexe 1 : Grille d'évaluation de l'état de de santé externe des anguilles (Pénil et al., 2011)</i>	71
<i>Annexe 2 : Guide d'entretien</i>	72
<i>Annexe 3 : Liste des personnes présentes au Comité de Pilotage du 09 Juin</i>	75

Table des figures et tableaux

<u>Figure 1</u> : Aire de répartitions continentales et océaniques de l'Anguille européenne (Adam, 1997).....	8
<u>Figure 2</u> : L'œil volumineux de l'anguille argentée.....	9
<u>Figure 3</u> : Comparaison anguille jaune/ anguille argentée.....	9
<u>Figure 4</u> : Cycle de vie de l'anguille européenne.....	10
<u>Figure 5</u> : Evolution du stock d'anguille européenne au cours du temps (Dekker, 2003).....	11
<u>Figure 6</u> : Position géographique du lac de Grand-Lieu.....	13
<u>Figure 7</u> : Cartographie des habitats du lac de Grand-Lieu (Paillisson & Marion, 2008).....	14
<u>Figure 8</u> : Limites réglementaires du lac de Grand-Lieu (SNPN).....	16
<u>Figure 9</u> : Evolution du niveau de l'eau et de l'ouverture du vannage au cours du temps.....	17
<u>Figure 10</u> : Le lac de Grand-Lieu : un vaste territoire riche de sa biodiversité et occupé par un grand nombre d'acteurs et d'usagers.....	20
<u>Figure 11</u> : Représentation schématique du signal acoustique émis par les émetteurs (Mazel et al., 2016).....	21
<u>Figure 12</u> : Cartographie du réseau mis en place (V.Danet).....	23
<u>Figure 13</u> : Représentation schématique du positionnement d'un hydrophone (V.Danet).....	24
<u>Figure 14</u> : Chaîne de décision pour la suppression des fausses détections.....	25
<u>Figure 15</u> : Illustration de la première étape de reconstruction des trajectoires.....	26
<u>Figure 16</u> : Illustration de la deuxième étape de la reconstruction des trajectoires.....	26
<u>Figure 17</u> : Evaluation de la couverture du lac par les hydrophones.....	27
<u>Figure 18</u> : Adéquation entre zone de moindre détection et zone d'occupation de la végétation.....	28
<u>Figure 19</u> : Distance cumulée en mètre parcourue par l'individu 1710 en fonction du temps. Illustration du premier mouvement significatif.....	30
<u>Figure 20</u> : Illustration de la méthode de calcul de l'orientation des déplacements par rapport au vannage.....	31
<u>Figure 21</u> : Les nombreux déplacements d'une anguille argentée marquée. Individu n°1716.....	32
<u>Figure 23</u> : Exemple de radar d'activité natatoire horaire : représente la distance moyenne (en mètres) parcourue par l'individu pendant cette plage horaire. Cas de l'individu n°1714.....	33
<u>Figure 24</u> : Illustration de la variabilité de l'activité natatoire au cours du temps. Exemple de l'individu 1774 ...	34
<u>Figure 25</u> : Illustration de la variabilité de l'orientation des déplacements au cours du temps. Exemple de l'individu n°1774.....	35
<u>Figure 26</u> : Distance cumulée parcourue par l'individu et pluviométrie journalière en fonction du temps.....	37
<u>Figure 27</u> : Illustration de la méthode d'obtention des profondeurs journalières en tous points du lac.....	38
<u>Figure 28</u> : Illustration de la méthode d'obtention des températures horaires en tous points du lac.....	39
<u>Figure 29</u> : Illustration de la méthode d'obtention des rasters d'occupation végétale.....	39
<u>Figure 30</u> : Illustration de la méthode d'acquisition de la base de données.....	40
<u>Figure 31</u> : Évolution du nombre d'échappement en fonction du niveau de l'eau et de l'ouverture du vannage	42
<u>Figure 32</u> : Positions des anguilles argentées marquées au 27 mars.....	43
<u>Figure 33</u> : Comptage des anguilles argentées en fonction de la durée de leur détection.....	44
<u>Figure 34</u> : Délimitation des zones au sein du lac de Grand-Lieu pour caractériser les facteurs de déclenchements de la migration des anguilles argentées lors de leur passage d'une de ces zones à celle plus en aval.....	47
<u>Figure 35</u> : Résultats des BRT pour la modélisation du passage de la Zone 1 à la Zone 2.....	48
<u>Figure 36</u> : Résultats des BRT pour la modélisation du passage de la Zone 2 à la Zone 3.....	49
<u>Figure 37</u> : Résultats des BRT pour la modélisation du passage de la Zone 3 à la Zone 4.....	49
<u>Figure 38</u> : Schéma bilan des tentatives de franchissement du vannage en lien avec son ouverture/fermeture.....	52
<u>Figure 39</u> : Niveaux d'eau en fonction du temps pour la période d'étude et en moyenne entre 2009 et 2015.....	52
<u>Tableau 1</u> : Récapitulatif des dates et voies de passage lors des échappements réalisés.....	42
<u>Tableau 2</u> : Bilan des niveaux d'eau demandés par les différents acteurs en fonction de la saison.....	58
<u>Tableau 3</u> : Confrontation des besoins de tous avec les ouvertures du vannage favorables à la dévalaison des anguilles argentées.....	61

Index alphabétique des sigles

AFB : Agence Française pour la Biodiversité

AUC : Area Under Curve

CITES : Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction

CMR : Capture-Marquage-Recapture

CRESCO : Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle

ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

PCB : Polychlorobiphényles

PIT-TAG : Passive Integrated Transponder tag

POP : Polluants Organiques Phosphatés

RNN : Réserve Naturelle Nationale

RNR : Réserve Naturelle Régionale

SAH : Syndicat d'Aménagement Hydraulique

SBV : Syndicat de Bassin Versant

SNPN : Société Nationale de Protection de la Nature

SMIDAP : Syndicat mixte pour le développement de l'aquaculture et de la pêche

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

1. Introduction

Les milieux aquatiques terrestres, outre l'eau qu'ils fournissent à l'Homme et leur place prépondérante dans le cycle de l'eau et du carbone (Bastviken et al., 2011), abritent une importante biodiversité végétale et animale (Dudgeon et al., 2006). Leur grande diversité permet à la faune et à la flore spécifique de ces endroits de trouver les conditions nécessaires à leur reproduction, alimentation et croissance.

Ces sites représentent pour certaines espèces des lieux de passage obligatoires et nécessaires à la réalisation de leur cycle de vie. C'est notamment le cas des poissons amphihalins (cf. Lexique p.68) qui, à des moments déterminés de leur cycle de vie, passent de l'eau salée à l'eau douce et vice-versa. On retrouve dans cette catégorie d'espèces, les poissons thalassotoques (cf. Lexique p.68) qui se reproduisent en milieu marin mais vivent en eaux douces. L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) en est un exemple : la reproduction et la naissance des jeunes ont lieu en mer des Sargasses (Schmidt, 1923) et le reste de la vie des individus a principalement lieu dans les eaux continentales européennes. L'espèce occupe une grande diversité d'habitats au sein du territoire français (Baisez & Laffaille, 2005) puisqu'elle s'adapte aussi bien aux lagunes et estuaires qu'aux lacs, marais, étangs, rivières, torrents et canaux.

Malheureusement, ces nombreux milieux sont de plus en plus fragmentés ou ont déjà disparu. En France, plus de 50% des zones humides ont été détruites entre 1960 et 1990 (Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, 1994). Les milieux aquatiques sont également contaminés par des polluants divers (métaux lourds, polluants organiques-phosphatés (POP), effluents agricoles, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) etc.) issus de l'urbanisation croissante, de l'industrie et de l'agriculture. Enfin, la continuité écologique de ces milieux est impactée par l'aménagement des cours d'eau avec la création d'ouvrages (barrages, digues, seuils). Ainsi, les espèces dépendantes des eaux douces continentales ont de moins en moins accès à des habitats de qualité physico-chimique satisfaisante. De plus, elles sont également touchées par des menaces directes telles que la surexploitation par la pêche et le braconnage ou l'introduction d'espèces exotiques envahissantes.

La protection des milieux aquatiques terrestres et des espèces qui y vivent est alors devenue nécessaire aussi bien pour protéger habitats, faune et flore que pour sauvegarder la qualité des eaux dont l'Homme a besoin. En s'engageant dès 1986 dans la convention de Ramsar et en mettant en application la Directive Cadre sur l'Eau (Directive 2000/60/CE) et la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006), la France exprime sa volonté de préserver ces milieux. Certaines espèces de ces milieux bénéficient également de Plans de Gestion et statuts de protection.

C'est notamment le cas de l'anguille européenne dont les effectifs déclinent depuis la fin du siècle dernier. Au cours des trente dernières années les effectifs ont chuté de 90% (Feunteun, 2002). L'anguille européenne a désormais le statut d'espèce menacée (UICN, annexe II de la CITES) et un règlement européen datant de 2007 (Règlement CE N° 1100/2007) a été voté avec comme objectif de reconstituer le stock. Ce règlement est décliné en plan de gestion propre à chaque Etat membre. En France, le Plan de Gestion Anguille date de 2010 et se décline en 9 Unités d'Action Anguille qui ont été mises en place par le Comité de Gestion des Poissons Migrateurs. L'objectif est de réduire la mortalité anthropique (diviser par 2 la mortalité causée par la pêche et de diminuer de 75% les autres causes de mortalité anthropiques) afin d'assurer, avec une grande probabilité, que 40% des reproducteurs rejoignent la mer. On notera que le bon déroulement de la migration des anguilles s'inscrit également dans les objectifs énoncés dans la Directive Cadre sur l'Eau vis-à-vis de la continuité écologique des masses d'eau. De plus, l'anguille est considérée comme une espèce parapluie (d'après la définition de Simberloff (1998)) car sa gestion durable est profitable pour tous les autres organismes du milieu considéré (Baisez & Laffaille, 2005).

Ainsi de nombreux essais ont été faits pour maintenir ou restaurer le stock par le biais de la régulation de la pêche, de programme de repeuplement à partir de civelles et / ou d'anguillettes (Moriarty et Dekker, 1997), de réhabilitation d'habitats, ou encore de construction d'infrastructures visant à faciliter le franchissement d'obstacles à la migration (création de passes à civelles par exemple (Legault, 1992)).

Malgré des succès très localisés, le déclin de la population continu (FAO, 2008). Ainsi, si cette législation est importante pour réglementer les pratiques et fixer des objectifs à atteindre, elle est actuellement insuffisante pour contrecarrer le déclin de la population d'anguille européenne.

Afin de mieux protéger l'espèce, une meilleure connaissance de la biologie des différents stades de vie au sein des nombreux milieux colonisés est indispensable à la mise en place de mesures de protections pertinentes et efficaces. Pour répondre à l'objectif énoncé dans le Plan de Gestion Anguille visant à optimiser le retour en mer des futurs reproducteurs, appelés anguilles argentées, il est crucial de comprendre les points clés de cette migration. Pour qualifier cette dernière, on parle de dévalaison ou de migration d'avalaison. Afin de la rendre optimale, il est important de comprendre comment elle est impactée par l'anthropisation des différents milieux aquatiques.

De nombreuses études portant sur la population d'anguille européenne et plus précisément sur le stade reproducteur, ont été réalisées en France ou en Europe. En effet, les scientifiques se sont notamment intéressés aux modes de vie de l'espèce (Schulze, Kahl, Radke, & Benndorf, 2004), aux métamorphoses successives (Durif, 2003 ; Trischitta & Takei, 2013) et aux deux grandes migrations réalisées (Bilotta, Sibley, Hateley, & Don, 2011; Harrison, Walker, Pinder, Briand, & Aprahamian, 2014).

Par exemple, le déroulement de la migration d'avalaison en rivière (déclencheurs et orientation (Barbin, 1998 ; Lowe, 1952 ; Okamura, 2002)), les caractéristiques et comportements des individus migrants (Bultel, 2014; Durif, 2003) et les impacts des ouvrages sur cette migration (Larisier, 1999; Trancart, 2013) ont été étudiés. Cependant, la dévalaison des futurs reproducteurs à partir de milieux lacustres anthropisés a été peu abordée. Pourtant les particularités de ce milieu (inertie des variations de température et de niveau d'eau, écoulement lent engendrant peu de courant vers l'exutoire, stratification de la masse d'eau avec la profondeur, etc.) sont autant d'éléments susceptibles de d'engendrer des différences par rapport à la dévalaison faite en rivière.

C'est pourquoi en 2015 une étude menée par le MNHN et le bureau d'étude Fish-Pass, en collaboration avec les pêcheurs professionnels et les acteurs locaux, a été réalisée sur les anguilles argentées du lac de Grand-Lieu, dans le cadre de l'application du Plan de Gestion à l'échelle nationale et régionale. Ce lac, présenté plus en détail ultérieurement, représente un lieu privilégié pour l'étude de l'anguille. La dynamique de la population d'anguille européenne y était déjà étudiée en 1997 (Adam, 1997).

Les techniques telles que la CMR (capture-marquage-recapture) ou le suivi par télémétrie acoustique permettent de répondre à des questions restées sans réponses ou d'affiner les connaissances déjà acquises. L'étude de 2015, en utilisant ces deux techniques, se proposait d'obtenir des informations sur l'exploitation par la pêche et l'échappement vers la mer (taux et déclencheurs environnementaux) des anguilles argentées du lac. Si cette étude a permis de répondre à un certain nombre de questions, elle a également permis de soulever différents points de réflexions. En effet, peu d'anguilles argentées marquées lors de l'étude (35%) ont réussi à quitter le lac, mettant ainsi en évidence l'absence d'information concernant celles y étant restées et l'éventuel rôle limitant du vannage (ouvrage permettant de gérer artificiellement le niveau de l'eau du lac) dans la migration. De plus, les facteurs déclencheurs de la migration ont été étudiés à partir de la fraction migrante qui ne représente qu'une faible partie de la population marquée. Enfin, les résultats en termes de taux

d'exploitation et de taux d'échappement ne pouvaient pas être généralisés après cette seule année d'expérimentation.

Ainsi, une deuxième étude basée sur un suivi télémétrique de plus grande ampleur que précédemment a débuté dès septembre 2016 avec comme objectifs :

- Préciser le taux d'exploitation par la pêche grâce à cette seconde année d'étude
- Préciser le taux d'échappement du lac
- Conforter l'étude des facteurs déclencheurs de la dévalaison
- Améliorer les connaissances sur le comportement migratoire des anguilles argentées en milieu lacustre et comparer le comportement des mâles et les femelles
- Comprendre la ou les stratégies d'échappement des anguilles argentées du lac
- Confronter les besoins biologiques de cette fraction de la population à la gestion anthropique du lac.

Ces différents objectifs permettront de mieux comprendre comment cette fraction de la population rejoint la mer dans un contexte de contrainte à la franchissabilité ichthyologique.

Ce stage de fin de cursus s'inscrivait dans l'analyse des données de cette seconde étude afin de répondre à l'ensemble des objectifs énoncés. Ce rapport de stage présentera donc la mise en place de l'étude, les hypothèses de travail et les différents outils utilisés pour répondre aux questions posées ainsi que les principaux résultats et leurs analyses.

2. Présentation de l'espèce étudiée

2.1. Un poisson migrateur présent au sein d'une vaste aire de répartition

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) est un poisson migrateur amphihaline de la famille des Anguillidae pouvant mesurer jusqu'à 140 cm pour les femelles et 45 cm pour les mâles (DeLeo & Gatto, 1995). C'est une espèce qui chasse et se déplace essentiellement la nuit ou quand la luminosité est faible (Deelder, 1984). C'est un prédateur qui, pendant sa phase de vie continentale, se nourrit essentiellement de larves d'insectes, de petits crustacés et de poissons. Elle constitue un item alimentaire important pour de nombreux prédateurs (Marion & Feunteun, 1994) comme les loutres, les oiseaux piscivores ou certains poissons carnassiers.

Ce poisson sémelipare (cf. Lexique p.68) est un migrateur qui effectue deux grandes migrations de plus de 6000 km au cours de sa vie, chacune accompagnée d'une métamorphose engendrant des changements métaboliques et phénotypiques importants. L'espèce est qualifiée d'amphihaline car elle réalise son unique reproduction en milieu marin et le reste de son cycle de vie en eaux douces. Si la majorité des anguilles effectue leur cycle de vie entre ces deux milieux, certaines peuvent cependant réaliser l'ensemble de celui-ci en mer, en se développant proche des zones côtières (Tsukamoto & al, 1998). On parle alors de catadromie facultative.

L'espèce est panmictique (cf. Lexique p.68) malgré une aire de répartition très vaste qui s'étend de la Scandinavie au bassin méditerranéen (Adam, 1997) (Figure 1).

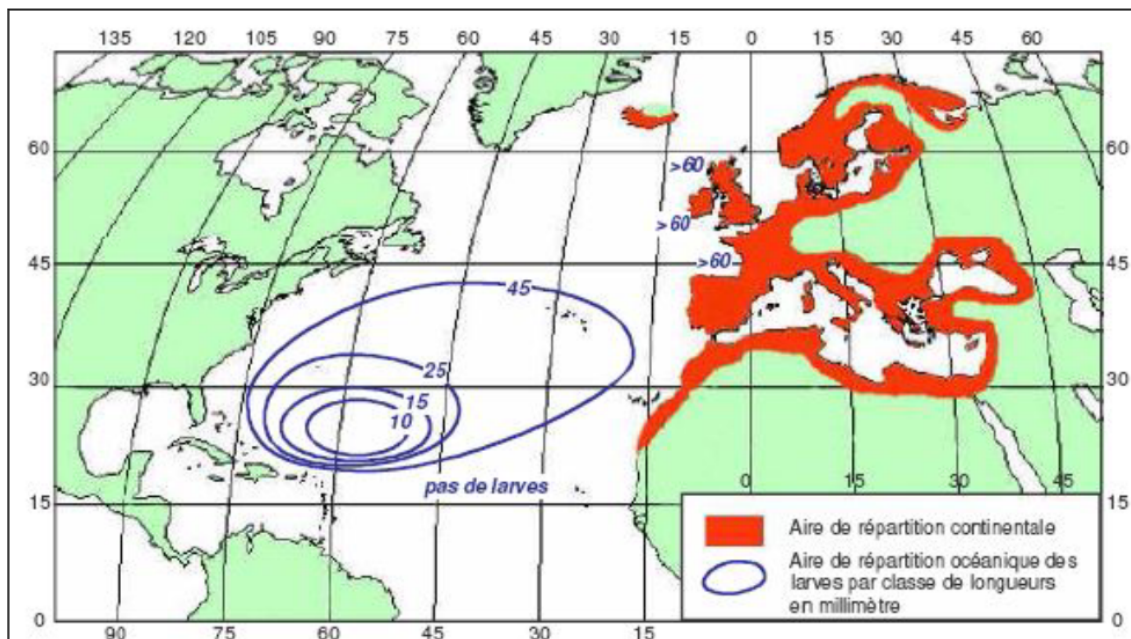


Figure 1: Aires de répartition continentale et océanique de l'Anguille européenne (Adam, 1997)

2.2. Un cycle de vie complexe

La reproduction marine de l'espèce a longtemps été une énigme pour la communauté scientifique qui considérait les larves et les adultes comme deux espèces distinctes jusqu'à l'étude menée par Grassi et Calandrucchio (1896). Il a fallu attendre le XX^e siècle et les travaux de Schmidt (1923) pour préciser le lieu de reproduction : en effet, si aucun adulte ni aucun œuf n'a pourtant été observé en mer des Sargasses, la localisation des larves en fonction de leur taille a permis d'établir que c'est bien dans cette zone que se déroule la reproduction de l'espèce.

Les larves, appelées leptocéphales, y débutent leur migration vers les littoraux européens en se laissant guider et orienter par les courants. Certains scientifiques estiment qu'elles atteignent les côtes au bout d'un an (Lecomte-Finiger, 1994) tandis que d'autres suggèrent une arrivée plus tardive (Schmidt, 1923).

Aux abords du talus continental a lieu la première métamorphose de l'anguille : les larves deviennent des civelles capables de coloniser les eaux intercontinentales en nageant et en utilisant les courants présents dans la zone intertidale. Les anguilles effectuent alors leur phase de croissance dans les eaux continentales entre milieux côtiers ou estuariens et eaux douces. La proportion relative des anguilles occupant ces différents habitats reste aujourd'hui mal renseignée. Les anguilles passent alors successivement au stade « anguillette » puis « anguille jaune » et se sédentarisent.

Le sexe n'est pas déterminé génétiquement chez les anguilles et c'est au cours du stade « anguille jaune » que les anguilles se différencient sexuellement. Des milieux où la densité en anguilles est élevée produisent d'avantage de mâles que de femelles (Krueger & Oliveira, 1999). En effet, les mâles étant plus petits que les femelles, ils nécessitent moins de ressources alimentaires pour leur croissance et sont donc moins désavantagés par la compétition entre individus. Cependant, même si la différenciation sexuelle est déjà effectuée, la maturité sexuelle sera acquise plus tard en milieu marin.

Après une phase de croissance continentale de durée variable (entre 3 et 9 ans pour les mâles et 3 et 12 ans pour les femelles (Lecomte-Finiger, 1990)), la deuxième métamorphose, « l'argenture », intervient lorsque l'animal atteint un taux lipidique minimal. Selon les auteurs, ce taux est compris entre 13 et 27% (Palstra & al, 2007; Van den Thillart & al, 2007; Larsson & al, 1990). Les anguilles entrent dans le stade « anguille argentée » et c'est durant cette métamorphose qu'elles acquièrent les caractéristiques métaboliques et phénotypiques (argenture servant au camouflage en mer, pigmentation de la ligne latérale, augmentation de la taille de l'œil et des nageoires pectorales (Figures 2 et 3)) leur permettant d'effectuer la migration en milieu marin pour rejoindre la mer des Sargasse (Durif, 2003). On considère qu'à ce stade, les anguilles cessent de se nourrir : le système digestif se réduit et l'anus se bouche. Les anguilles vivent alors sur leurs réserves lipidiques (Bertin, 1951).



Figure 2: L'œil volumineux de l'anguille argentée

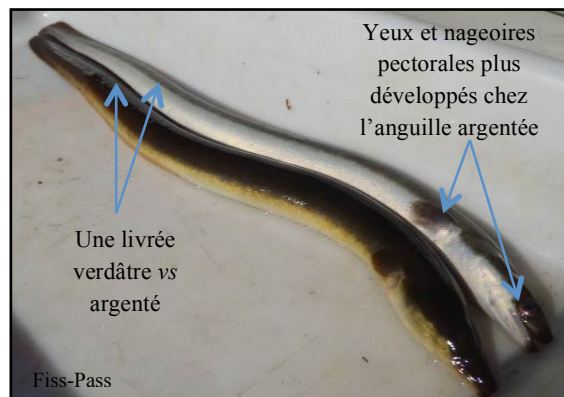


Figure 3: Comparaison anguille jaune/ anguille argentée

2.3. Les causes du déclin de la population

L'espèce est soumise à des pressions particulières en plus de celles qui impactent les milieux aquatiques et leur biodiversité de façon générale (cf. Introduction) et enregistre une chute massive de ses effectifs (Figure 5).

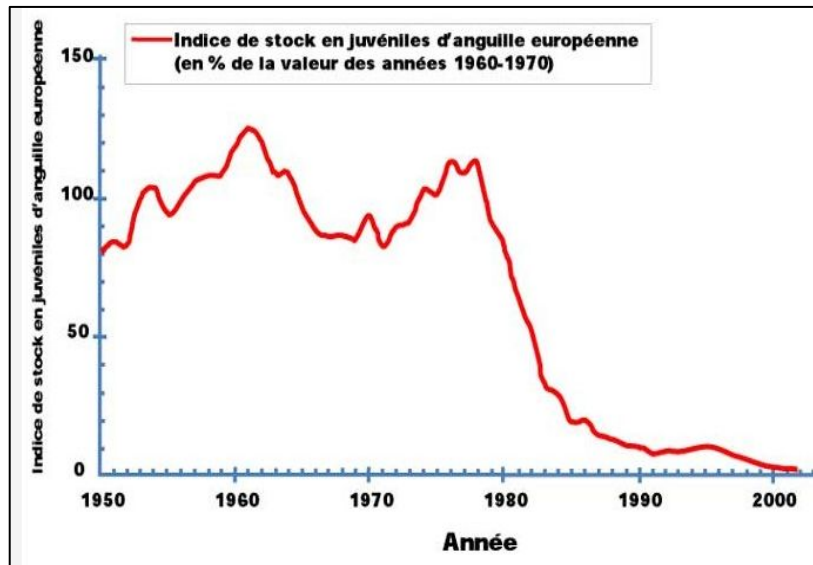


Figure 5: Evolution du stock d'anguille européenne au cours du temps (Dekker, 2003)

Du fait de son long cycle de vie et de sa vaste aire de répartition, l'espèce est soumise à une grande diversité de pressions (Bultel et al., 2014) qui interviennent probablement de façon synergique.

Les anguilles européennes sont les proies d'un certains nombres d'espèces piscivores tout au long de leur vie et peuvent également être parasitées, notamment par *Anguillicoloïdes crassus*. En parasitant la vessie natatoire, ce nématode invasif originaire d'Asie, entraîne son épaissement et donc des dysfonctionnements pouvant altérer la nage pendant la migration transocéanique de reproduction. Ce nématode pourrait donc limiter fortement le succès reproducteur des anguilles argentées européennes (Kirk, 2003).

Les activités anthropiques représentent également des pressions importantes responsables d'une partie du déclin de l'espèce.

La surpêche a longtemps amoindri le stock mais des réglementations récentes strictes permettent de limiter les dégâts causés par cette activité pour laquelle le maintien de la ressource est primordial: en Europe, la France est le premier producteur d'anguilles dites de pêche et est responsable de 70% de la production de civelles. La pêche française des différents stades de l'anguille européenne est le fruit du travail de 650 pêcheurs professionnels (FranceAgriMer, 2014). Le braconnage (qui cible principalement le stade civelle, dont le kilo se vend plus de mille euros sur le marché noir) existe également et fait l'objet d'une répression forte malgré sa difficile quantification.

Les anguilles argentées s'adaptent à un grand nombre d'habitats pour peu qu'ils soient accessibles ou dans un bon état physico-chimique et écologique. Ainsi, la perte en quantité et en qualité des habitats causée par les activités humaines exerce une pression forte sur la population.

La diminution de la continuité écologique des cours d'eau représente un problème majeur : barrages, digues, ou usines hydroélectriques sont autant d'obstacles, parfois mortels, limitant aussi bien la colonisation des cours d'eau que la migration vers l'aval (Larinier & Travade, 1999).

Les retards dans la migration d'avalaison causés par ces obstacles peuvent fortement impacter la reproduction car ils diminuent les chances des reproducteurs de synchroniser leurs migrations et peuvent entraîner un arrêt de la migration.

De plus, de par leur mode de vie, les anguilles sont au contact quasi-permanent des sédiments et une fois au stade adulte, sont des prédateurs en bout de chaîne alimentaire : leur organisme accumule les métaux lourds et autres molécules comme les PCB qui sont stockés dans les tissus adipeux. Ces molécules pourront être remobilisées par l'organisme lors de la migration d'avalaison où les réserves de graisses sont la seule source d'énergie pour l'animal qui a cessé de se nourrir. Ces substances sont suspectées d'entraîner des dysfonctionnements hormonaux problématiques pour la reproduction (Van Ginneken et al., 2009).

Enfin, les changements climatiques qui ont lieu à grande échelle modifient fortement les courants marins et les pluviométries, rendant difficiles les deux migrations dépendantes de ces phénomènes.

Ainsi, en s'intéressant à la stratégie d'échappement d'anguilles argentées vivant dans un milieu anthropisé, la présente étude s'inscrit dans la compréhension des impacts anthropiques sur la migration d'avalaison des anguilles argentées. La partie suivante présente le site d'étude afin de positionner l'étude dans son contexte géographique. De même, elle introduira les différents aspects qui impactent la gestion de l'eau via le vannage. Ces aspects seront repris plus en détail dans la partie visant à s'interroger sur les moyens d'améliorer le fonctionnement anthropique du lac en prenant en compte les besoins biologiques de l'anguille européenne.

3. Le plus grand lac de plaine français pour site d'étude

3.1. Présentation

L'étude s'est déroulée au sein du lac de Grand-Lieu, situé à une vingtaine de kilomètres au Sud-Est de Nantes, qui, via son émissaire est un des affluents de la Loire (Figure 6). Ce lac eutrophe d'origine tectonique est vieux de plus de 50 millions d'années (Marion, 1999).

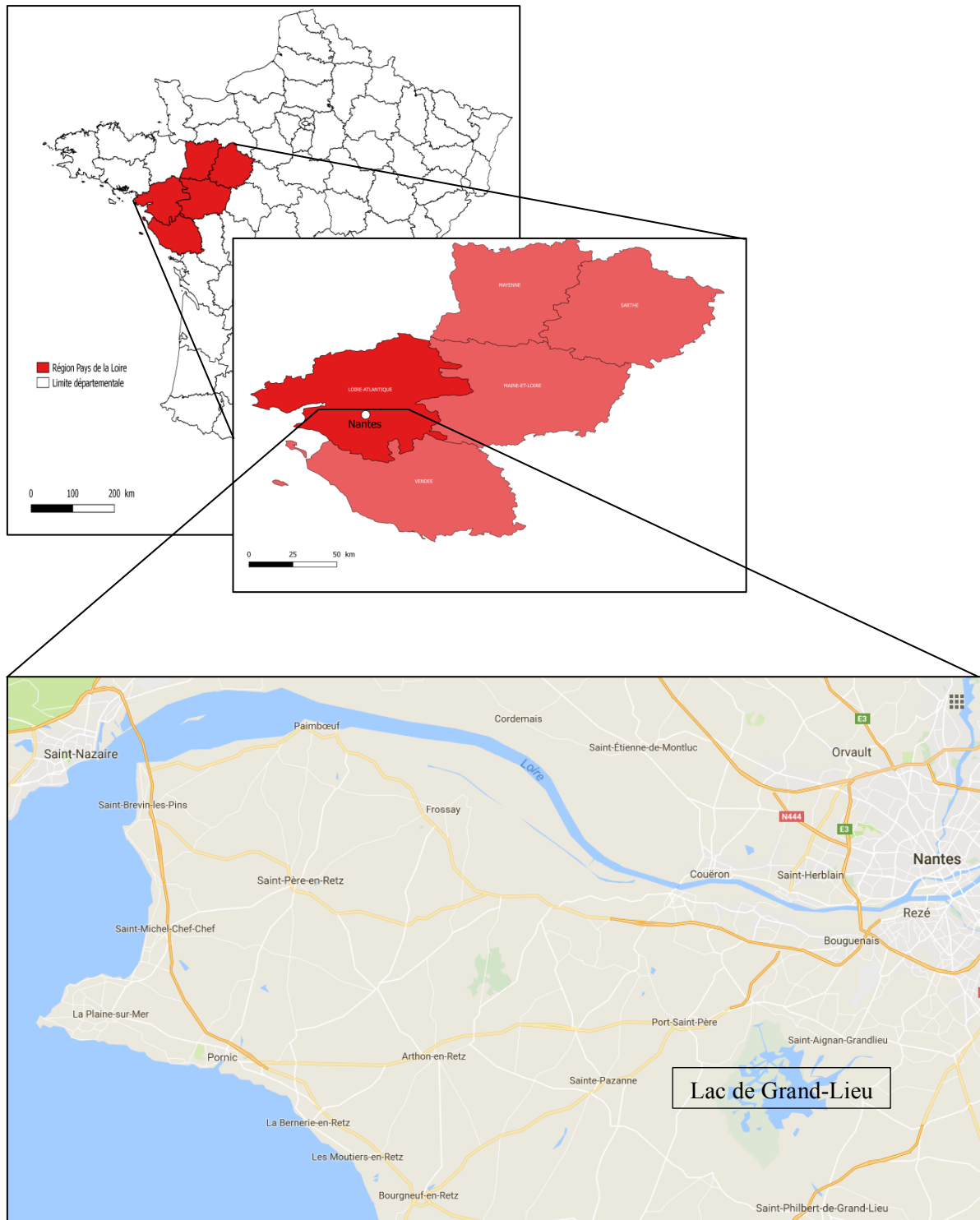


Figure 6: Position géographique du lac de Grand-Lieu

Il a pour affluents deux cours d'eau, la Boulogne et l'Ognon, et a pour émissaire l'Acheneau. Le lac est alimenté par un bassin versant de 830 km² et représente à lui seul 97% de la surface en eau de ce bassin. Sa superficie hivernale de 6000 ha lui confère le statut de plus grand lac de plaine français. En été, sa superficie est considérablement réduite et passe à 3900 ha.

Ces variations conséquentes du niveau d'eau sont gérées de manière artificielle et rendues possibles grâce aux différents aménagements successifs qui ont été faits au cours du temps avec notamment la construction du vannage de Bouaye à la fin du XVIII^e siècle, à la jonction entre le lac et l'Acheneau. Initialement construit pour éviter que l'eau saumâtre de la Loire ne remonte dans le lac lors des fortes marées, il permet maintenant de gérer le niveau d'eau. Cet ouvrage marquant la sortie du lac, est composé d'une passe à civelles et de 5 vannes dont la gestion incombe au Syndicat d'Aménagement Hydraulique Sud Loire. Il existe également un passage, appelé seuil de Maison Blanche, possédant un seuil et qui permet d'augmenter la capacité d'évacuation du lac (10% du débit total) quand son niveau d'eau atteint plus d'1m80.

Les variations du niveau d'eau ainsi que la faible fréquentation humaine du lac ont permis la création et le maintien d'une grande diversité d'habitats (prairies inondables, herbiers flottants, nupharaies, roselières, saulaies et aulnaies (Figure 7)) eux même propices à l'établissement d'une faune et d'une flore riches.

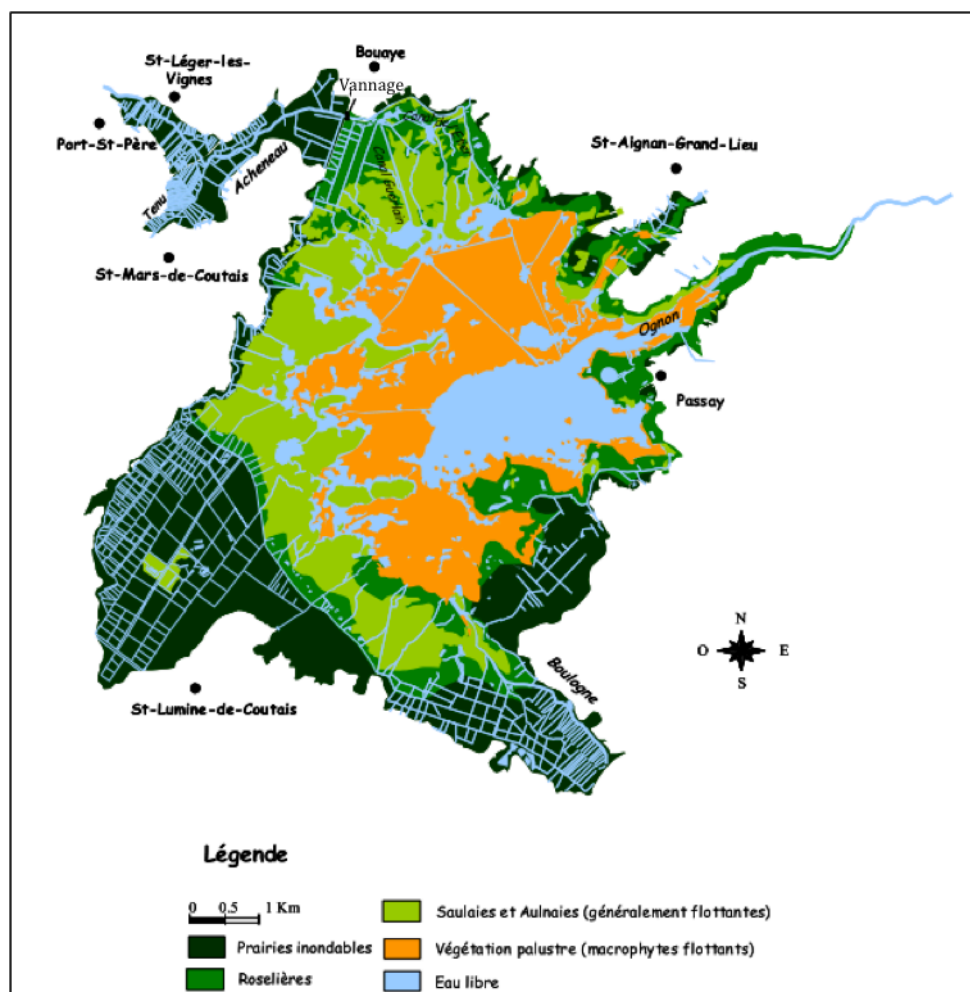


Figure 7: Cartographie des habitats du lac de Grand-Lieu (Paillisson & Marion, 2008)

On y retrouve des espèces protégées comme la spatule blanche (*Platalea leucorodia*) ou encore la grande aigrette (*Ardea alba*). On peut aussi observer un certains nombres d'espèces exotiques envahissantes (comme le ragondin (*Myocastor coypus*), les écrevisses américaine (*Orconectes limosus*) et de Louisiane (*Procambarus clarkii*) et deux espèces de jussies (*Ludwigia peploides* et *Ludwigia grandiflora*) par exemple). L'endroit est particulièrement connu pour les populations d'oiseaux (330 espèces d'oiseaux recensées) qui y vivent, nicheuses et/ou hivernantes. Le lac a notamment abrité la plus grande colonie connue de hérons cendrés (*Ardea cinerea*) au monde en 1950 avec 1300 couples dénombrés (Marion, 1999). Les autres groupes taxonomiques ne sont également pas en reste puisqu'on retrouve des espèces telles que la loutre (*Lutra lutra*) et la genette (*Genetta genetta*) pour les mammifères, la couleuvre à collier (*Natrix natrix*) et la grenouille verte (*Pelophylax kl. esculentus*) pour les reptiles et amphibiens, et plus de 37 espèces d'odonates pour les insectes.

La communauté de poisson compte une trentaine d'espèces (Marion, 1999) et est essentiellement composée de brèmes (*Abramis brama* et *Blicca bjoerkna*), de able de Heckel (*Leucaspis delineatus*) et de gardon (*Rutilus rutilus*) (Carpentier, 2003). L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) et le poisson chat (*Ictalurus melas*) sont également présents.

Sa riche biodiversité, sa luxuriance et sa forte productivité font du lac de Grand-Lieu un site attractif pour la faune et la flore mais également pour l'Homme. En effet, la pêche, la chasse, et l'agriculture font partie des activités bénéficiant des nombreuses ressources du site. Afin de préserver cet écosystème d'un trop grand nombre d'impacts liés à l'anthropisation, il bénéficie d'outils réglementaires permettant sa sauvegarde.

3.2. Un lac protégé et surveillé

Le lac et la grande richesse biologique qu'il abrite sont soumis à différents statuts de protection et réglementations.

Anciennement, le lac appartenait à la société civile immobilière du Domaine de Grand-Lieu dont Mr Guerlain détenait la majorité des parts. Souhaitant préserver le site, il décida de céder ses parts à l'Etat sous réserve que celui-ci rachète celles des actionnaires minoritaires et fasse du lac une Réserve Naturelle Nationale gérée par la Société de la Protection de la Nature (SNPN). Ainsi, dès 1980 la Réserve Naturelle Nationale (Figure 8) fut officiellement créée et la SNPN est en charge de sa gestion depuis 1985. Elle est également responsable de la veille écologique et de gestion des espèces exotiques envahissantes.

Le lac fait partie des sites classés dès 1982 (Figure 8) mais est également doté d'un classement en zone Natura 2000, Zone d'Importance pour la Conservation des Oiseaux et Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique de type I. Enfin, le site est désigné comme site Ramsar et une Réserve Naturelle Régionale (Figure 8) gérée par la Fédération départementale des chasseurs de Loire-Atlantique a été créé en 2008. Le lac est également protégé par la Directive Cadre sur l'Eau via son application au sein du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin Loire Bretagne.

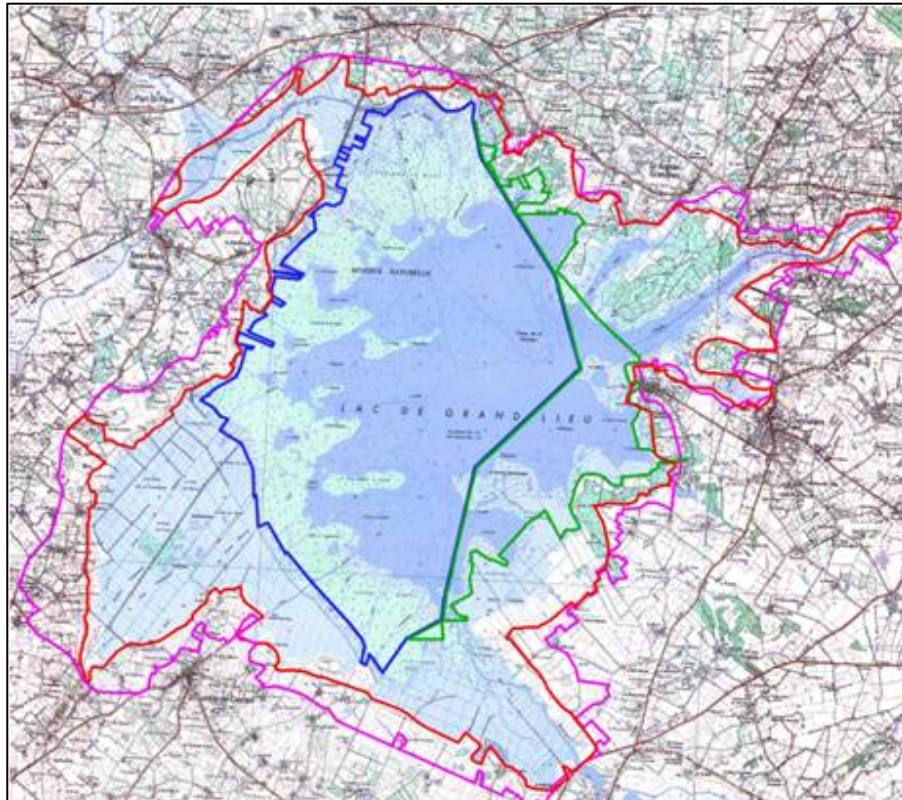


Figure 8: Limites réglementaires du lac de Grand-Lieu (SNPN)

Bleu : Réserve Naturelle Nationale ; Vert : Réserve Naturelle Régionale
Rouge : Site d'importance communautaire ; Rose : Site classé / Site inscrit

La réglementation au sein du lac est stricte et sa bonne mise en application surveillée par les différents services de l'Etat :

La qualité de l'eau est surveillée par l'Agence de l'Eau qui réalise des mesures une fois tous les 3 ans en un point du lac. De plus, un projet de recherche porté par la Réserve Naturelle Nationale et l'Université de Rennes 1 est actuellement en cours afin d'en connaître davantage sur cette thématique.

Si le maintien de la pêche professionnelle sur le lac a été une condition *sine qua non* à la création de la Réserve Naturelle Nationale, elle n'en reste pas moins très réglementée : les sept pêcheurs professionnels ont ainsi le droit de pêcher sur l'ensemble du lac hormis dans le bassin Petiot, le canal Guerlain et le canal de l'Acheneau. Sur le lac de Grand-Lieu, l'anguille jaune ne peut être pêchée que du 01/04 au 31/08 et l'anguille argentée ne peut l'être que du 01/10 au 15/01. Les pêcheurs doivent utiliser 10 verveux chacun maximum dont le maillage minimum doit être de 10 mm. Dans une optique de préservation de la ressource, ils ont d'eux même choisi de travailler avec des verveux de maille de 12 mm.

La chasse est interdite sur les deux réserves mais est autorisée en périphérie selon la réglementation en vigueur pour les différentes espèces chassables.

Le niveau d'eau, bien que géré artificiellement doit permettre de concilier besoins biologiques des espèces vivant au sein du lac et les besoins et attentes des différents acteurs (pêche et chasse possibles aux périodes clés, irrigations et pâtures, etc.). Les différentes attentes des usagers ne sont malheureusement pas toujours conciliables et la recherche d'un consensus satisfaisant pour tous dure depuis des années.

En effet, des tensions parfois vives (gardiennage du vannage par les autorités parfois nécessaire) existent malgré la recherche d'un compromis. Dès 1965, un règlement sur le niveau de l'eau du lac est créé afin de gérer au mieux cette problématique. Cependant, les niveaux d'eau, idéaux pour l'agriculture dans les marais, étaient jugés préjudiciables à la faune et la flore du lac. Les tensions apparaissent de plus en plus entre les agriculteurs et les autres usagers et la crise majeure de botulisme de 1995, sans doute favorisée par des niveaux estivaux trop bas, finira de mettre le feu aux poudres. Un nouvel arrêté est alors prononcé en 1996 avec comme objectif de remonter considérablement le niveau d'eau du lac : le but étant de diminuer les problématiques liées au botulisme et blooms algaux ainsi que de freiner le développement des nénuphars, suspectés alors de participer à l'envasement du lac lors de leur dégradation. Les agriculteurs, mécontents de cette gestion, se regroupent au sein de l'Association de Sauvegarde des Marais. En fonction des conditions climatiques, les tensions autour du lac continuent de s'exercer. Enfin, en 2012, un nouvel arrêté préfectoral est décidé après consultation des différents acteurs par la DREAL.

Actuellement, c'est toujours cet arrêté qui s'applique avec un encadrement des cotes sur le lac (cotes hautes et basses) à titre expérimental avec l'obligation d'atteindre certains niveaux d'eau à certaines dates clés. Des périodes d'ouvertures et de fermetures du vannage sont également définies par l'arrêté (ouverture du vannage obligatoire à partir du 15 mars pour exonder les marais et fermeture à l'automne par exemple). Des discussions entre les acteurs concernant des dates d'ouvertures et de fermetures des vannes intermédiaires, ont lieu tous les ans aux périodes clés (automne et printemps) pour adapter la gestion. La DREAL émet alors un avis que la préfecture valide ou non. C'est le Syndicat d'Aménagement Hydraulique Sud Loire qui est en charge de faire appliquer l'arrêté et ses éventuelles adaptations.

Durant la période d'étude, le vannage est resté fermé jusqu'au 6 mars compte tenu d'une pluviométrie hivernale exceptionnellement faible. A partir de cette date se sont succédées des phases d'ouvertures et de fermeture résumées dans le graphique ci-joint (Figure 9). On remarquera l'ouverture majeure de deux vannes à partir du 15 mars, date à partir de laquelle le niveau du lac doit diminuer de 1,5 cm/jour. Notons que depuis la construction du vannage, le niveau de l'eau n'avait jamais été aussi bas au mois de février.

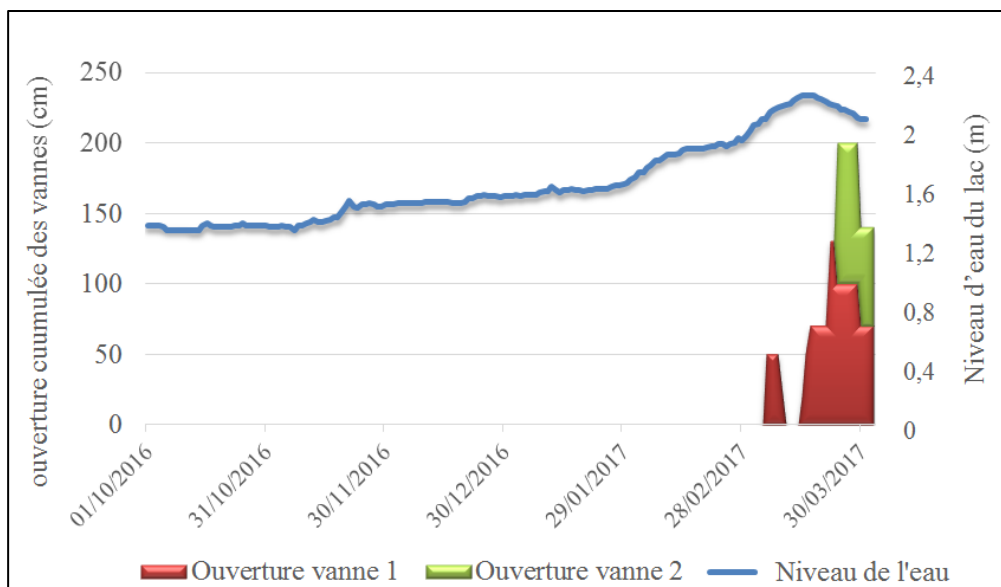


Figure 9: Evolution du niveau de l'eau et de l'ouverture du vannage au cours du temps

Afin de continuer la réflexion sur la gestion du niveau de l'eau, d'anticiper et de régler d'éventuels problèmes, un conseil scientifique (ayant lieu 2 fois par an) et un comité consultatif annuel sont organisés en présence des différents acteurs.

3.3. Un lac pourtant en danger

Si la protection de Grand-Lieu a pour vocation de préserver ce milieu si particulier, un certain nombre de menaces pèsent sur lui.

En effet, de par sa taille et sa position au sein du bassin versant, le lac de Grand-Lieu est le réceptacle de l'ensemble des eaux drainées sur les terrains alentour. L'intensification de l'agriculture ainsi que l'augmentation de l'urbanisation ont contribué à l'apport massif d'azote, de potassium, d'herbicides et de pesticides dans les eaux du lac (Marion, 1999). De plus, l'eau du bassin versant arrive de plus en plus rapidement au lac : elle n'a pas le temps de s'infiltrer dans les sols et ainsi d'être épurée. L'eutrophisation des eaux qui en résulte entraîne des problèmes d'anoxies, des phénomènes de blooms algaux ou encore la réduction de certains habitats (à scirpes et à châtaignes d'eau). On notera cependant les efforts faits par les communes présentes au sein du bassin versant en termes d'assainissement afin de contribuer à l'amélioration de la qualité de l'eau.

De plus, qualité et niveau de l'eau sont intrinsèquement liés : des niveaux d'eau trop bas favorisent son réchauffement et donc des phénomènes de blooms algaux et d'anoxie. *A contrario* une non exondation de certaines vasières ne permet pas la minéralisation des vases ni la germination de certains végétaux pourtant responsables d'une partie de la filtration de l'eau.

Les problématiques liées à la gestion de l'eau et sa qualité impactent également la faune et la flore du lac. En effet, la qualité de l'eau du lac impacte les organismes qui y vivent et une mauvaise gestion du niveau de l'eau peut avoir des conséquences graves pour les espèces végétales et animales (reproduction difficile ou impossible car non accès aux zones adéquates, raréfaction de la nourriture ou des gîtes, explosion d'épidémie (Lance & al, 2010) etc.).

Enfin, la colonisation du milieu par les espèces invasives reste préoccupante malgré la réalisation de nombreuses campagnes de destruction. On notera que cette colonisation dépend de facteurs environnementaux dont le niveau de l'eau fait partie (par exemple, pour certains usagers du lac, des niveaux d'eau élevés pendant la reproduction permettent de diminuer les effectifs de ragondins).

Si l'amélioration de la qualité de l'eau est favorable à l'écosystème, il est difficile de préconiser des niveaux d'eau à atteindre : un niveau optimum pour une espèce donnée ne l'est peut-être pas pour une autre. Il est alors difficile de gérer les niveaux d'eau de sorte de rendre compatible les activités des usagers et les besoins des différentes espèces.

3.4. Un lac pour de nombreux usages

Le lac de Grand-Lieu possède un attrait particulier pour des espèces animales farouches car l'accès au site est difficile et réglementé. Seuls les pêcheurs professionnels, le personnel de la Réserve Naturelle Nationale et de la Réserve Naturelle Régionale ainsi que les scientifiques habilités ont le droit d'y accéder. Le positionnement du lac au sein du réseau hydrographique et sa richesse biologique en font un site d'étude privilégié pour l'étude de l'avifaune et de l'ichtyofaune.

L'activité de pêche est très ancienne sur le lac puisque présente dès l'Age du bronze et formalisée depuis 1143 (Adam, 1997). Cependant, le nombre de pêcheurs n'a cessé de diminuer avec le temps. En 1880, on dénombrait pas moins de 180 bateaux sur le lac. En 1920 ils étaient 120 pêcheurs mais n'étaient plus que 15 en 1993 et 7 en 1995 (Adam, 1997). Aujourd'hui ils sont encore sept à travailler et sont tous adhérents à une coopérative dont la création date de 1907. La pêche à l'anguille représente entre 80 et 90% du chiffre d'affaire de ces pêcheurs (données Fish-Pass). Ils la pêchent essentiellement à l'aide de verveux (équivalent de la capêchade camarguaise) qui après son introduction en 1970 a remplacé la bosselle traditionnelle.

Ce changement de matériel a permis de multiplier par trois le taux de captures annuelles par pêcheur. Cependant, au vu de la diminution du nombre de pêcheurs, le taux d'exploitation d'anguille est comparable entre 1959-1967 (pré-introduction du verveux) et 1991-1995 (post-introduction du verveux) (Adam, 1997). Certains poissons blancs ainsi que le brochet et l'écrevisse de Louisiane sont également pêchés.

Même si le lac en lui-même est peu accessible, les terrains adjacents, dont les caractéristiques sont inhérentes à la présence du lac, sont souvent utilisés par l'Homme.

En effet, les chasseurs profitent de l'attrait du lac vis-à-vis des anatidés (cf. Lexique p.68) pour chasser sur des zones proches du lac où la chasse est autorisée. Ils sont 1500 à chasser aux abords du lac sur les 14000 adhérents de la Fédération de chasse locale. La réputation de ce site pour la chasse rend la location des terres adjacentes au lac aux chasseurs profitable pour les particuliers qui en tirent une source de revenus. Les chasseurs ont également un rôle de veille sur le milieu et sont des observateurs privilégiés de l'état des populations d'oiseaux du lac.

Le lac de Grand-Lieu est entouré au Sud de terres agricoles : au Sud-Est se trouvent essentiellement des terres destinées au maraîchage que l'eau des affluents du lac sert à irriguer l'été tandis qu'au Sud-Ouest, les prairies sont fauchées ou pâturées par les bovins d'une quinzaine d'agriculteurs. Peu d'éleveurs continuent de mettre leur bétail dans les marais l'été et beaucoup préfèrent uniquement faucher ces terres. Une partie des terres fauchées et pâturées sont d'ailleurs inondées par les eaux du lac en hiver et les agriculteurs doivent donc attendre la baisse du niveau de l'eau pour pouvoir les exploiter.

Tout retard de l'exondation entraîne donc des conséquences sur leurs activités. En fonction de l'altitude de leurs terrains et de la hauteur de l'eau, les agriculteurs peuvent sortir les bêtes du mois de mai au mois d'octobre. La valeur nutritive de l'herbe des marais est généralement basse et dépend de facteurs environnementaux variables d'une année à l'autre. Plus son exploitation est tardive, plus sa valeur nutritive baisse. Certaines années, le niveau d'eau ne permet pas l'exploitation de certaines parcelles. Certains agriculteurs touchent des subventions issues des Mesures Agro-Environnementales pour l'entretien de ce territoire si particulier et certains éleveurs se sont regroupés au sein de l'Association de Sauvegarde des Marais. Les agriculteurs exploitant les marais de Grand-Lieu sont cependant de moins en moins nombreux.

Enfin, des propriétaires privés possèdent également des terres aux abords du lac. Ils sont organisés au sein de la Société du Canal de Buzay.

3.5. La population d'anguille du lac de Grand-Lieu

L'anguille européenne fait partie des espèces bénéficiant de la richesse du lac. Ce milieu, proche de l'estuaire de la Loire, est colonisé depuis longtemps par les civelles. Pour en favoriser le recrutement, le vannage a été équipé d'une passe spécialement conçue pour permettre son franchissement par ces dernières. De plus, le vannage est, avec le seuil de Maison Blanche, le seul exutoire pour la fraction dévalante de la population d'anguille du lac. Avant l'étude menée par le MNHN et Fish-Pass, en collaboration avec les pêcheurs, cet ouvrage et sa gestion n'étaient pas suspectés de limiter la dévalaison.

Le lac présente une forte productivité en terme d'anguille et en 2015, l'étude réalisée estimait à 213 387 le nombre d'anguilles argentées du lac. Cet effectif était composé à plus de 84% d'individus mâles (Mazel et al., 2016).

Pour conclure, l'anguille européenne, en s'étant établie dans le lac de Grand-Lieu bénéficie des qualités de ce milieu mais est la base d'une activité économique présente sur le lac. De même, si le lac permet de fournir habitats et proies à l'espèce, il est également un lieu géré par et pour l'Homme (Figure 10). De ce fait, la population d'anguille européenne du lac est potentiellement soumise à des modifications du milieu en lien avec les activités humaines.

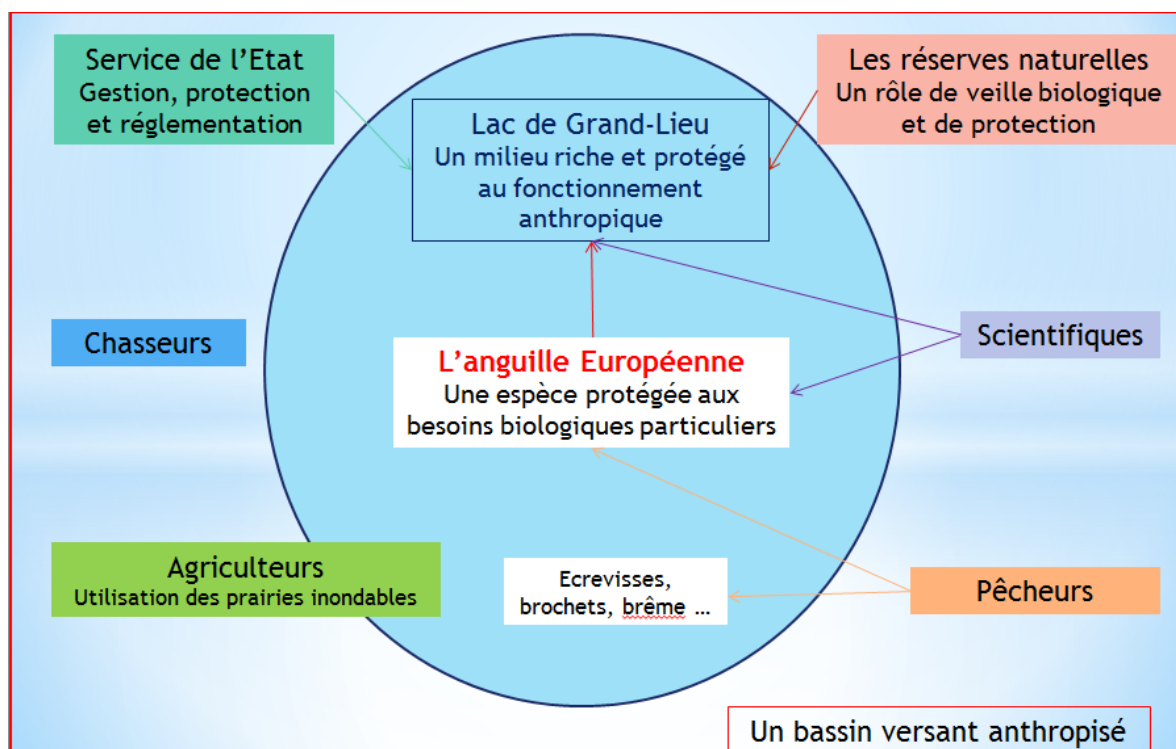


Figure 10: Le lac de Grand-Lieu : un vaste territoire riche de sa biodiversité et occupé par un grand nombre d'acteurs et d'usagers

Ainsi, le lac de Grand-Lieu est ainsi un endroit particulièrement favorable à l'étude de la biologie de l'anguille européenne et du stade argentée. De plus, le fonctionnement anthropique du lac permettra de comprendre davantage les éventuels impacts des activités humaines sur la population étudiée.

4. Réalisation du suivi télémétrique des anguilles argentées du lac

Le suivi télémétrique, en permettant de suivre en continu des individus, a répondu aux besoins d'un grand nombre de chercheurs en écologie animale. Il permet de positionner les individus dans le temps et l'espace et dans certains cas d'enregistrer des paramètres biologiques (Jourdan & Labach, 2013). Cette méthode repose sur la captation d'un signal émis par un transpondeur (positionné sur ou dans l'animal) par un ou plusieurs récepteurs positionnés sur la zone d'étude. Les signaux peuvent être radioélectriques ou acoustiques.

Le suivi par télémétrie acoustique est particulièrement adapté au suivi de la faune aquatique (Bergé, 2012; Trancart, 2011): les signaux acoustiques émis ont l'avantage de se propager rapidement et de façon efficace dans l'eau, quel que soit la salinité. De plus, les récepteurs sont autonomes et ne nécessitent pas d'être branchés à une source d'alimentation. Pour ces raisons, cette méthode a été choisie pour le suivi des anguilles argentées du lac de Grand-Lieu.

4.1. Marquage des anguilles argentées

L'étude repose sur le suivi individuel d'anguilles argentées mâles et femelles au sein du lac. Pour réaliser ce suivi, 82 anguilles argentées (30 mâles et 52 femelles) ont été capturées (par les pêcheurs professionnels du lac) et équipées d'un émetteur acoustique de marque THELMA ainsi que d'un marquage au PIT-TAG au cours de 3 sessions de marquage (le 30 septembre 2016 pour les mâles et les 07 et 29 novembre 2017 pour les femelles).

Chaque émetteur implanté dans la cavité péritonéale (voir Trancart et al. (2017) pour le protocole opératoire) émet un signal sonore, composé de sept impulsions, toutes les 30 à 90 secondes. Chaque émetteur possède sa propre signature acoustique, qui est donc unique pour chaque individu (Figure 11).

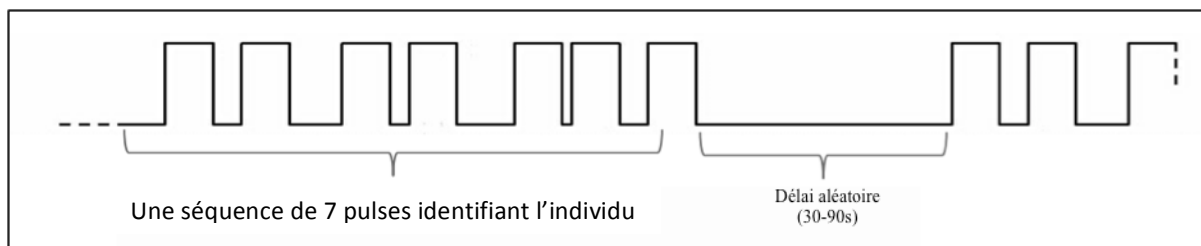


Figure 11: Représentation schématique du signal acoustique émis par les émetteurs (Mazel et al., 2016)

La taille de l'émetteur ne devant pas dépasser 2% du poids de l'individu (Winter, 1996) les mâles sélectionnés pour l'étude pesaient entre 101 et 150 g pour des émetteurs mesurant 7,3 mm de diamètre et 18,5 mm de long avec un poids de 1,9 g. Les femelles étant plus grosses (entre 328 et 1193 g), elles ont été équipées d'émetteurs plus grands (9 mm de diamètre et 23 mm de long pour un poids de 4 g). La durée de vie de la batterie de l'émetteur est proportionnelle à sa taille. Ainsi, ceux des mâles avaient une durée de vie d'environ 6 mois contre 14 pour ceux des femelles.

Le PIT-TAG est un transpondeur contenant un code spécifique à l'individu. Ces émetteurs ne nécessitent pas de batteries et sont activés au contact d'un lecteur permettant la lecture du code. Avec l'aide des pêcheurs professionnels cet appareil a permis d'étudier le taux d'exploitation par la pêche des anguilles argentées du lac : chaque pêcheur possédait un lecteur PIT-TAG sur son bateau, de sorte que chaque anguille pêchée pendant la saison de pêche soit passée devant ce lecteur. Ainsi, toute anguille argentée pêchée appartenant à l'étude sera identifiée comme telle.

Lors de chaque campagne de marquage, les anguilles argentées ont été mesurées, pesées et leur teneur en gras évaluée à l'aide d'un « fat meter ». La taille a permis de sexer les individus : en effet on considère qu'une anguille de plus de 45 cm est une femelle (DeLeo & Gatto, 1995). Le diamètre des yeux, la taille des nageoires pectorales et le degré d'argenture ont été mesurés afin de déterminer le stade de maturité de chaque anguille (Durif, 2003), et de s'assurer que les anguilles marquées étaient bien toutes au stade argenté.

Enfin, l'état de santé externe de chaque anguille argentée participant à l'étude a été évalué à l'aide d'une grille de notation conçue par l'ONEMA (2011) à partir des travaux d'Elie et Girard (Girard & Elie, 2007) (disponible en Annexe 1) : pour chaque individu, le nombre, le type, la localisation et l'importance (note allant de 1 à 4) de chaque lésion ont été notés selon la topologie de ce document. Une note d'état externe correspondant à la somme des notes d'importances des lésions portées par l'individu a également été calculée, permettant ainsi de caractériser l'état de santé externe des individus marqués.

Suite aux campagnes de marquages, les anguilles argentées ont été relâchées en différents lots. Malheureusement, aucun test post-opératoire n'a pu être réalisé suite à ces campagnes. En effet, les anguilles argentées capturées et maintenues dans de l'eau du lac en laboratoire pour réaliser ce test ont développé des nécroses importantes entraînant parfois la mort avant même d'avoir été marquées, rendant impossible la poursuite de l'expérience. De plus, un test post-opératoire fait par le bureau d'étude Fish-Pass, après l'implantation de marques PIT TAG, a été réalisé au sein même du lac et a conduit aux mêmes mortalités importantes.

Lors de l'étude précédente menée par le MNHN (cf. Introduction), le test post-opératoire conduit dans l'eau d'une rivière proche du laboratoire a pu être mis en œuvre et montré que le marquage des anguilles n'affecte pas leur survie. La qualité de l'eau du lac lors des différentes campagnes de marquage est donc peut être responsable de la mortalité observée cette année.

Pour pallier l'absence de test post-opératoire, l'étude du rétablissement des anguilles après leur marquage a été faite en étudiant leur activité natatoire (cf.5.1).

4.2. Mise en place du réseau d'hydrophones

La réception des signaux émis par les émetteurs précédemment décrits a été effectuée par un réseau dense de 85 hydrophones (22 de marque THELMA (modèle TBR700) et 63 de marque VEMCO (modèle VR2W, compatibles avec les émetteurs THELMA) répartis sur l'ensemble de la surface du lac ainsi qu'à l'aval direct de son exutoire et aux jonctions avec ses affluents (Figure 12). Les hydrophones de la marque THELMA avaient la particularité de mesurer la température de l'eau.

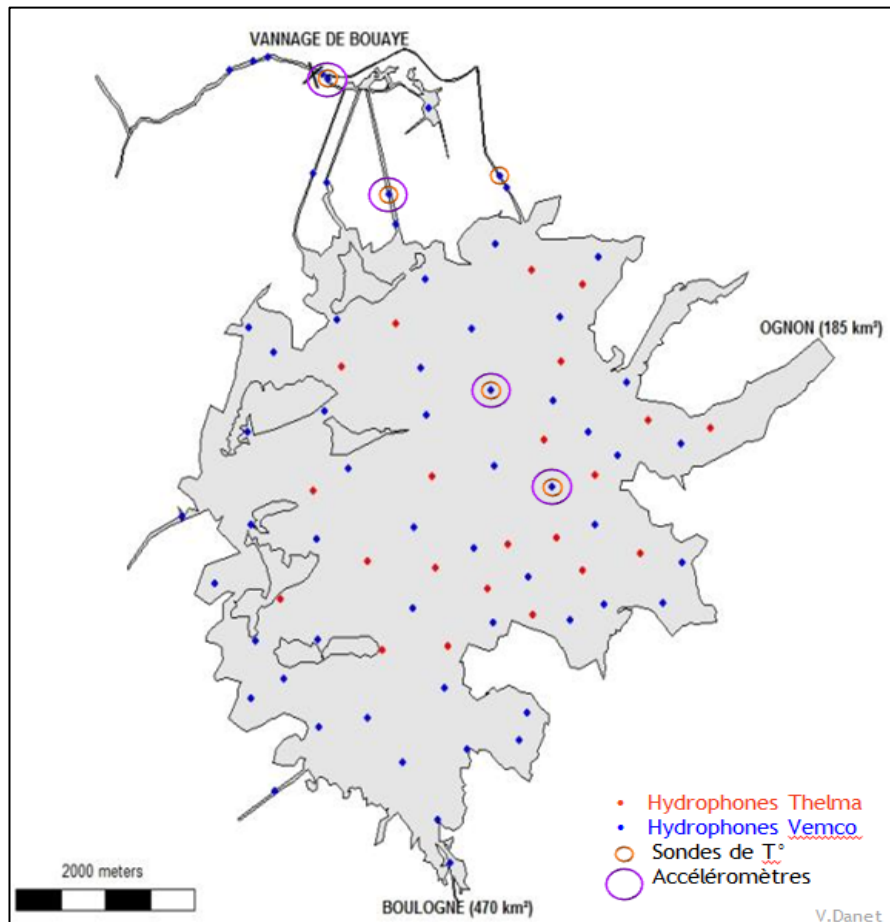


Figure 12: Cartographie du réseau mis en place (V.Danet)

Ce réseau a été mis en place du 28 octobre 2016 au 27 mars 2017 et a été complété par 5 capteurs de températures et 4 accéléromètres (mesurant la vitesse et l'orientation du courant) de marque HOBO.

Le positionnement de chaque hydrophone et de chaque thermomètre / accéléromètre a été réalisé à partir de coordonnées GPS préalablement choisies. Chaque hydrophone a été fixé dans les 40 centimètres supérieurs de la colonne d'eau.

La probabilité de détection d'un signal par un hydrophone décroît avec l'éloignement et dépend de facteurs environnementaux tels que la présence de pluies ou de vent. En ne considérant pas les facteurs environnementaux, on émet les hypothèses suivantes :

- La probabilité de détection décroît avec la distance entre l'émetteur et l'hydrophone (Figure 13)
- La probabilité de détection en fonction de la distance émetteur-récepteur, est la même pour l'ensemble du site d'étude.

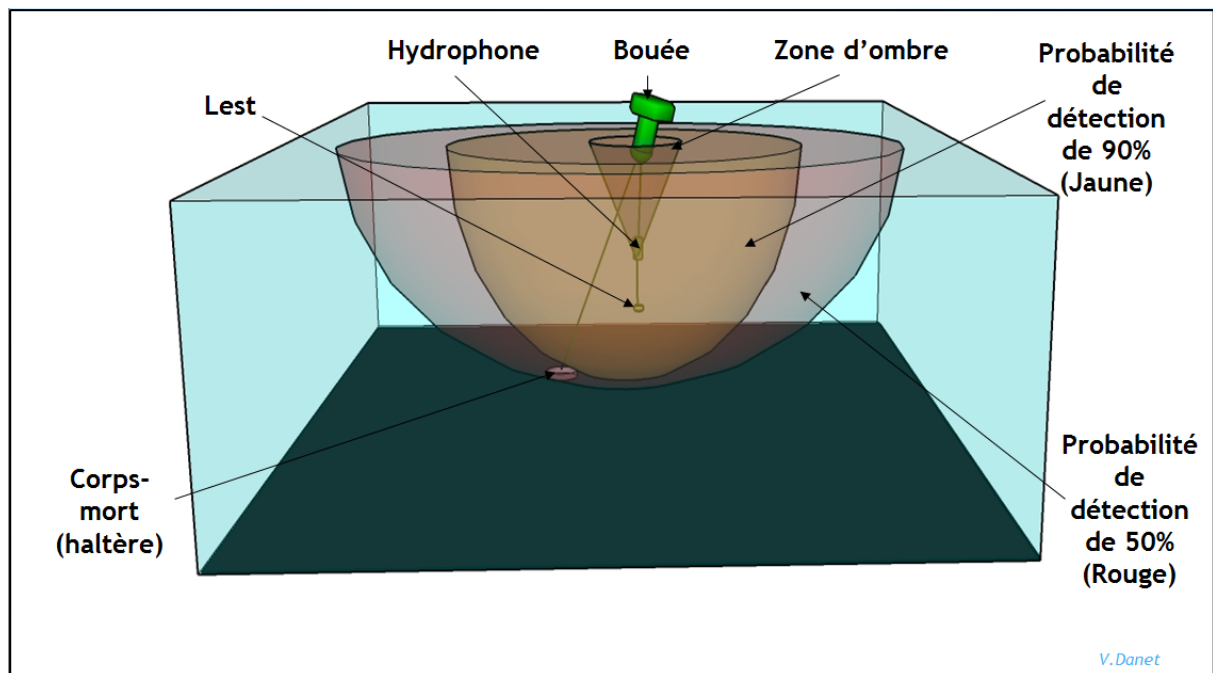


Figure 13: Représentation schématique du positionnement d'un hydrophone (V.Danet)

L'efficacité du réseau décrit a été évaluée à l'aide d'un test de « Buffer ». Ce test a été réalisé sur les 5 hydrophones positionnés à la sortie du lac. Pour chacun de ces hydrophones, un émetteur a été immergé pendant 3 minutes tous les 50 mètres en s'éloignant de l'hydrophone. Pour chaque hydrophone du test, cette opération a été répétée pour les directions amont et aval (navigation dans un canal). Après récupération des enregistrements réalisés par ces hydrophones, les données ont permis de vérifier l'absence de zones dites « blanches » entre deux hydrophones, c'est à dire des zones où l'émetteur n'avait pas été détecté. Ce test permet d'assurer que la probabilité pour un individu de quitter le lac sans être détecté est négligeable.

4.3. Reconstruction des trajectoires *a posteriori*

Le réseau d'hydrophones a enregistré 445 290 détections au cours des 151 jours de mise en place. La première étape commune à toutes les analyses réalisées a été la reconstruction des trajectoires *a posteriori* à partir de ces détections.

4.3.1. Elimination des données aberrantes

Les données collectées sont des données discrètes : pour chaque anguille, la liste des hydrophones l'ayant détecté avec la date et l'heure de chaque détection a été obtenue après la relève des hydrophones. Une observation fine de la base de données a montré la présence de données « aberrantes » : en effet, les hydrophones associaient parfois un bruit de fond causé par les vagues ou le vent à un signal appartenant à une anguille argentée marquée. Afin de ne garder que les détections signifiant une présence réelle, les détections ne remplissant pas certains critères ont été supprimées de la base de données.

Chaque détection pour chaque anguille a été soumise au filtre suivant :

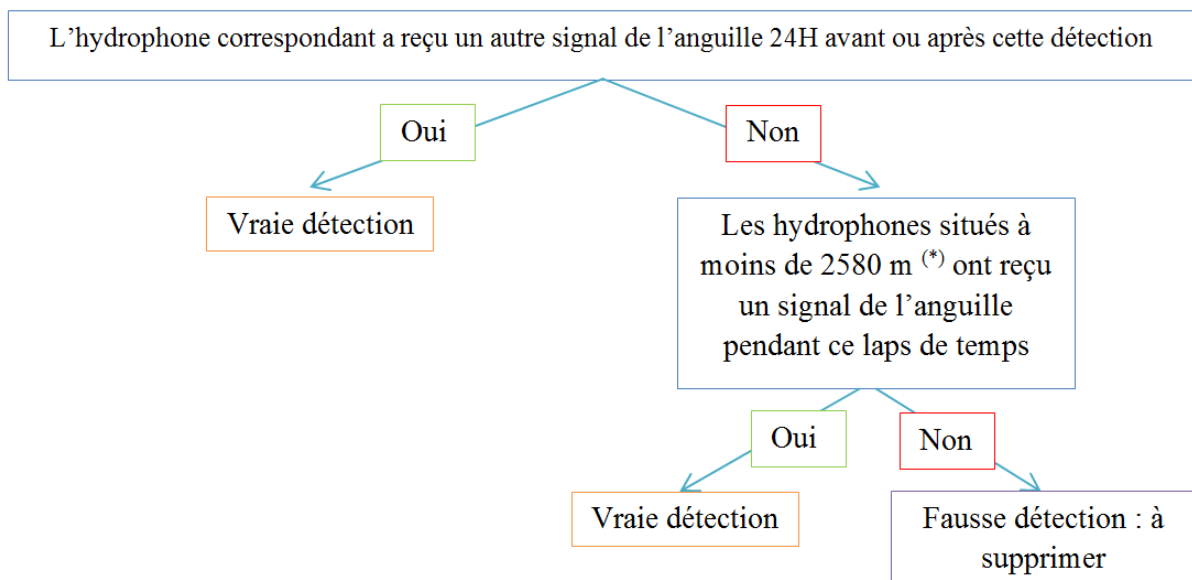


Figure 14 : Chaîne de décision pour la suppression des fausses détections

(*) Cette distance correspond à 5 fois la distance minimum moyenne entre deux hydrophones. La probabilité qu'une anguille soit détectée par un hydrophone à plus de 2580m de la détection considérée, pendant le laps de temps donné, sans avoir été détectée par ceux plus proches, est jugée comme étant trop faible pour que la détection considérée traduise la position réelle de l'anguille.

Ce filtre, même si il ne permet pas d'enlever les détections fausses ayant lieu à proximité temporelle et spatiale de vraies détections, permet de supprimer du jeu de données les détections qui auraient engendré le plus de biais lors de la reconstruction *a postérieure* des trajectoires.

4.3.2. Méthode de calcul des positions des anguilles et choix de la méthode d'interpolation

Une fois la base de données exempte de fausses détections (200 détections supprimées), la trajectoire de chaque anguille argentée de l'étude a été reconstruite selon la méthode suivante à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2005) : chaque anguille marquée a été positionnée dans l'espace toutes les 20 minutes en moyennant la position des hydrophones l'ayant détecté pendant ce laps de temps. Cette moyenne est pondérée par le nombre de fois où chaque hydrophone a détecté le signal émis par l'anguille (Figure 15). En effet, plus une anguille est proche d'un hydrophone, plus les signaux émis par son émetteur sont détectés un grand nombre de fois par celui-ci pendant un laps de temps donné.

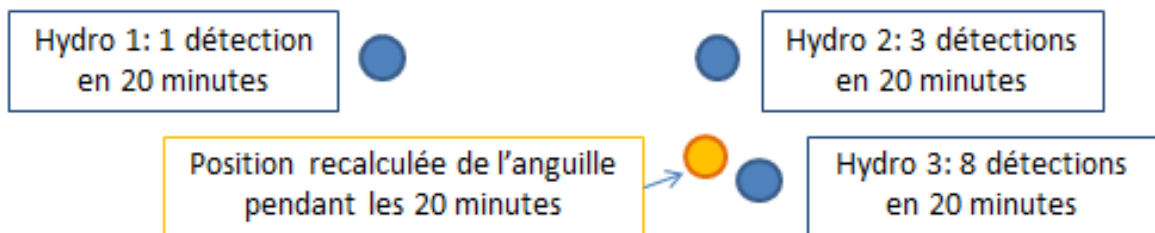


Figure 15 : Illustration de la première étape de reconstruction des trajectoires

Cependant, pour chaque anguille argentée et contrairement à ce qui été attendu, il est arrivé que pendant certains laps de temps de 20 minutes, l'individu ne soit pas détecté par un des hydrophones du lac. Afin de pouvoir positionner l'individu pendant ces intervalles de temps, sa position à ces instants a été interpolée par régression linéaire grâce à ses positions recalculées (Figure 16). Ainsi, la position de chaque anguille est connue toutes les 20 minutes.



Figure 16 : Illustration de la deuxième étape de la reconstruction des trajectoires

Afin de valider cette méthode de reconstruction, un parcours en bateau, dont la trajectoire était connue grâce à un GPS, a été réalisé en immergeant un émetteur. Puis, après relève des hydrophones, la trajectoire du bateau a été reconstruite en utilisant différentes méthodes d'interpolations. Ces méthodes consistaient en différentes régressions paramétriques (régression linéaire) et non-paramétriques (méthode des noyaux, validée en croix ou non; méthode des polynômes locaux, et méthode « smoothpline »), proposées et testées par Hedger (2008).

Pour chaque méthode, une trajectoire correspondante a ainsi été reconstruite. Puis l'écart moyen entre les différentes trajectoires obtenues et la trajectoire réelle (GPS) a été calculé. Un test ANOVA a ensuite été réalisé pour sélectionner la méthode engendrant l'écart moyen le plus faible. Seule une des régressions non paramétriques induisait un écart moyen significativement plus élevé que ceux obtenus par les autres méthodes. Les autres résultats ne présentaient pas de différences significatives.

Ainsi, le choix de la méthode d'interpolation s'est porté sur la régression linéaire pour sa facilité de mise en place. L'erreur moyenne de cette méthode est de 330 m avec un écart type de 211 mètres.

4.3.3. Evaluation du réseau

Afin d'évaluer l'efficacité du réseau, il était nécessaire de savoir quelles étaient les zones du lac où les détections étaient moindres. Pour cela, le pourcentage de positions recalculées et de positions interpolées ont été calculés sur l'ensemble du lac afin de pouvoir évaluer le degré de couverture du lac par les différents hydrophones (Figure 17). En effet, les positions recalculées sont déduites à partir de détections réalisées par les hydrophones tandis que les positions interpolées ont été reconstruites lorsque les hydrophones n'ont pas détecté le signal. Ainsi, dans une zone donnée, plus le pourcentage de positions recalculées est élevé, plus la détection des anguilles argentées marquées y a été bonne.

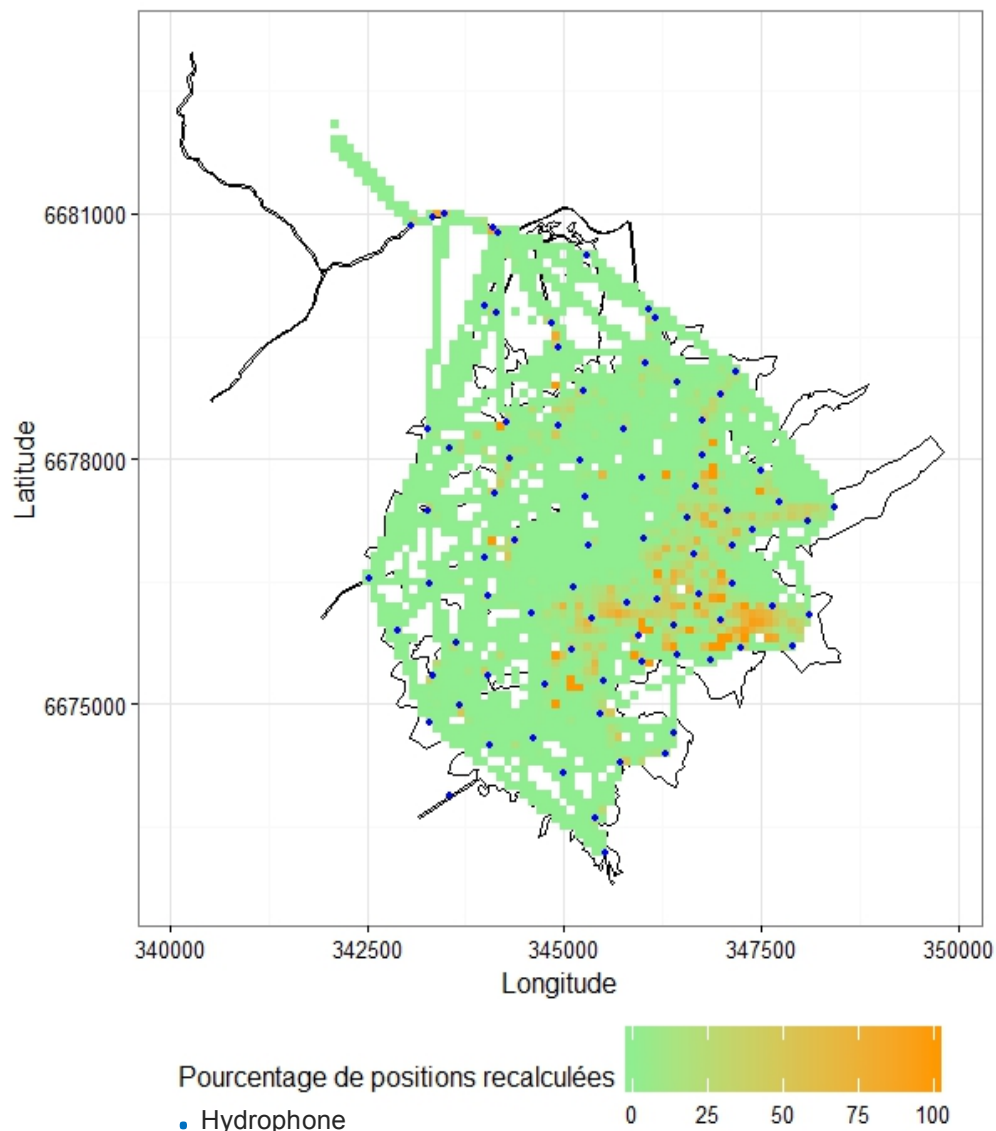


Figure 17: Evaluation de la couverture du lac par les hydrophones

Les zones en blanc signifient que, d'après les reconstructions effectuées, aucune anguille n'est passée. Les zones vertes traduisent un haut pourcentage de positions interpolées. Cela signifie que les anguilles qui y sont passées n'ont pas été détectées.

A contrario, les zones orange indiquent un bon taux de détection car elles représentent des zones où les positions ont pu être recalculées grâce aux détections des hydrophones.

L'efficacité de la détection des hydrophones dans la zone Sud-Est semble particulièrement bonne. Cela est nettement moins le cas dans le reste du lac : si la proximité directe des hydrophones y est relativement bien couverte, ce n'est pas le cas des zones entre les hydrophones. Ainsi, ce réseau, pourtant dense, présente des limites. En croisant cette première carte avec une carte de végétation, il semble que les zones de moindre détection correspondent assez bien avec celles où la végétation est la plus dense (Figure 18).

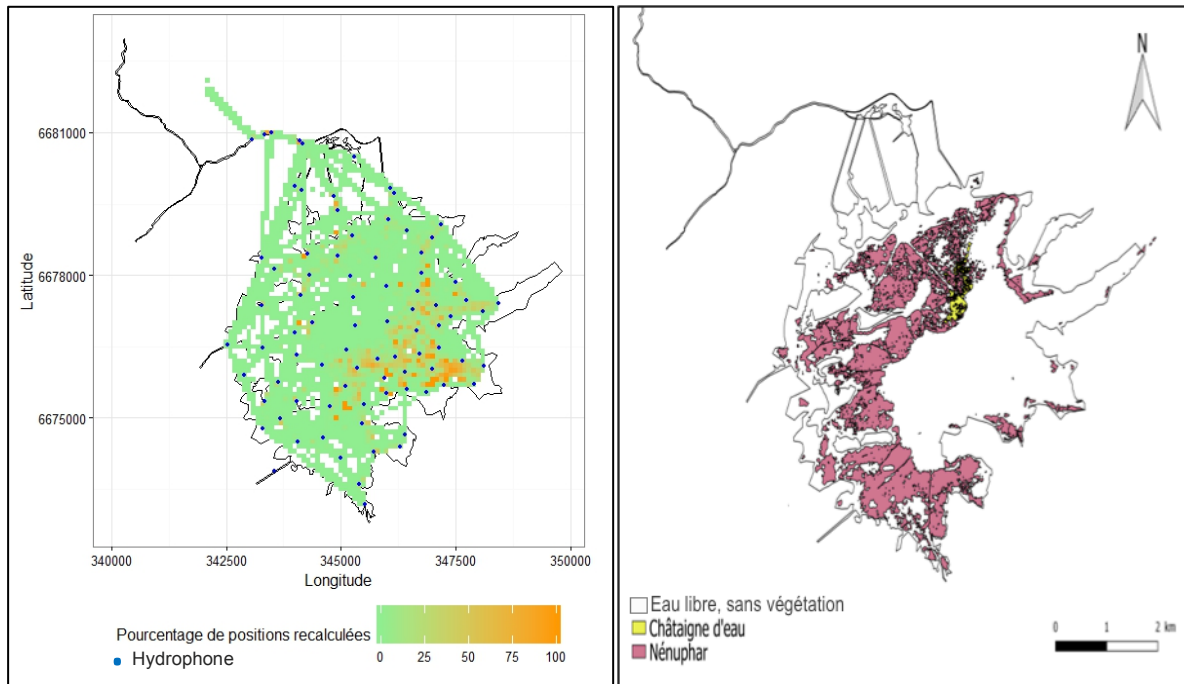


Figure 18: Adéquation entre zone de moindre détection et zone d'occupation de la végétation

De plus, les hydrophones positionnés au sein des canaux au Nord du lac servaient davantage de « check point » qu'à la reconstruction des trajectoires : ils étaient peu nombreux et permettaient de valider le passage d'une anguille argentée de la zone d'eau libre au vannage. Ceci explique le haut pourcentage de détections interpolées dans ces zones.

5. Analyse des trajectoires reconstruites

Avant de commencer les analyses des différentes trajectoires reconstruites, il est à noter que la période de détection des mâles a été tronquée et s'est terminée avant la fin de la période d'écoute. En effet, la durée de vie des batteries de leurs émetteurs a été trop courte (cf.4.1) pour assurer leur suivi à partir du mois de mars. On observe en effet une perte nette de leur détection environ 6 mois après leur relâche, ce qui corrobore avec les données constructeurs concernant la longévité des batteries des émetteurs implantés. Cette perte de détection a été prise en compte dans les analyses. Rappelons que les émetteurs introduits dans les femelles ont une durée de vie de 14 mois et n'ont ainsi pas conduit à la même problématique.

Une fois les trajectoires reconstruites pour l'ensemble des anguilles de l'étude, la distance parcourue par heure et par jour, la distance cumulée parcourue pendant la période d'étude, la direction prise lors de chaque déplacement ainsi que la vitesse des déplacements ont été calculées afin de décrire au mieux le comportement des individus étudiés.

Pour finir, afin d'illustrer les déplacements, des cartes représentant chaque trajectoire ainsi que des GIF animés ont été réalisés

5.1. Etude de l'impact du marquage

5.1.1. Méthodologie

Pour pouvoir en tenir compte dans les analyses des trajectoires à venir, il est important de connaître quels sont les effets du marquage sur les individus.

Les anguilles argentées destinées au test post-opératoire étant malheureusement mortes (cf. 4.1), ce test, consistant à comparer un lot d'anguilles argentées non marquées (témoins) et un lot d'anguilles argentées ayant subi l'opération de marquage, n'a pas pu être effectué. Cependant, ce test avait été réalisé lors de l'étude précédente et, en complément, l'étude de l'évolution de l'activité natatoire après le marquage a été réalisée cette année.

Cette expérience a été réalisée uniquement sur les femelles argentées marquées de notre étude. En effet les mâles ont été marqués et relâchés (le 30 septembre) avant la mise en place complète du réseau d'hydrophones (le 28 octobre). Le réseau au moment de leur marquage n'étant composé que des hydrophones VEMCO, il est rapidement apparu que ce réseau ne permettrait pas une reconstruction précise des trajectoires. L'analyse du comportement post-marquage des mâles aurait donc été trop biaisée. Ainsi, il a fallu attendre la mise en place de davantage d'hydrophones un mois plus tard pour rendre le réseau efficace et performant.

Afin de connaître l'effet de l'implantation de l'émetteur sur le comportement de chaque anguille argentée, le nombre de jours séparant l'implantation de l'émetteur du premier mouvement journalier « significatif » réalisé par l'individu a été mesuré. On considère qu'un déplacement journalier est « significatif » lorsque la distance parcourue est supérieure à la distance moyenne journalière parcourue par l'individu considéré (illustration Figure 19). En effet, on émet l'hypothèse qu'une anguille argentée se déplace dans le lac (recherche d'un habitat favorable, exploration etc.) avant même de migrer malgré son absence de besoins alimentaire.

Ainsi, la réalisation de ce premier mouvement « significatif » post-marquage signifierait qu'elle est en capacité de le faire et s'est donc rétablie suite à l'opération.

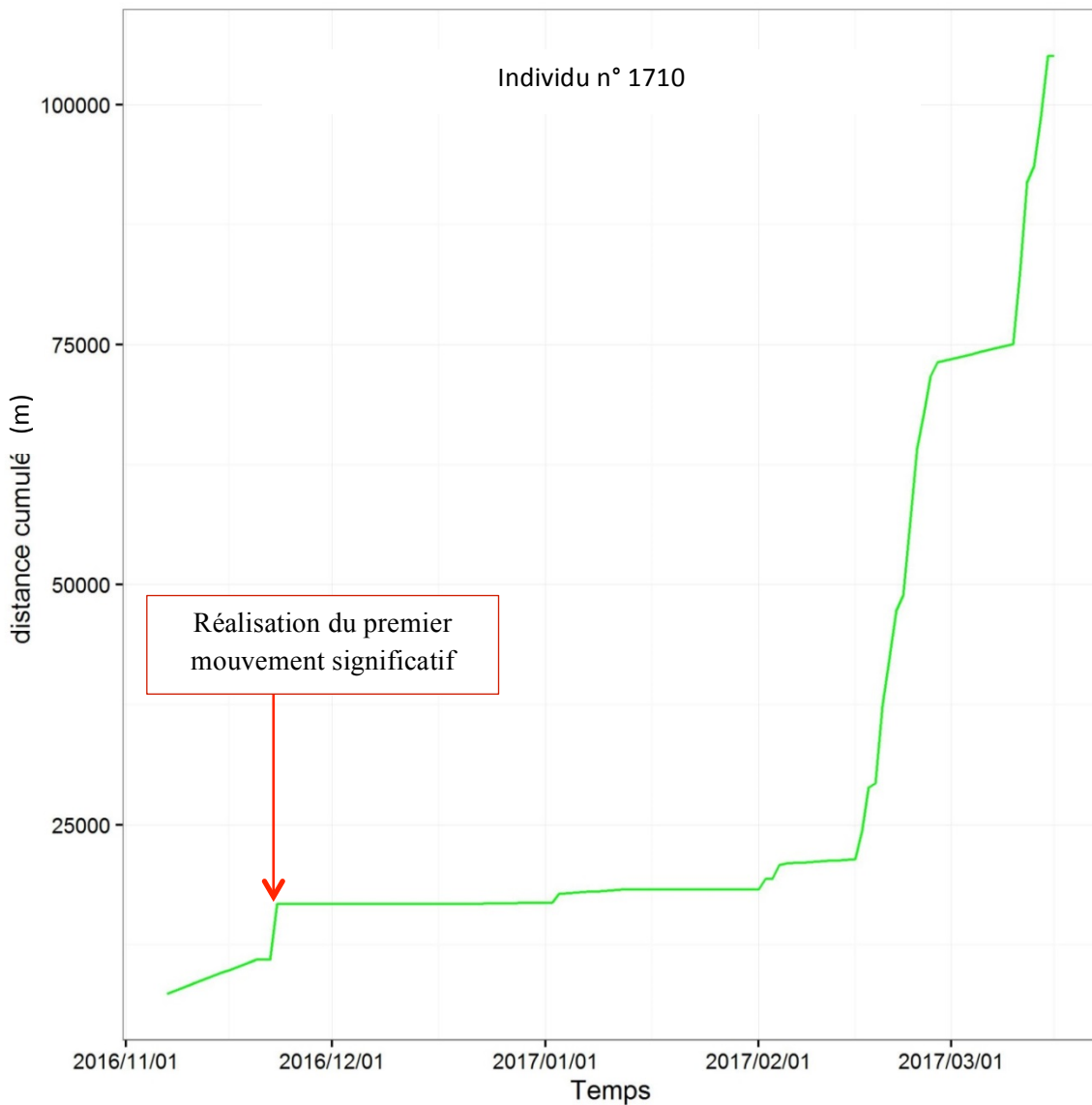


Figure 19: Distance cumulée en mètre parcourue par l'individu 1710 en fonction du temps. Illustration du premier mouvement significatif

Enfin, à l'aide de test ANOVA ($\alpha = 5\%$), l'effet de l'expérimentateur, de l'état de santé externe et des différentes lésions ainsi que celui de la date de l'opération sur l'impact du marquage ont été testés.

5.1.2. Résultats

En moyenne, les anguilles argentées femelles, marquées lors des deux campagnes du mois de novembre ont mis 11,06 jours (écart-type de 19,93) à réaliser leur premier déplacement conséquent. On considère ce délai moyen comme le temps nécessaire au rétablissement des individus marqués. Les tests ANOVA réalisés montrent que ni l'opérateur (p. value = 0,61), ni l'état de santé externe (p. value = 0,128) et les différentes lésions, ni la date de relâche (p. value = 0,72) n'ont d'effet sur ce temps de récupération.

5.1.3. Discussion

Le résultat obtenu après cette étude est proche de celui observé par d'autres (Le Pichon, Coustillas, & Rochard, 2015). Considérant ce résultat comme valable, il a été pris en compte dans la suite de l'analyse des trajectoires. En effet, on estime le comportement de l'anguille argentée comme étant perturbé pendant sa période de rétablissement: on suppose que son comportement n'est pas celui qu'elle adopterait en temps normal. Ainsi, les données mesurées pendant les 11 premiers jours après le marquage n'ont pas été prise en compte lors de certaines analyses des trajectoires (précisé le cas échéant).

Cette méthode présente toutefois des biais majeurs sans doute responsables de la grande variabilité individuelle observée : une anguille argentée peut très bien ne pas bouger même si elle est en état de le faire ou *a contrario* réaliser un déplacement important, afin d'éviter d'être prédatée par exemple, même si l'effet du marquage se fait encore sentir.

5.2. Etude du comportement pré-migratoire

5.2.1. Caractéristiques des trajectoires

5.2.1.1. Méthodologie

L'analyse du comportement pré-migratoire a été réalisée grâce aux trajectoires préalablement obtenues et aux paramètres préalablement calculés pour décrire l'activité natatoire des individus.

L'étude de l'orientation des déplacements a été affinée dans cette partie. En effet, pour chaque anguille et pour chacun de ses déplacements, l'angle formé entre le vannage (sortie du lac) et les positions du déplacement considéré a été calculé (dans le sens horaire). Le déplacement a été considéré comme orienté vers le vannage si l'angle correspondant valait entre 0 et 20 degrés ou entre 340 et 360 degrés (Figure 20). Des figures représentant le pourcentage journalier de déplacements fait vers le vannage vs. vers le reste du lac ont également permis de préciser l'activité des anguilles.

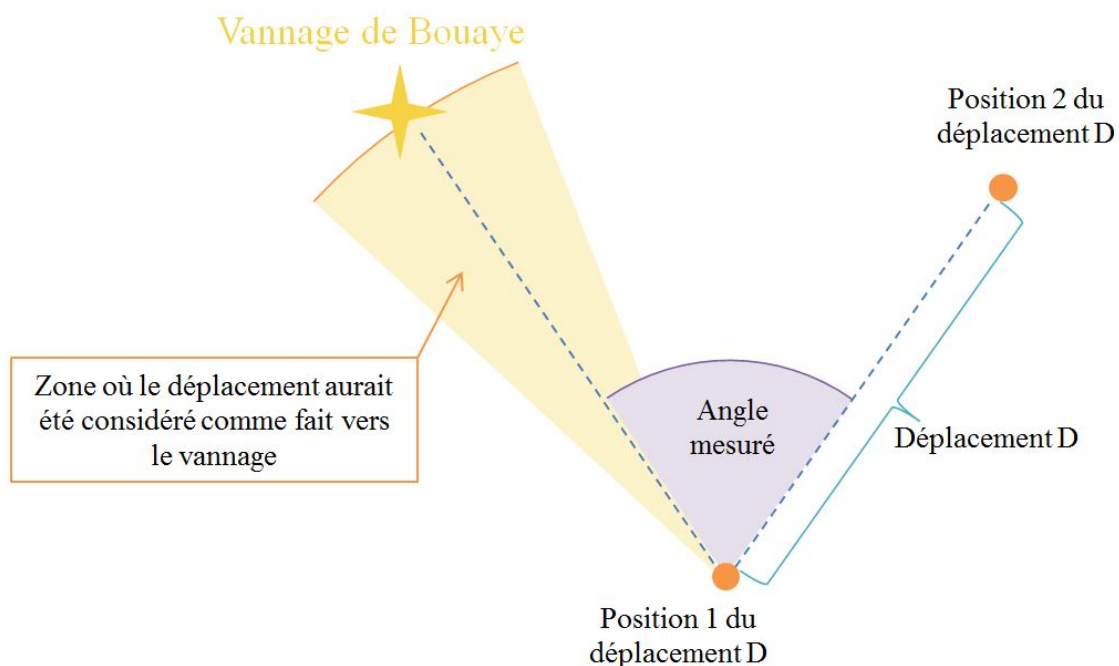


Figure 20: Illustration de la méthode de calcul de l'orientation des déplacements par rapport au vannage

5.2.1.2. Résultats

L'ensemble du lac a été exploré par les individus (Figure 17) et tous les hydrophones positionnés ont détecté au moins une anguille. Certaines anguilles argentées de l'étude semblent s'être beaucoup déplacées (exemple de l'individu 1716, Figure 21) tandis que d'autres sont parfois restés dans des endroits très localisés pendant toute la durée de leur détection (Figure 22). Ainsi, on observe une diversité de comportements importante : si des anguilles ont beaucoup exploré le milieu, d'autres n'ont pas exploré l'ensemble du lac.

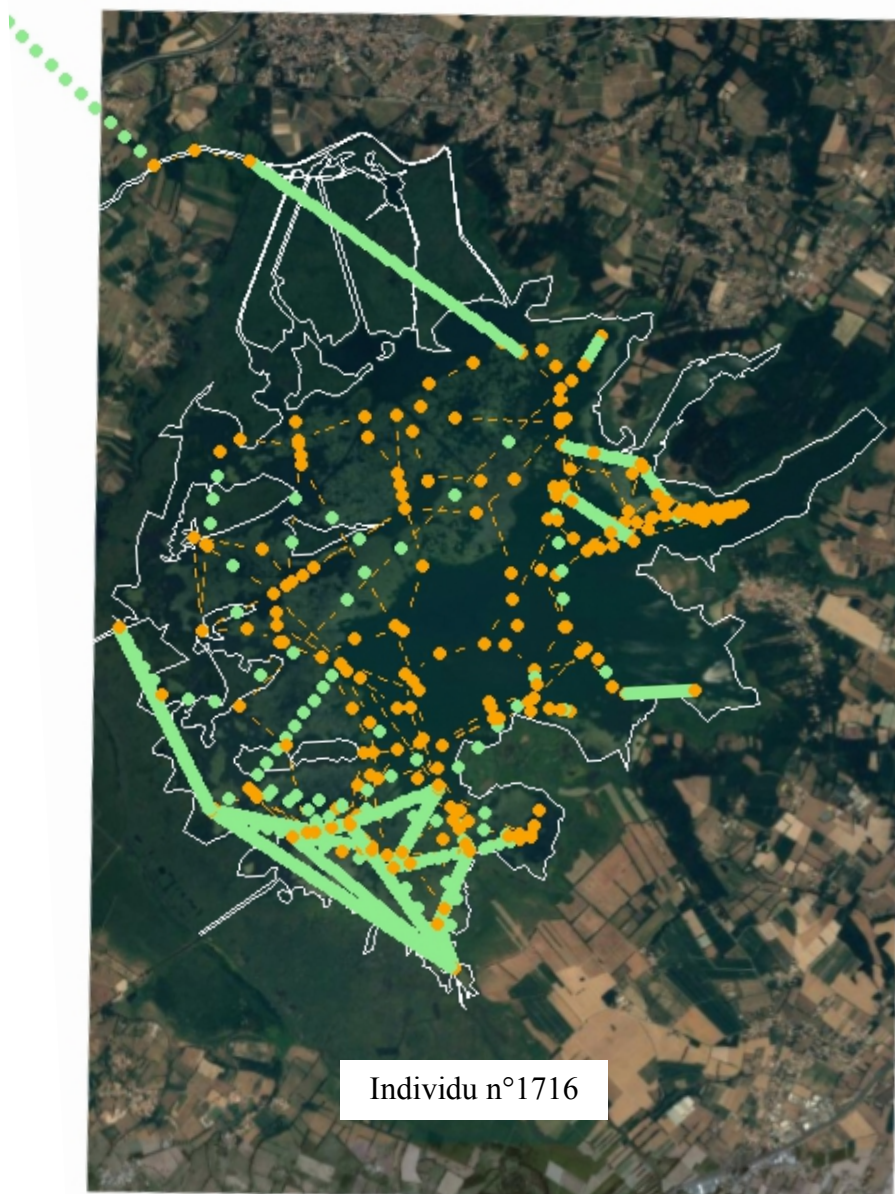


Figure 21: Les nombreux déplacements d'une anguille argentée marquée. Individu n°1716
En vert : positions interpolées / En orange: positions recalculées

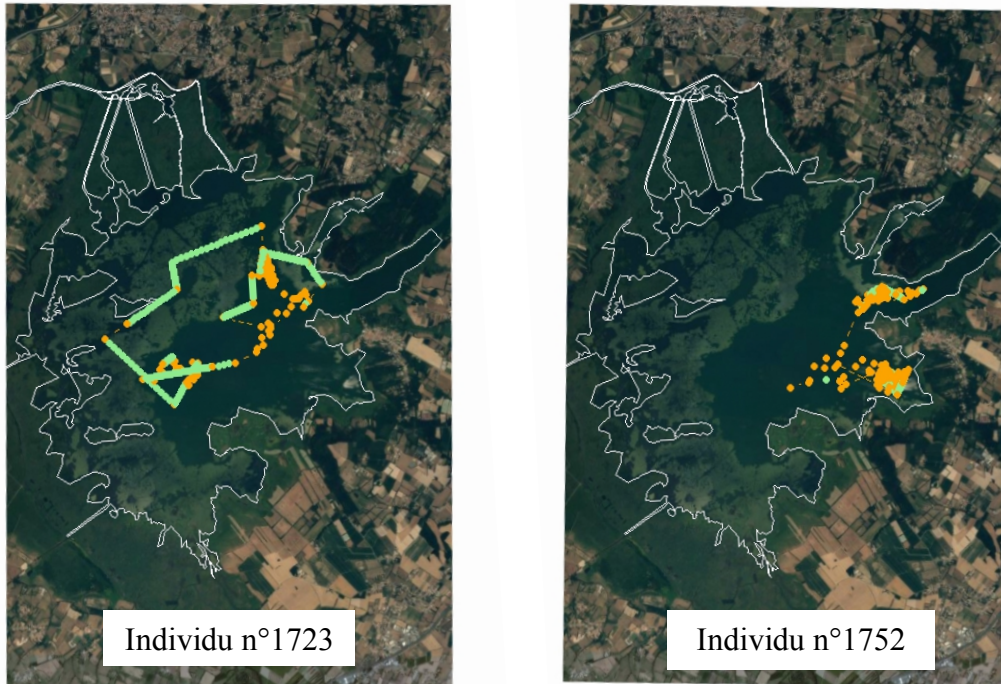


Figure 22 : Des déplacements parfois très localisés. Exemple des individus n°1723 et 1752
 En vert : positions interpolées / En orange: positions recalculées

Les déplacements effectués sont essentiellement nocturnes : en effet, les distances moyennes parcourues pendant la nuit sont plus importantes que celles réalisées le jour pour 76% des anguilles argentées marquées (dont les activités horaires moyennes ont pu être calculée pour chaque tranche horaire) (illustration à l'aide d'un cas individuel, Figure 23).

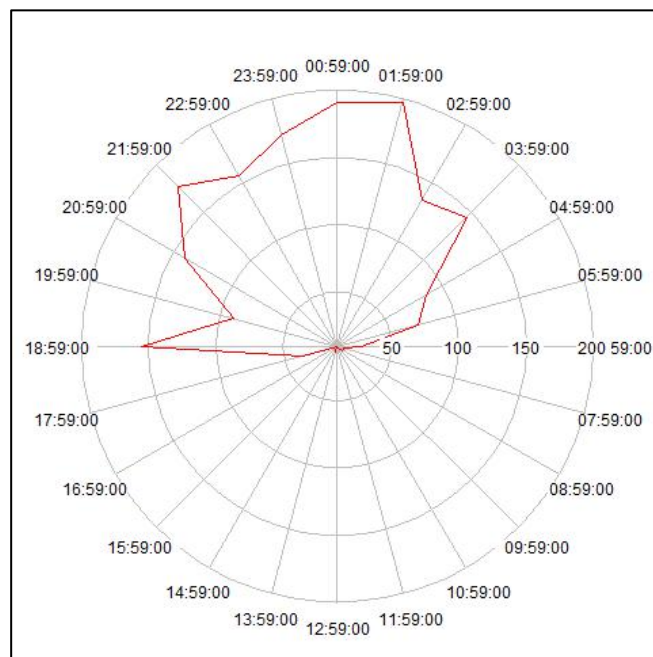


Figure 22: Exemple de radar d'activité natatoire horaire : représente la distance moyenne (en mètres) parcourue par l'individu pendant cette plage horaire. Cas de l'individu n°1714

En ne considérant pas la période post-marquage (cf. 5.1.3), les anguilles argentées femelles ont parcouru en moyenne 1197,5 mètres par jour au sein du lac (écart-type de 1247 mètres) pendant la période de suivi. Cette distance moyenne est de 875,5 mètres (écart-type de 1321 mètres) par jour pour les mâles. Ces valeurs moyennes masquent cependant une variabilité intra-individuelle importante.

En effet, les anguilles argentées marquées ont parfois montré des périodes de fortes activités suivies de moments d'immobilité ou de moindre activité (exemple de l'individu 1774, Figure 24).

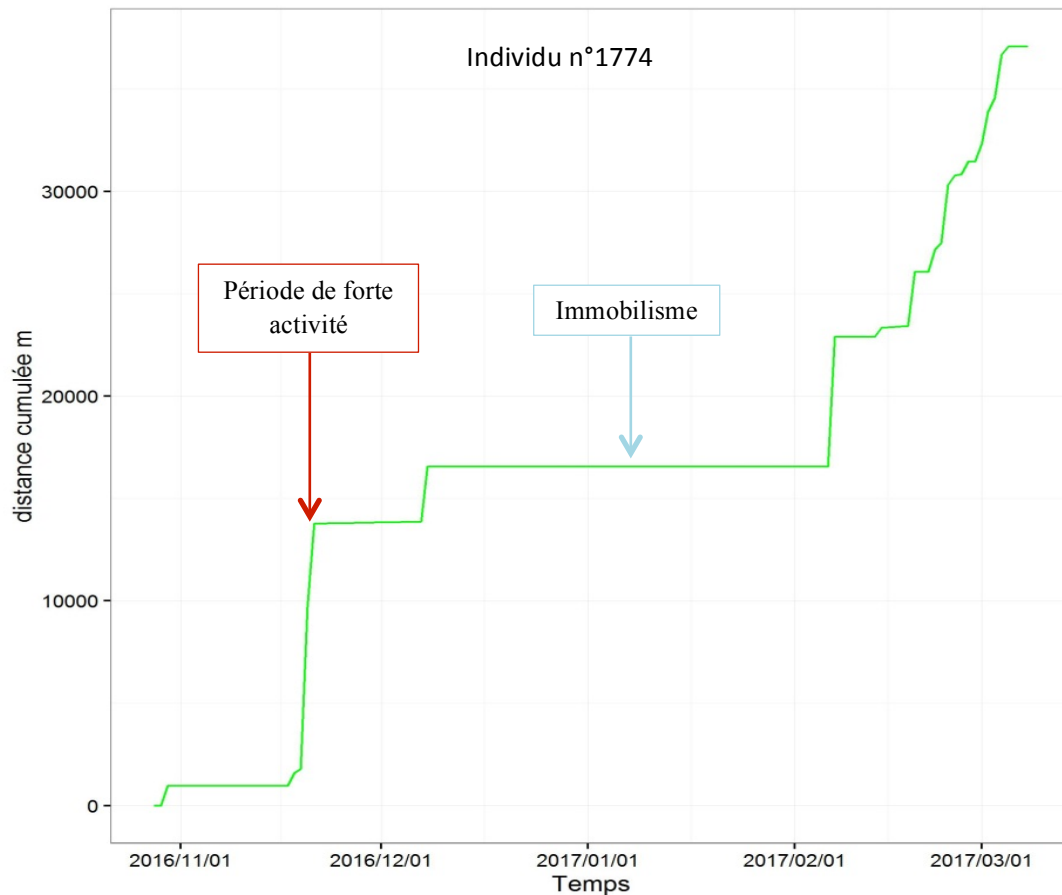


Figure 23 : Illustration de la variabilité de l'activité natatoire au cours du temps. Exemple de l'individu 1774

L'orientation des déplacements semble également très variable au cours du temps pour les différents individus marqués. On retrouve néanmoins pour 56% des anguilles argentées (dont les l'orientation des déplacements ont pu être calculée hors période post-marquage) des jours où les déplacements ont davantage eut lieu vers le vannage que vers le reste du lac (Figure 25).

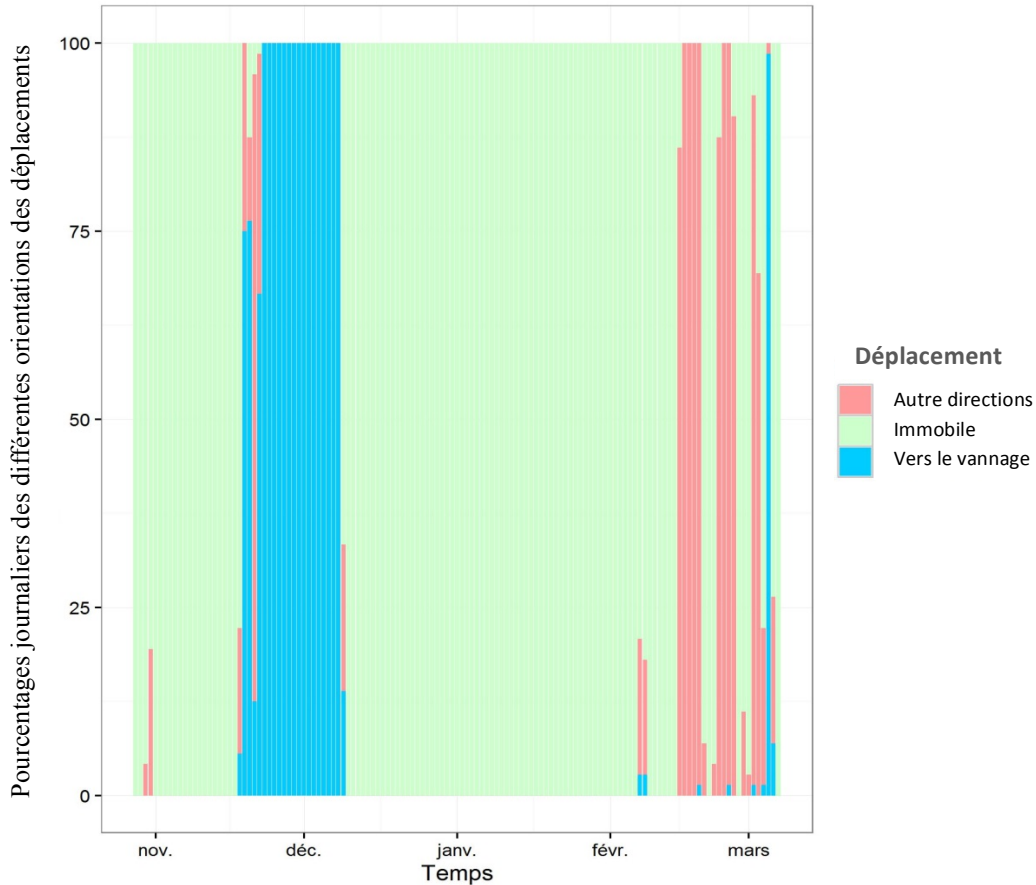


Figure 24: Illustration de la variabilité de l'orientation des déplacements au cours du temps. Exemple de l'individu n°1774

5.2.1.3. Discussion

Le fait que l'anguille européenne soit un animal ayant une activité essentiellement nocturne a déjà été démontré lors d'autres études (Tesch, 1992) et est à mettre en lien avec le caractère lucifuge de l'espèce (Cullen & McCarthy, 2000). Une hypothèse pour expliquer ce comportement, est le fait qu'il fasse partie des stratégies mise en place afin d'éviter la prédation exercée par les oiseaux piscivores et mammifères, qui sont essentiellement diurnes.

Les anguilles en dévalaison se déplacent beaucoup lors de leur retour vers la mer mais uniquement lors de fenêtres environnementales favorables. En effet, lorsque les conditions ne sont pas réunies, elles peuvent rester immobiles plusieurs jours voir semaines en attendant le retour de conditions favorables à leur migration (Durif, 2003). On s'attendait donc à ce que le comportement pré-migratoire des anguilles argentées du lac corresponde à l'attente immobile des facteurs environnementaux déclencheurs de la migration. Les comportements observés sont très divers et les distances journalières parcourues en moyenne par les individus au sein du lac sont relativement importantes (cf. 5.2.1.2). On remarque également une grande variabilité de l'activité natatoire en fonction du temps (Figure 24). De plus, la méthode de reconstruction des trajectoires, en utilisant la

régression linéaire, a tendance à sous-estimer la distance réellement parcourue par les individus. En effet, la régression aboutit à une ligne droite entre deux points.

On émet plusieurs hypothèses pour expliquer l'importante activité natatoire de certaines anguilles argentées marquées :

Tout d'abord, il est possible que les anguilles capturées au sein du lac pour être marquées soient des anguilles venant du réseau hydraulique amont ayant déjà commencé à effectuer leur dévalaison. Elles auraient alors pendant la période d'étude un comportement migratoire, et non pas pré-migratoire, caractérisé par de vastes déplacements visant à explorer le lac pour en trouver l'échappatoire.

De plus, il est possible que la fermeture du vannage, en ne permettant pas un libre accès au réseau hydrologique aval, augmente les phases de déplacement des anguilles argentées qui cherchent alors un autre échappatoire. Si cette hypothèse est vérifiée, la distance cumulée parcourue par les individus dans le lac serait alors bien supérieure à ce qu'elle aurait été en cas d'absence du vannage.

Il est également envisageable que les anguilles aient perçu plusieurs fois au cours de la période d'étude des facteurs déclencheurs de la migration ayant entraîné la hausse de l'activité natatoire ainsi que l'orientation vers le vannage des déplacements. Ainsi, la distance moyenne parcourue par jour serait élevée car impactée par ces nombreuses phases de forte activité natatoire. Les représentations graphiques de la distance cumulée en mètres et de la pluviométrie en fonction du temps tendent à confirmer cela (Figure 26). En effet, graphiquement, on observe que les périodes de forte activité natatoire ont généralement lieu lors d'épisodes pluvieux.

Cependant, tous les épisodes pluvieux ne sont pas accompagnés d'une hausse de l'activité natatoire. Afin d'établir un lien statistique entre les événements climatiques et leurs impacts potentiels sur l'activité natatoire et l'orientation des déplacements, des analyses spectrales devront être réalisées. Ces analyses, en comparant la périodicité des événements climatiques et celle des hausses d'activités natatoire ou de l'orientation vers le vannage des déplacements, permettront d'établir un lien, si il existe, entre ces phénomènes.

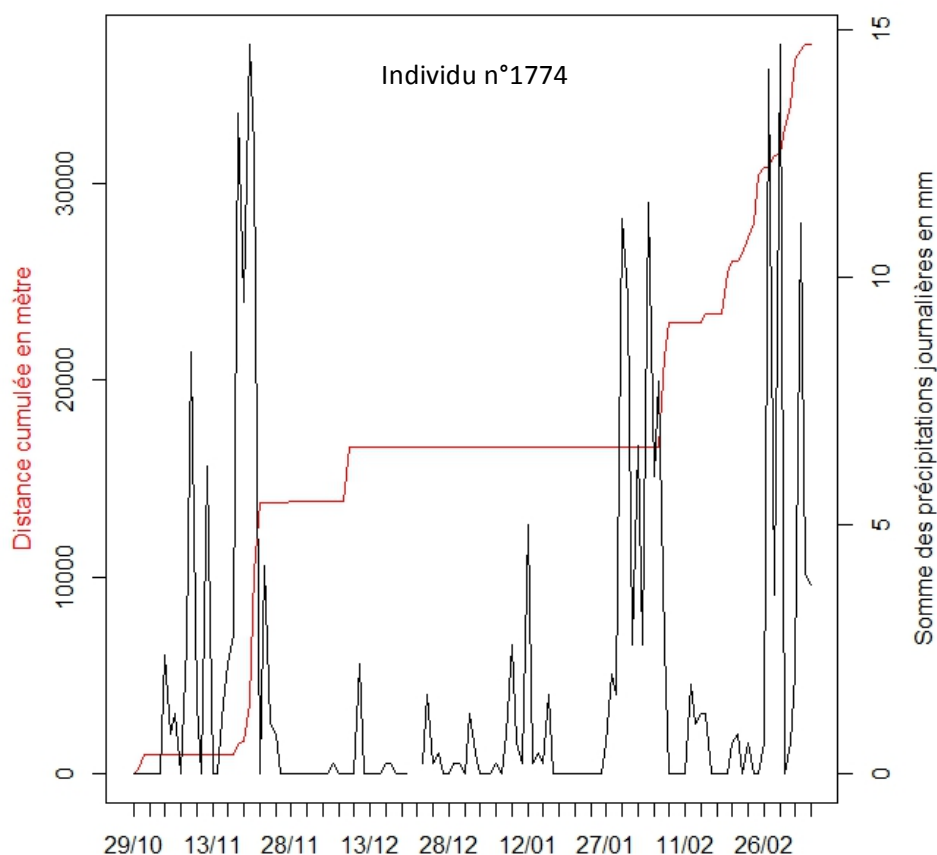


Figure 25: Distance cumulée parcourue par l'individu et pluviométrie journalière en fonction du temps

Enfin, une autre hypothèse réside dans l'activité de recherche alimentaire des anguilles argentées qui effectueraient alors de grands déplacements pour se nourrir. Malgré la fermeture de l'anus des anguilles argentées, il n'est pas rare de trouver des petits poissons ou des écrevisses dans l'estomac d'anguilles argentées pêchées (communication personnelle des pêcheurs du lac de Grand-Lieu). Il est alors difficile de savoir si cela est causé par un comportement « réflexe » du prédateur mis au contact de ses proies dans les filets de pêche ou si cela traduit un comportement alimentaire malgré les changements anatomiques énoncés précédemment. La recherche de proies permettrait d'expliquer les déplacements quotidiens des anguilles marquées.

Cependant, on peut remettre en question le degré d'argenture des anguilles concernées par ces cas rapportés : elles n'avaient peut-être pas terminé leur métamorphose et gardaient donc un système digestif fonctionnel. Si on considère que c'est la recherche alimentaire qui induit les nombreux déplacements journaliers des anguilles étudiées, cela pose question sur leur degré d'argenture et leur capacité à migrer.

En effet, le dernier stade de l'argenture (stade V) est celui correspondant au stade dévalant à proprement parler (Durif, 2003). On peut alors s'interroger sur la capacité à migrer des anguilles marquées aux stades argentés antérieurs (stade III et IV). Afin d'estimer la fraction dévalante de la population, Durif (2003) explique prendre en compte ces individus, et donc considérer qu'ils sont capables de dévaler l'année de leur capture. Afin de corroborer ces résultats, nous comparerons les stades des anguilles ayant réussi à quitter le lac. De plus, il aurait également été intéressant de comparer l'activité natatoire des anguilles argentées marquées aux différents stades afin de potentiellement identifier une différence de comportement pré-migratoire.

En conclusion, il est possible que les différentes hypothèses soient valables et aboutissent à l'activité natatoire observée sur la population d'anguilles argentées marquées. Cette forte activité natatoire induit chez les anguilles argentées des dépenses énergétiques qui, si elles ne sont pas « naturelles » (car causées par l'augmentation de l'activité exploratoire induite par la fermeture du vannage par exemple) peuvent rendre la suite de la migration plus difficile par manque de réserves énergétiques.

5.2.2. Caractérisation des habitats préférentiels

5.2.2.1. Méthodologie

Le suivi télémétrique, en permettant de positionner les anguilles argentées au cours du temps, offre la possibilité de localiser les habitats préférentiels de cette fraction de la population dans un lac offrant une grande diversité de milieux. Ces informations pourraient contribuer à la mise en place de la sauvegarde de ces habitats d'importance prioritaire pour l'espèce.

Ainsi, une base de données permettant d'associer aux présences et absences des individus les paramètres environnementaux du lac a été créée afin de pouvoir déterminer quels habitats influencent leur répartition au sein de ce milieu. Dans un premier temps, les données environnementales pour l'ensemble du lac et pour l'ensemble de la période d'étude ont dû être collectées.

La profondeur du lac sur l'ensemble de sa surface a été calculée pour tous les jours de l'étude à l'aide des niveaux d'eau journaliers fournis par le Syndicat d'Aménagement Hydraulique (SAH) et d'une carte de 2010 représentant la bathymétrie en certains points du lac lorsque le niveau de l'eau était de 160 cm. Pour cela, pour chaque jour de l'étude, une nouvelle carte de la bathymétrie a été créée à partir de celle de 2010 en ajustant la profondeur des différents points en fonction de la variation entre le niveau de l'eau du jour et celui du moment d'élaboration de la carte. Enfin, pour connaître la profondeur en tous points du lac, les données de profondeur de chaque carte (une par jour) ont été interpolées (cf. Lexique p.68) et les cartographies finalement obtenues ont été ensuite rastérisées (cf. Lexique p.68) (Figure 27). On considère ici que la profondeur horaire au sein du lac est équivalente à la profondeur journalière.

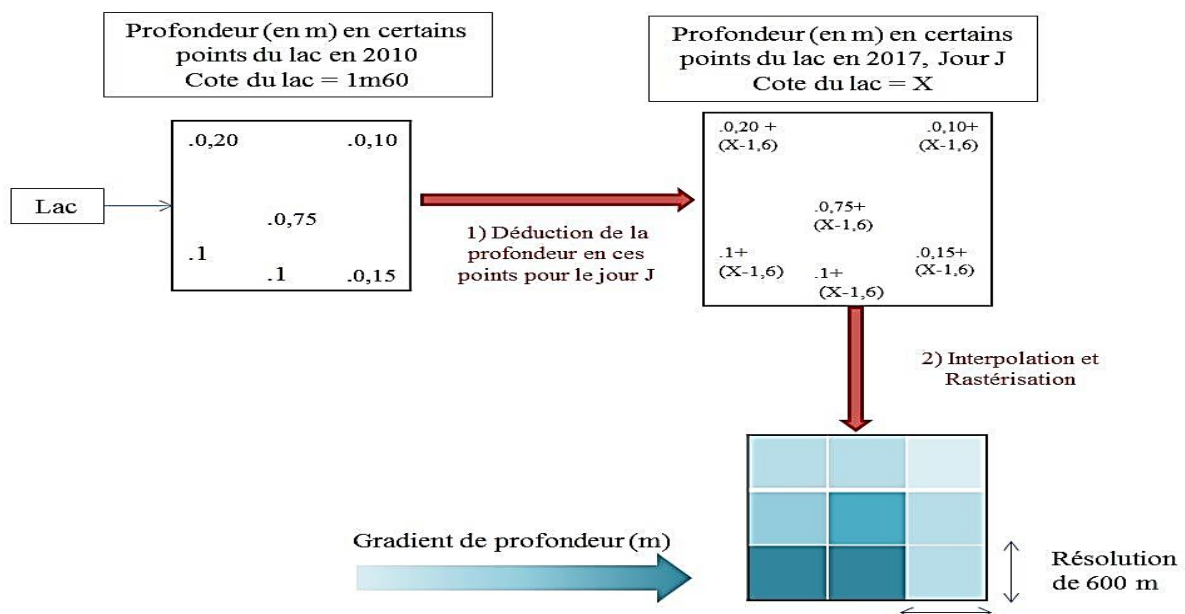


Figure 26: Illustration de la méthode d'obtention des profondeurs journalières en tous points du lac

La température de l'eau au cours de l'étude était mesurée au niveau des hydrophones THELMA et des capteurs de températures répartis sur le lac. Afin de connaître la température de l'eau sur l'ensemble du lac pour chaque heure de l'étude, une interpolation linéaire a été faite. Enfin, un raster d'une résolution de 100 mètres contenant ces données de température a été créé pour chaque tranche horaire (Figure 28).

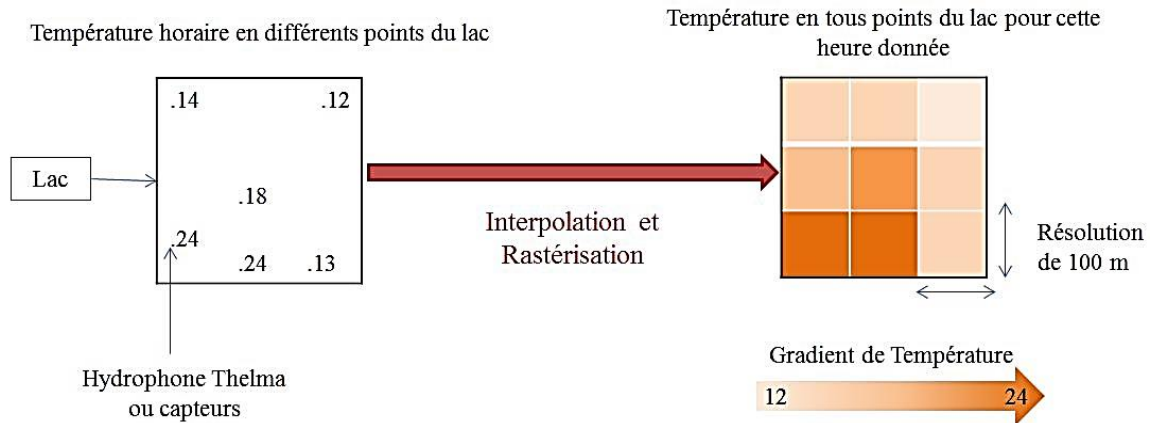


Figure 27: Illustration de la méthode d'obtention des températures horaires en tous points du lac

Les données d'occupation du lac par les scirpes (*Scirpus lacustris*), la châtaigne d'eau (*Trapa natans*) et les nénuphars (*Nymphaea alba*, *Nuphar lutea* et *Nymphoides peltata*) ont été fournies par la Réserve Naturelle Nationale et ont ensuite été rastérisées. Chaque raster (un par type de végétaux), contient au sein de ces pixels, l'information relative à la présence ou à l'absence de la flore concernée (Figure 29). On considère que malgré l'évolution de la flore au cours du temps, ces cartes sont valables pour l'ensemble des tranches horaires de la période d'étude.

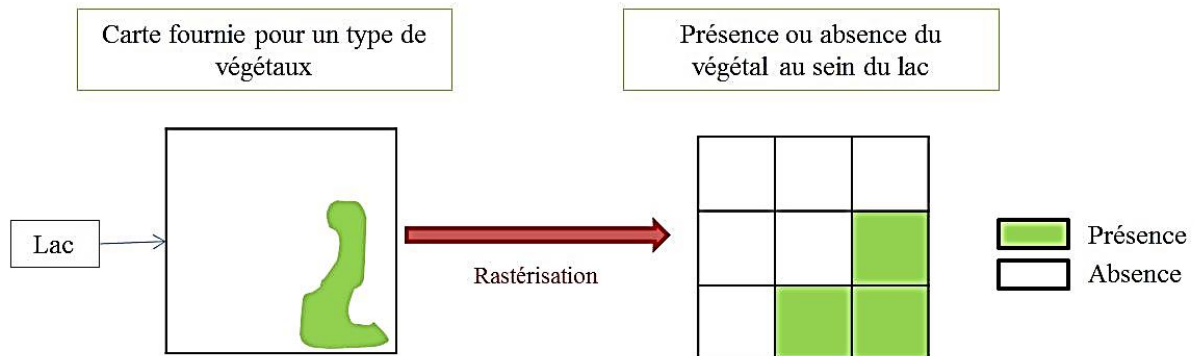


Figure 28: Illustration de la méthode d'obtention des rasters d'occupation végétale

Enfin, pour chaque heure de la période étudiée et grâce aux trajectoires préalablement reconstruites, il a été possible de projeter les positions des individus sur les rasters contenant les données environnementales horaires, via une grille de résolution 150 mètres. Pour chaque heure, les valeurs prises par la profondeur ont été extraites au centre des cellules de la grille où la présence d'anguilles argentées avait été établie. De même pour la température ainsi que par la variable binaire « présence » (1 = présence / 0 = absence) pour chacun des différents végétaux. De plus, cette extraction a également été réalisée pour les cellules proches (jusqu'à 600 m) de celles où la présence d'anguilles argentées avait été établie (Figure 30). Cette dernière extraction permet d'obtenir pour chaque tranche horaire les caractéristiques environnementales des endroits où les anguilles n'étaient

pas mais où il aurait été possible de les trouver pendant l'heure considérée (cf. rayon de 600 mètres autour des présences). En effet, au vu des déplacements réalisés, 600 mètres correspond à la distance maximale parcourue par une anguille en une heure. Il n'était donc pas utile d'extraire les données environnementales de zones plus éloignées des présences établies.

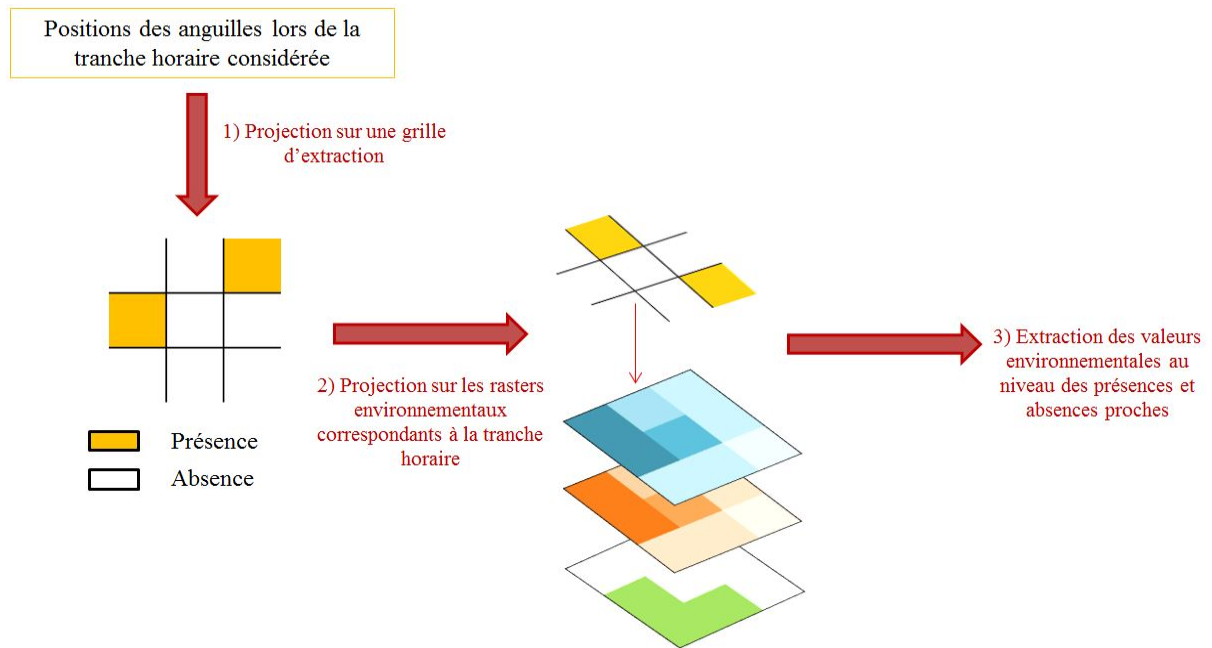


Figure 29: Illustration de la méthode d'acquisition de la base de données

La résolution de la grille a été choisie à l'aide du parcours réalisé en bateau (cf. 4.3.2) de sorte qu'il n'y ait pas de différences significatives entre les valeurs extraites en utilisant la trajectoire réelle (GPS) et celles extraites à partir de la trajectoire reconstruite par régression linéaire.

Une fois cette base de données obtenue, elle a été traitée à l'aide d'un modèle de régression additive où chaque terme est un arbre de décision simple : la méthode des « Boosted Regression Trees » (Elith, Leathwick, & Hastie, 2008) disponible sur le package « gbm » du logiciel R (R Development Core Team, 2005).

Cette méthode permet de relier un phénomène réponse (ici le nombre d'anguilles argentées dans chaque cellule de la grille, pondéré par le nombre d'anguilles présentes dans le lac), aux variables explicatives potentielles (ici les paramètres environnementaux). Les variables environnementales contribuant le plus à l'explication de la distribution des individus (contribution supérieure à 10%) ont été considérées comme des facteurs structurant la distribution des anguilles au sein du lac. Les valeurs de ces variables favorables à la présence des individus ont également été identifiées grâce au modèle établi.

5.2.2.2. Résultats

Le modèle obtenu expliquait 89% de la distribution des anguilles marquées en fonction des facteurs environnementaux choisis (cf. déviance résiduelle de 11%). La corrélation entre la prédiction du modèle et les données brutes était de 71%. La profondeur de l'eau contribuait à 90% à l'explication de la distribution des anguilles par le modèle. Les zones du lac où la profondeur est comprise entre 70 et 150 cm sont favorables à la présence d'anguilles argentées.

5.2.2.3. Discussion

Les résultats du modèle semblent suffisamment solides pour en tenir compte dans l'analyse des habitats préférentiels. Le fait que seule la profondeur semble impacter la distribution des individus marqués peut être expliqué par la grande plasticité de l'espèce (Baisez & Laffaille, 2005) que l'on retrouve dans des habitats très divers. Une profondeur comprise entre 70 et 150 cm permettrait aux anguilles argentées de diminuer la prédation venant de la surface (oiseaux piscivores) tout en évitant les phénomènes d'anoxie. De plus, on peut supposer que c'est à ces profondeurs que se trouvent des caches et refuges où les anguilles restent durant la journée. De même, au vu de la turbidité du lac, ces profondeurs garantissent un habitat avec une moindre luminosité.

Cependant, afin d'affiner la description des habitats préférentiels, d'autres variables devraient être prise en compte par le modèle afin d'en améliorer la prédiction. Par exemple, l'effet de la teneur en oxygène, du substrat, de la force des courants et de l'effort de pêche (pendant la période autorisée) sur la sélection de l'habitat par les anguilles argentées serait intéressant à étudier.

De plus, confronter le modèle mathématique utilisé avec d'autres modèles de niches écologiques permettrait de prendre du recul sur nos analyses. De même, l'erreur induite par la méthode de reconstruction des trajectoires ne permet pas d'accéder à une description très précise de l'environnement proche des présences supposées. La détermination précise des habitats préférentiels passera donc par une densification du réseau d'hydrophone et une amélioration des méthodes de reconstruction de trajectoires.

5.2.3. Etude des dernières détections

5.2.3.1. Méthodologie

Afin de quantifier le taux d'exploitation par la pêche des anguilles argentées et leur taux d'échappement, il était nécessaire de connaître la dernière position connue de l'ensemble des individus.

Une anguille argentée a été considérée comme pêchée après avoir été passée dans le lecteur PIT-TAG d'un des pêcheurs. Si la dernière détection d'un individu se situe en aval du vannage de Bouaye, l'individu a été considéré comme ayant réussi à quitter le lac. L'étude menée l'année précédente a en effet montré que les anguilles qui réussissaient à quitter le lac rejoignaient l'estuaire de la Loire sans encombre (Mazel et al., 2016). Enfin, la distinction a été faite entre les anguilles argentées détectées pour la dernière fois au sein du lac ou à proximité directe du vannage (jusqu'à 200 mètres dans les canaux en amont de l'ouvrage).

5.2.3.2. Résultats

Sur les 82 anguilles argentées marquées, 13 ont réussi à quitter le lac (11 femelles et 2 mâles), et 18 ont été pêchées (12 femelles et 6 mâles). Ainsi le taux d'exploitation par la pêche est de 21,95 % (23,1% des femelles et 20% des mâles) et le taux d'échappement est de 15,85% (21,2% pour les femelles et 6,7 % pour les mâles).

Les anguilles argentées qui ont quitté le lac ne l'ont pas toutes fait au même moment ni par le même passage. Quatre sont passées par la surverse du vannage : deux avant la première ouverture de ce dernier (du 06 au 10 mars) et deux entre la première et la deuxième ouverture (à partir du 15 mars) (Tableau 1 et Figure 31). Deux autres anguilles argentées ont quitté le lac par le seuil de Maison blanche entre la première et deuxième période d'ouverture. Six ont quitté le lac via le vannage pendant la première phase d'ouverture et une seule l'a fait pendant la deuxième.

Etat d'ouverture du vannage	Fermé avant le 06 mars		Ouvert du 06 au 10 mars		Fermeture intermédiaire		Ouvert après le 15 mars	
	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle
Surverse du vannage	1	1	0	0	0	0	0	0
Seuil de Maison Blanche	0	0	0	0	0	2	0	0
Vannage	0	0	1	5	0	2	0	1

Tableau 1: Récapitulatif des dates et voies de passage lors des échappements réalisés

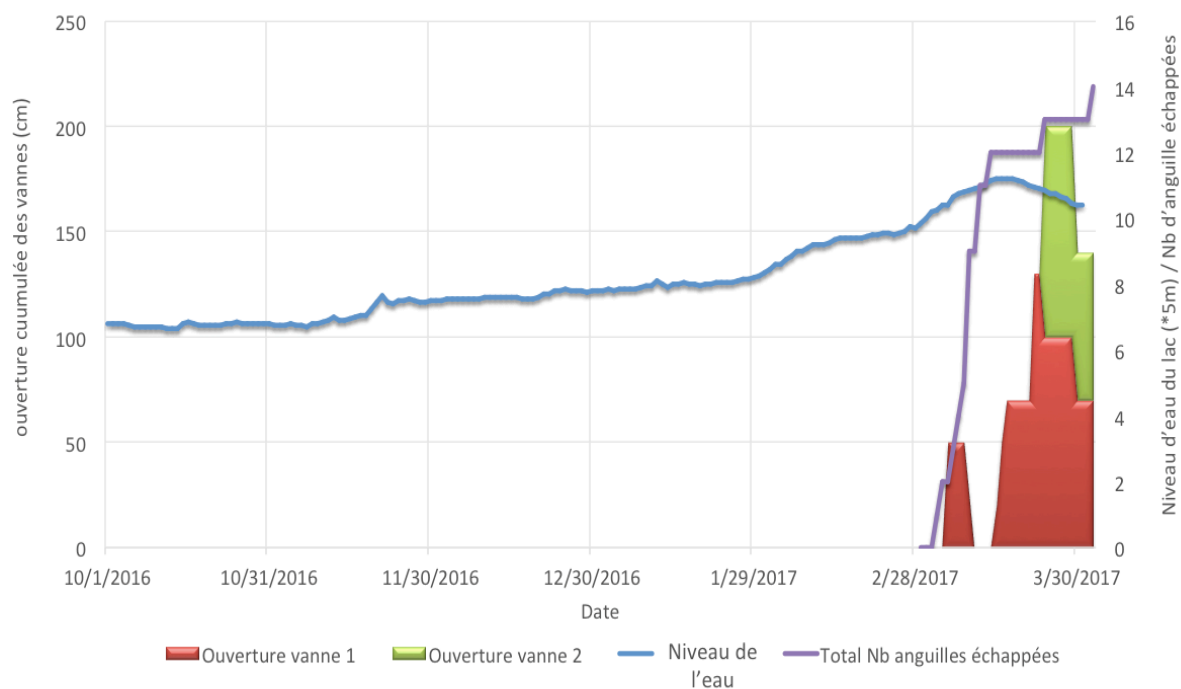


Figure 30: Évolution du nombre d'échappement en fonction du niveau de l'eau et de l'ouverture du vannage

Parmi les 51 anguilles argentées marquées restantes dans le lac, 3 femelles ont été entendues pour la dernière fois à proximité directe du vannage (Figure 32). 5 anguilles argentées femelles marquées l'année précédente ont également été détectées de façon ponctuelle sur le lac. Etant équipées avec des émetteurs de marque VEMCO, elles n'ont pas été détectées par les hydrophones THELMA. Leurs trajectoires n'ont donc pas été reconstruites et analysées.

La figure suivante permet de visualiser la dernière position des anguilles argentées marquées :

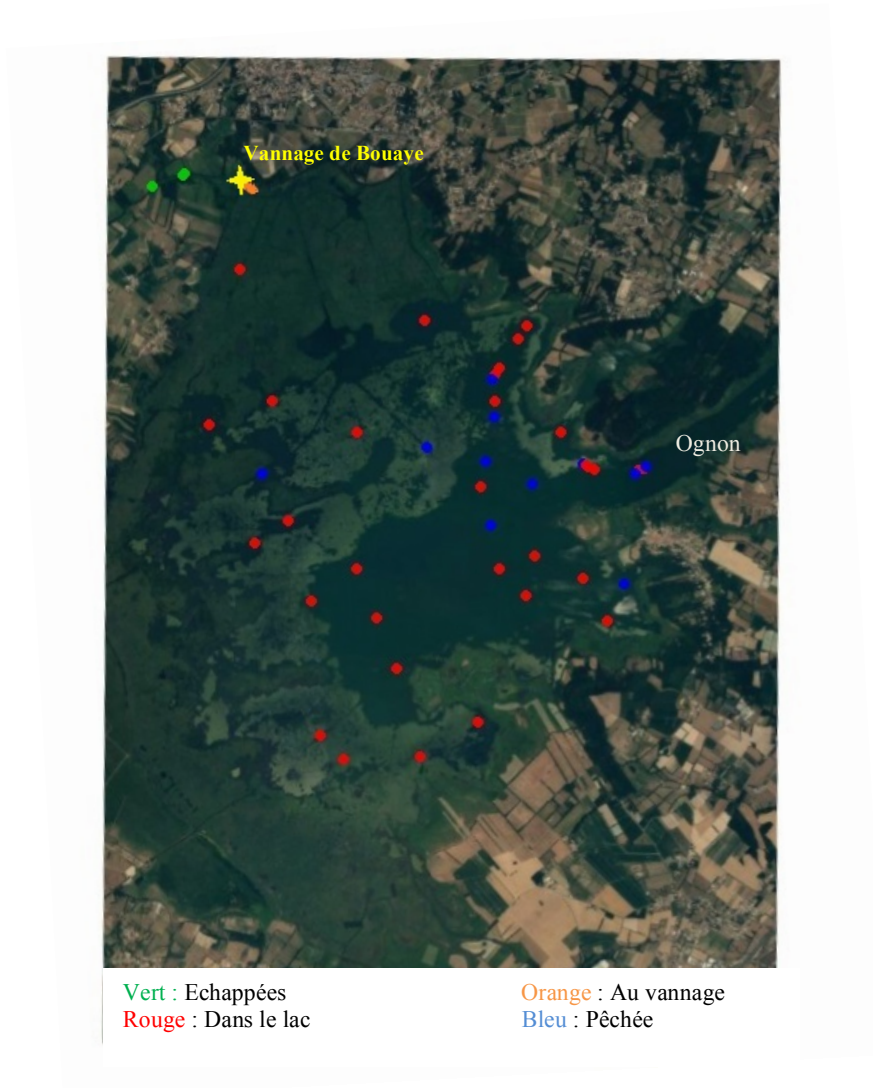


Figure 31: Positions des anguilles argentées marquées au 27 mars

Après étude des trajectoires, il est apparu qu'un tiers des anguilles argentées (28 anguilles : 24 femelles et 4 mâles) participant à notre étude ont été entendues moins de trente jours après leur relâche (Figure 33). Parmi ces 28 anguilles, dix ont été pêchées et une autre a été entendue pour la dernière fois devant le vannage. De plus, 9 femelles ont été entendues pour la dernière fois à l'entrée de l'Ognon moins de 30 jours après leur relâche.

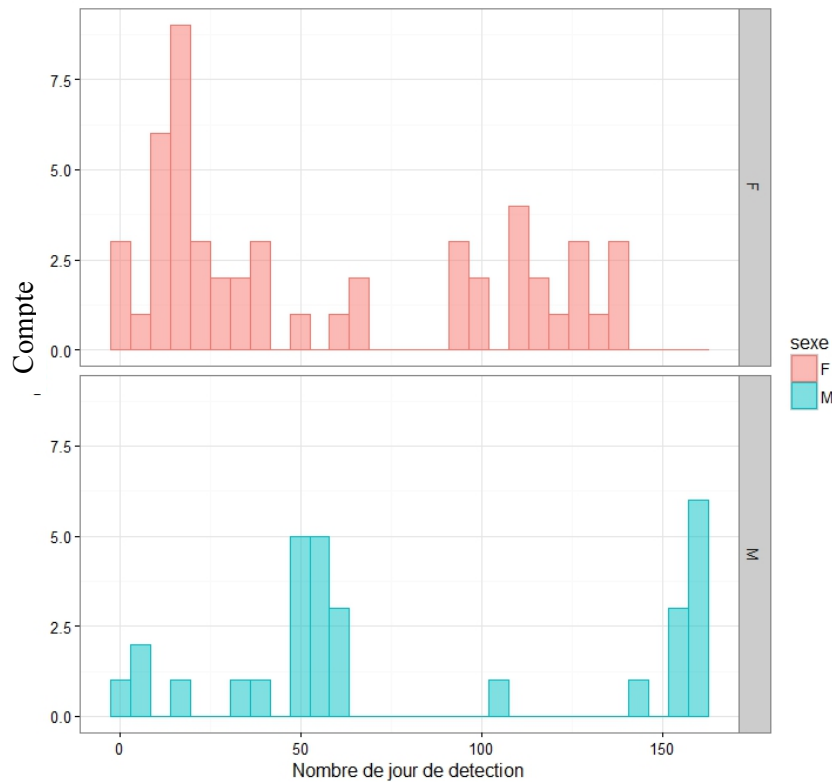


Figure 32: Comptage des anguilles argentées en fonction de la durée de leur détection

En ne considérant pas les anguilles argentées pêchées (leur faible durée d'écoute ne dépend pas de leur caractéristiques propres), un test ANOVA a permis de montrer que celles ayant été entendues moins de trente jours présentaient lors de leur marquage un moins bon état de santé externe (note moyenne d'état = 3,39 +/- 1,54) que celles entendues plus de trente jours (note moyenne d'état = 2,17 +/- 0,93) (p.value = 0,000234). De plus, le stade de maturité et l'impact du marquage n'ont significativement pas d'effet sur la perte de détection moins de 30 jours après relâche (respectivement p.value = 0,076 (pour les mâles) et p.value = 0,157 (pour les femelles) au test exact de Fischer et p.value = 0,151 à l'ANOVA)

5.2.3.3. Discussion

Si le taux d'anguilles argentées pêchées est similaire à celui obtenu lors de l'étude menée l'année dernière (20 % des anguilles argentées femelles marquées avaient été pêchées (Mazel, 2016), le taux d'échappement est inférieure (il était de 35%) et largement en dessous des 40% préconisés par le Plan de Gestion. Cependant, le taux d'échappement des mâles peut être largement faussé par l'absence de détections au mois de mars (perte de détections liée à la fin de vie des batteries), date des ouvertures successives du vannage. Il est possible que des mâles marqués aient quitté le lac pendant cette période. En effet, il a été montré lors d'autres études que les anguilles argentées mâles dévaleraient plus précocement que les femelles : ils compenseraient leur moindre capacité de nage liée à leur plus petite taille par un départ anticipé afin d'être en mer des Sargasses en même temps que les femelles (D. Righton et al., 2012). Si ce phénomène est avéré, les mâles seraient sortis du lac avant la fin de vie des batteries de leur émetteur et leur échappement aurait été détecté.

L'ouverture du vannage semble avoir été favorable à l'échappement car la majorité des anguilles ayant quitté le lac l'ont fait pendant cette période. Cependant, il est nécessaire de savoir si cet échappement est limité par l'ouvrage : notre analyse précédente, ne s'intéresse en effet qu'aux anguilles argentées ayant réussi à quitter le lac et non pas à l'ensemble de celles ayant tenté de le faire. L'analyse des tentatives de franchissement de l'ouvrage a été faite lors de l'étude de la stratégie

d'échappement (cf. 5.3.2). On remarquera également l'échappement des anguilles argentées par le seuil de Maison Blanche. Cette voie, accessible uniquement pour une côte du lac dépassant 1m80, n'avait pas été utilisée par les anguilles marquées l'année précédente alors que le niveau de l'eau en permettait l'accès. On peut supposer que les anguilles ne trouvent pas facilement cet exutoire ou que l'ouvrage n'est pas favorable au franchissement par les anguilles (faible débit par exemple). Une autre hypothèse est que la période de fermeture prolongée du vannage cette année ait amenée les anguilles argentées suivies à trouver d'autres exutoires au lac. Les périodes d'ouvertures des vannes l'année dernière avaient peut être été plus propices à la dévalaison et n'avaient ainsi pas abouti à de tels comportements. Afin de tester ces hypothèses, il aurait été intéressant d'étudier quand et combien d'individus ont fréquenté la zone proche du seuil de Maison Blanche au cours des deux études.

L'étude des dernières détections a également permis d'en savoir plus sur les anguilles argentées marquées n'ayant pas quitté le lac. Sans tenir compte des anguilles prélevées par la pêche, 18 ont été entendues moins de trente jours : elles peuvent être restées dans des zones où les détections n'étaient pas bonnes, mais cette hypothèse semble peu probable au vu des longs déplacements journaliers généralement réalisés et de la densité du réseau d'hydrophones. La prédation ou la mort liée à leur état de santé pourrait expliquer cette perte de détection précoce.

La colonisation du réseau amont était également inattendue. En effet, le fait que des anguilles argentées remontent le courant d'un affluent peut paraître paradoxal puisqu'elles sont censées dévaler vers la mer. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce phénomène : il est possible que les anguilles argentées ayant remonté dans l'Ognon ne présentent pas un degré d'argenture suffisant pour la dévalaison (cf. 5.2.1) et que leur comportement s'inscrive dans la recherche d'habitat optimum lors de leur vie continentale. Cependant sur les 9 anguilles ayant rejoint l'Ognon moins de trente jours après leur marquage, 5 étaient au stade V, 1 au stade IV et 3 au stade III. Le degré d'argenture ne semble ainsi pas rentrer en ligne de compte. On peut également supposer que la remontée de l'affluent est causée par la recherche frénétique d'un exutoire au lac. Les anguilles argentées concernées ne sont pas redescendues dans le lac. Une d'entre elles a été pêchée par un pêcheur amateur (l'anguille a mordu à une ligne appâtée ce qui suggère une nouvelle fois (cf. 5.2.1) que certaines continuent de chasser) dans l'Ognon mais le devenir des 8 autres est inconnu.

Ainsi, en considérant les 18 anguilles marquées pêchées, les 13 ayant quitté le lac, les 9 ayant remonté l'Ognon et les 9 potentiellement mortes dans les 30 jours post-marquage, 33 anguilles marquées sont encore potentiellement vivantes dans le lac. Cependant, comme évoqué précédemment, des mâles ont pu quitter le lac ou remonter l'Ognon sans que cela soit détecté.

5.3. Etude de la stratégie d'échappement

5.3.1. Détermination des facteurs déclencheurs de la migration

5.3.1.1. Méthodologie

Après avoir étudié le comportement pré-migratoire des anguilles argentées suivies, nous avons étudié leur stratégie d'échappement et notamment les facteurs déclencheurs de cette migration. Si ces facteurs sont bien identifiés en rivière, ils ont été peu étudiés en milieu lacustre. Dans les rivières, la diminution de la température et de la pression atmosphérique (Jellyman, 1991; Lowe, 1952 ; Okamura et al., 2002, Todd, 1981), la variation de la salinité (Hain, 1975), les précipitations (Vøllestad et al., 1986), l'augmentation du niveau de l'eau (Todd, 1981) et du courant (Deelder, 1954) ainsi que l'influence de la lumière (Deelder, 1954, Lowe 1952), du cycle lunaire (Deelder, 1954, Lowe, 1952, Okamura et al., 2002) et des microséismes (Deelder, 1954; Lowe, 1952) sont des facteurs susceptibles de provoquer la dévalaison.

Comprendre quels sont les facteurs déclencheurs de la migration en milieu lacustre permet :

- D'apporter des connaissances à la biologie de l'espèce dans un milieu particulier
- D'apporter des éléments pour favoriser l'ouverture des ouvrages entravant la continuité écologique de ces milieux lors des fenêtres environnementales favorables à la migration des anguilles argentées.

Au sein d'un lac de la taille de Grand-Lieu, les variations de niveau de l'eau et d'intensité du courant sont moins rapides et de moindre ampleur qu'en rivière. Cependant, lors de l'étude précédente menée en 2015, il a été montré que la hausse significative du niveau de l'eau (> 5cm/jour), l'ouverture du vannage et le courant ont joué un rôle dans le déclenchement de la migration (Trancart et al., 2017). Afin de vérifier que les facteurs déclencheurs de la migration sont les mêmes d'une année sur l'autre malgré la variabilité des événements climatiques, le test a été reconduit cette année.

Les variables climatiques journalières considérées (hauteur cumulée des précipitations, température moyenne, pression atmosphérique moyenne en mer, vitesse et orientation du vent) ont été fournies par la Station Météo France de Nantes. Le niveau d'eau journalier du lac ainsi que la hauteur d'ouverture du vannage pour chaque jour de l'étude ont été fournis par le Syndicat d'Aménagement Hydraulique.

Le lac a été « découpé » en 4 zones : la zone centrale du lac (1), les canaux (2), la zone à proximité directe du vannage (3) et afin l'Acheneau (4) (Figure 34). Grâce aux trajectoires préalablement reconstruites, les présences et absences au sein de chacune de ces zones ont été établies pour chaque jour de l'étude et pour chaque anguille. Cela a permis de savoir quand une anguille était passée d'une zone à une autre.

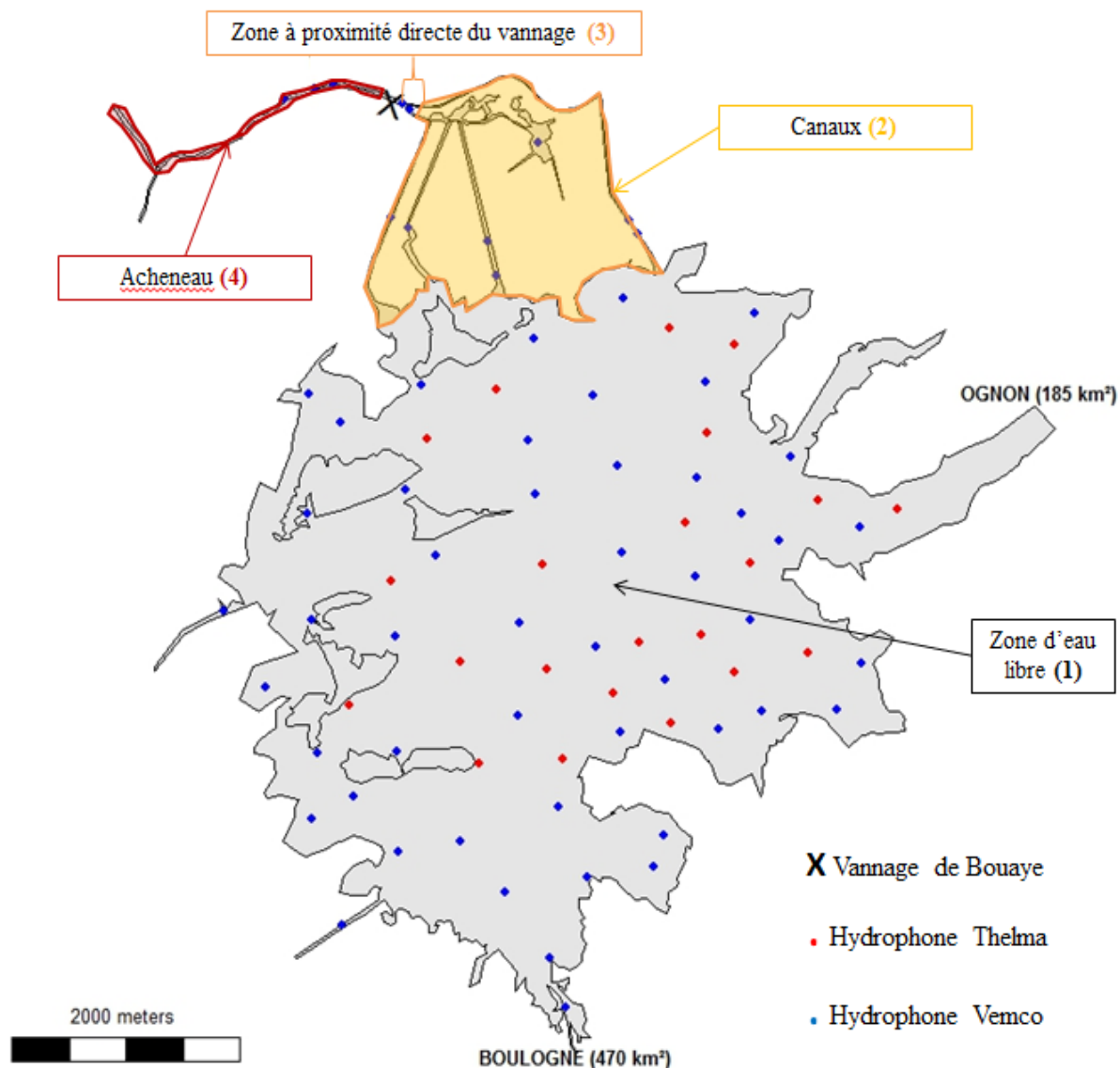


Figure 33: Délimitation des zones au sein du lac de Grand-Lieu pour caractériser les facteurs de déclenchements de la migration des anguilles argentées lors de leur passage d'une de ces zones à celle plus en aval.

Pour identifier les facteurs déclencheurs de la migration, le lien existant entre le passage d'une zone donnée à la zone en aval avec les facteurs environnementaux journaliers a été étudié grâce aux Boosted Regression Trees (cf.2.3.3). Plus précisément, ce sont les relations entre les passages de la zone n à la zone n+1 avec les facteurs environnementaux ayant lieu avant chaque passage qui ont été étudiées. Ainsi trois modèles ont été réalisés pour :

- Identifier les facteurs entraînant le passage de la zone centrale du lac (1) aux canaux (2)
- Identifier les facteurs entraînant le passage des canaux (2) au vannage (3)
- Identifier les facteurs entraînant le passage du vannage (3) à l'Acheneau (4)

La performance des trois modèles réalisés a été évaluée via la déviance résiduelle obtenue (part non expliquée par le modèle), la force des corrélations entre les prédictions du modèle et les données brutes ainsi que « l'aire sous la courbe » (AUC). La valeur de cette dernière variable varie entre 0 et 1 : si l'AUC vaut 1, la prédiction par le modèle du phénomène à expliquer est jugée bonne.

Une valeur de 0,5 implique que la qualité de la prédiction faite par le modèle est équivalente à celle qu'on aurait faite au hasard. Enfin, une valeur proche de 0 indique que la qualité de la prédiction réalisée est moins bonne que celle qui aurait été faite au hasard.

Pour chaque modèle, les variables environnementales contribuant le plus à l'explication du passage (contribution supérieure à 10%) ont été considérées comme des facteurs déclencheurs de ce dernier. Les valeurs favorables aux passages de chaque zone ont également été identifiées grâce aux modèles établis.

5.3.1.2. Résultats

Le premier modèle permettait d'expliquer le passage de la zone centrale du lac aux différents canaux en fonction des paramètres environnementaux. Ce modèle expliquait 85,9% (cf. déviance résiduelle de 14,1%) du passage considéré en fonction des facteurs environnementaux choisis. Le modèle présentait une corrélation de 11,3% et un score pour l'AUC de 0,748. Le niveau de l'eau, la pression atmosphérique et la hauteur cumulée des précipitations contribuaient respectivement à 57,7%, 13,9% et 12,2% de l'explication du passage étudié (Figure 35). Ainsi, d'après ce modèle, un niveau d'eau supérieur à 210 cm, des pressions atmosphériques inférieures à 1000 hPa et une hauteur journalière de précipitation supérieure à 7 mm sont des facteurs favorisant le passage des anguilles argentées du centre du lac vers les canaux.

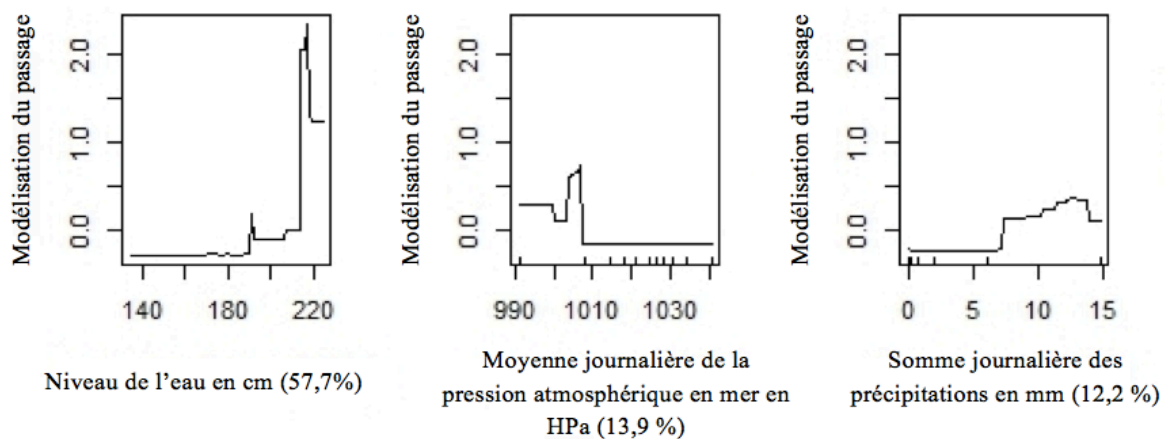


Figure 34: Résultats des BRT pour la modélisation du passage de la Zone 1 à la Zone 2. Pour chaque variable : Pour $y > 0$ = La variable est favorable au passage ; Pour $y < 0$ = La variable est non favorable au passage

Le lien entre le passage des canaux au vannage et les facteurs environnementaux a été étudié dans le second modèle. Ici le modèle expliquait 88,7 % de ce passage et avait une corrélation de 21% et un score à l'AUC de 0,809. Le niveau de l'eau et la pression atmosphérique contribuaient respectivement à 54,6% et 21,9% de la prédiction du passage considéré (Figure 36). Un niveau d'eau supérieur à 190 cm et une pression atmosphérique inférieure à 1000 hPa engendreraient le déplacement des anguilles argentées vers le vannage depuis les canaux.

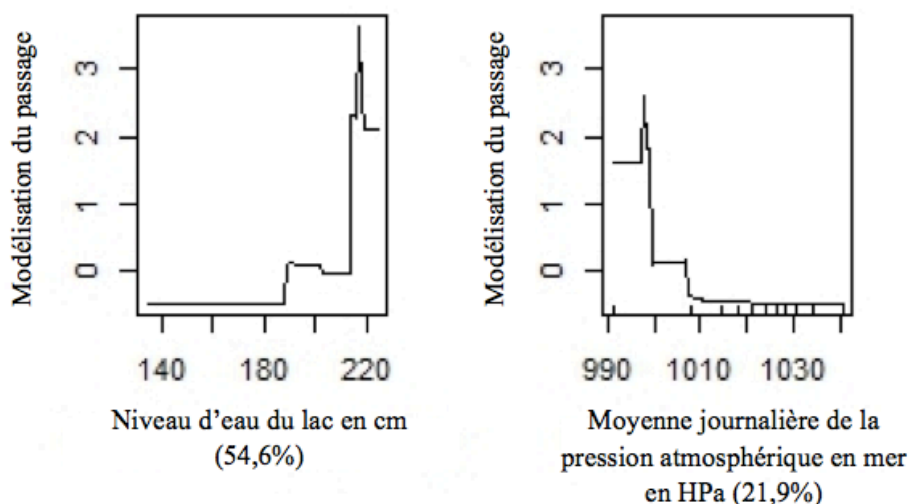


Figure 35 : Résultats des BRT pour la modélisation du passage de la Zone 2 à la Zone 3.
 Pour chaque variable : Pour $y > 0$ = La variable est favorable au passage ; Pour $y < 0$ = La variable est non favorable au passage

Enfin, les facteurs environnementaux entraînant le franchissement du vannage par les anguilles argentées ont été abordés lors d'un dernier modèle. Le modèle expliquait 96% de ce dernier passage. La corrélation était de 34% et l'AUC de 0,919. Le niveau de l'eau et la vitesse du vent contribuaient respectivement à 62,9% et 19,1% du modèle (Figure 37). Les conditions entraînant le franchissement du vannage étaient un niveau d'eau supérieur à 200 cm et un vent dont la vitesse serait inférieure à 3 m/s.

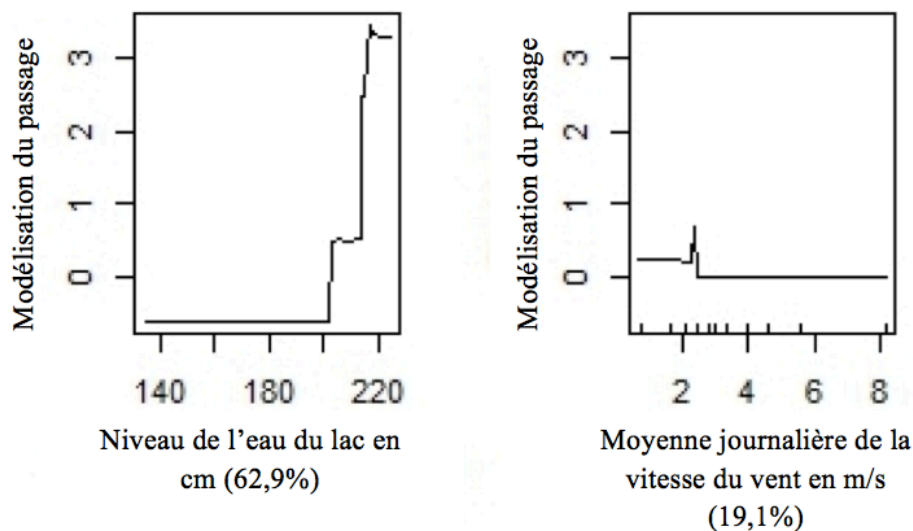


Figure 36 : Résultats des BRT pour la modélisation du passage de la Zone 3 à la Zone 4.
 Pour chaque variable : Pour $y > 0$ = La variable est favorable au passage ; Pour $y < 0$ = La variable est non favorable au passage

5.3.1.3. Discussion

Les deux derniers modèles présentent un score d'AUC suffisamment élevé pour que leurs résultats soient pris en compte dans notre analyse. Il semble qu'un niveau d'eau suffisant pour dévaler soit l'événement majeur dans le déclenchement de la migration. Cela signifie que c'est ce paramètre qui a joué sur l'accès au vannage et à l'Acheneau. On suppose que cela est lié à l'accessibilité de la surverse du vannage, qui n'est possible que si le lac atteint une côte supérieure à 1m90. Les événements climatiques, dépression atmosphérique, vent et précipitations, jouent également un rôle dans ce phénomène.

On remarque qu'un certains nombres de facteurs sont liés. En effet, les dépressions accompagnées de pluies sont en partie responsables de la hausse du niveau d'eau qui permet d'atteindre un niveau favorable à la migration.

En 5.2.3.3, on émettait l'hypothèse d'une migration précoce de la part des mâles. Cependant, l'atteinte tardive d'un niveau d'eau suffisant suppose que les mâles n'ont pas dévalés avant les femelles par manque de facteurs déclencheurs majeurs. Néanmoins, on peut émettre l'hypothèse que les mâles ne sont pas forcément réceptifs aux mêmes facteurs déclencheurs que les femelles. Des analyses réalisées par sexe permettraient d'étudier d'éventuelles différences.

L'année dernière l'un des déclencheurs majeurs de la dévalaison était l'augmentation du niveau de l'eau (Trancart & al, 2017). On suppose que cette année, cette augmentation n'a pas été significative pour être un déclencheur. De plus, contrairement à l'année dernière, l'ouverture du vannage n'est pas un facteur déclenchant la dévalaison. On émet l'hypothèse que l'ouverture des vannes l'année dernière (une ouverture continue et importante) a eu lieu lors de la montée des eaux du lac et qu'ainsi l'échappement s'en est trouvé déclenché et facilité. Cette année est une année particulièrement sèche et l'augmentation du niveau d'eau du lac particulièrement tardive. L'ouverture n'étant pas possible du fait du trop faible niveau d'eau, elle a été discontinuée, tardive et de moindre ampleur que l'année précédente.

Ainsi, on retrouve parmi les déclencheurs de la migration des phénomènes déjà observés en rivière (Todd, 1981; Vøllestad et al., 1986). Cependant, il serait intéressant d'étudier l'impact des séismes, des phases lunaires, de la nébulosité et du courant en milieu lacustre pour pouvoir davantage comparer le déclenchement de la dévalaison entre ces deux milieux.

Comme suggéré en 5.2.1.3, il serait intéressant d'étudier plus précisément le lien entre activité natatoire, orientation des déplacements et facteurs déclencheurs de la migration. En effet, en rivière, l'augmentation de l'activité natatoire a pu être liée à certains phénomènes de crues ou aux phases lunaires par exemple (Lowe, 1952 ; Vøllestad & al, 1986). On peut supposer que par effet mécanique, le courant influe sur l'orientation des individus. L'hypothèse mériterait d'être vérifiée afin de savoir si d'autres paramètres impactent également l'orientation des anguilles argentées lors de leur recherche d'un exutoire.

5.3.2. Etude des tentatives de passage du vannage

5.3.2.1. Méthodologie

Afin de mieux comprendre l'impact du vannage sur la migration de dévalaison, une étude concernant les tentatives de franchissement de l'ouvrage par les anguilles argentées a été réalisée. En effet, le calcul d'un taux d'échappement ne permet pas de connaître le pourcentage d'anguilles argentées qui ont tenté de franchir le vannage mais seulement le nombre qui a réussi à le faire. Or, il est important de comprendre dans quelles mesures le vannage et sa gestion impactent l'échappement des anguilles du lac pour pouvoir proposer des mesures visant à rendre compatibles la dévalaison et la gestion anthropique des niveaux de l'eau.

Tout passage dans la zone à proximité directe du vannage (jusqu'à 200 mètres en amont) a été considéré comme étant une tentative d'échappement. En effet, on émet l'hypothèse que la présence d'une anguille à cet endroit signifie la recherche d'un exutoire. Pour chaque anguille, le nombre, la date, l'heure et l'état d'ouverture du vannage ont été relevés et comptabilisés lors de chaque tentative de franchissement de l'ouvrage.

5.3.2.2. Résultats

Au cours de notre étude, 40 tentatives de passage du vannage ont été réalisées par 19 anguilles argentées marquées (14 femelles et 5 mâles). Le nombre moyen de tentatives est de 2,11 (écart type de 1,63). La tentative la plus précoce a eu lieu le 20 novembre et la plus tardive le 24 mars. Lors de ces 40 tentatives, les anguilles argentées sont toutes arrivées à l'exutoire de nuit à l'exception d'une seule fois. Cependant, les anguilles sont parfois restées plusieurs jours entiers devant l'ouvrage.

Au sein des 19 anguilles argentées de notre étude qui ont tenté de franchir le vannage, on retrouve les 13 qui ont réussi à quitter le lac : les 11 qui sont passées par la surverse ou par les vannes mais aussi celles qui sont passées par Maison Blanche. Les deux anguilles concernées par ce dernier cas de figure ont toutes les deux réalisé deux tentatives de franchissement du vannage avant de réussir à quitter le lac par une autre voie.

Parmi les 6 anguilles ayant tenté de franchir le vannage mais n'ayant pas réussi à quitter le lac, 3 ont été détectées pour la dernière fois à proximité directe de l'ouvrage. Ces 6 anguilles ont toutes tenté de passer le vannage avant son ouverture.

Aucune des anguilles argentées marquées ayant été pêchées n'avaient tenté auparavant de franchir le vannage.

Sur les 40 tentatives effectuées, seulement 7 ont été réalisées pendant l'ouverture du vannage dont une seule après l'ouverture importante effectuée le 15 mars. Toutes les anguilles ayant tenté de passer le vannage lorsqu'il était ouvert ont réussi à le faire du premier coup (Figure 38).

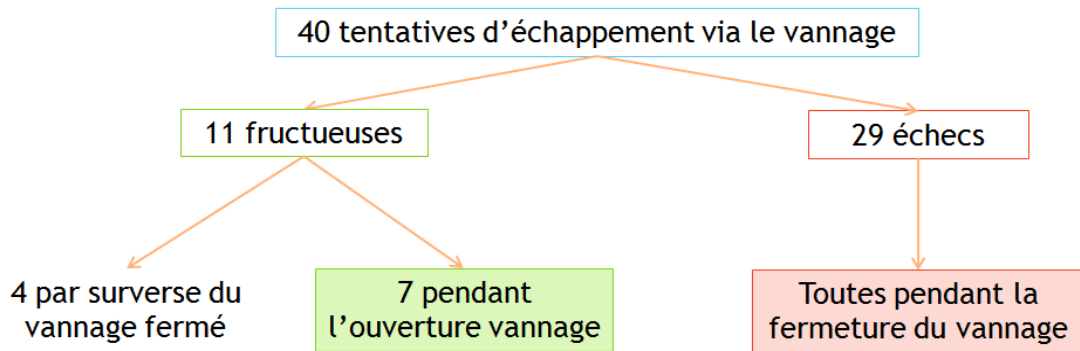


Figure 37: Schéma bilan des tentatives de franchissement du vannage en lien avec son ouverture/fermeture

5.3.2.3. Discussion

L'analyse des tentatives montre le rôle limitant du vannage dans la dévalaison. En effet, l'ouverture des différentes vannes a été faite trop tardivement pour permettre l'échappement de toutes les anguilles argentées qui ont tenté de le franchir.

Si on considère que chaque anguille qui tente de franchir l'ouvrage pendant son ouverture arrive à le faire alors l'échappement aurait été de 27% pour les femelles au lieu de 23%. Pour les mâles, leur perte de détection avant la fin de période d'étude suggère que des tentatives ont pu être faites en mars sans qu'elles soient détectées. Sans le vannage, le taux d'échappement des femelles aurait tout de même été inférieur à celui préconisé par le Plan de Gestion (40% préconisé).

Ainsi, la bonne adéquation entre l'ouverture du vannage et les facteurs déclencheurs de la migration est primordiale pour permettre un échappement optimum. Le vannage, si il est ouvert au bon moment, ne semble pas être un obstacle pour les anguilles argentées du lac.

En tenant compte des résultats des deux années d'études, l'ouverture du vannage devrait être faite de façon importante et continue lors des épisodes climatiques (dépression et précipitations) engendrant l'augmentation du niveau de l'eau et l'atteinte d'une côte suffisante du lac. Lors d'une année dite « normale », de tels événements sont attendus en automne et en hiver. Cependant, au vu des changements climatiques, on peut supposer un décalage dans le temps : cette année en est un exemple (Figure 39).

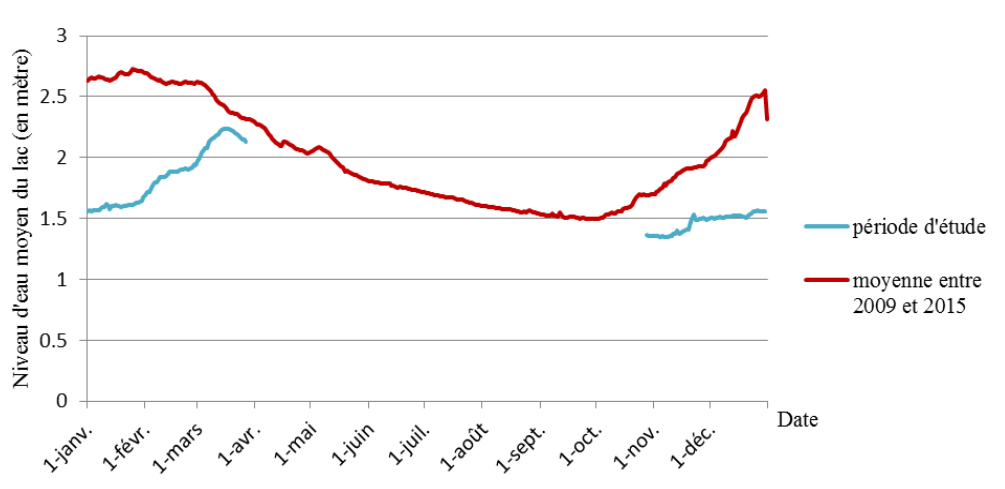


Figure 38: Niveaux d'eau en fonction du temps pour la période d'étude et en moyenne entre 2009 et 2015

5.3.3. Comparaison des anguilles marquées selon la réussite de leur échappement

5.3.3.1. Méthodologie

Le suivi télémétrique des anguilles argentées a permis d'identifier les individus ayant réussi à quitter le lac et ceux y étant restés. Cela a permis de considérer les différences, tant biométriques que comportementales, entre les individus de ces deux groupes afin d'émettre des hypothèses concernant les déterminants de la réussite de l'échappement.

En effet, on pourrait penser que les anguilles argentées les plus imposantes et les plus avancées dans leur maturité sont celles ayant réussi et/ou tenté de quitter le lac. De même une anguille argentée en meilleure santé ayant parcouru davantage de distance dans le lac pourrait avoir plus de chance qu'une autre de trouver l'exutoire du lac et de réussir son retour en mer.

5.3.3.2. Résultats

A partir des données recueillies lors des campagnes de marquages et des informations obtenues lors des points précédents, les anguilles ont été comparées à l'aide de tests paramétriques (ANOVA, test exact de Fischer) et non paramétriques (Kruskall-Wallis) (avec $\alpha = 5\%$) selon leur réussite en terme d'échappement. Cette comparaison est faite sur la base de critères morphologiques (taille, poids, teneur en graisse, stade d'argenture, sexe), sanitaires et comportementaux (distance parcourue dans le lac (hors période post-marquage), nombre de tentative d'échappement).

Au vu du faible échappement réalisé par les mâles lors de l'étude et leur perte de détection avant la fin de l'étude, la comparaison entre les anguilles argentées ayant quitté le lac et les autres a été réalisée uniquement pour les femelles.

D'un point de vue morphologique, les anguilles femelles sorties du lac avaient un poids significativement plus élevé lors de leur marquage que celui de celles entendues pour la dernière fois dans le lac (ANOVA, p.value = 0,03026). Cependant elles ne présentaient pas de différences significatives en terme de taille (ANOVA, p.value = 0,143) de teneur en gras (ANOVA, p.value = 0,948) ou de stade d'argenture (test exact de Fisher, p.value = 0,13).

Il n'y avait pas de différences significatives entre l'état de santé externe des anguilles femelles ayant quitté le lac et celui des autres (ANOVA, p.value = 0,268).

Après étude de leur comportement pré-migratoire, il s'est avéré ne pas y avoir de différences significatives entre la distance parcourue par jour (hors période post marquage) par les anguilles femelles ayant quitté le lac et celle réalisée par les autres (ANOVA, p.value= 0,06075). Enfin, les anguilles étant sorties du lac ont significativement plus tenté de passer le vannage que celles ayant été entendues pour la dernière fois dans le lac ou ayant été pêchées (test ANOVA, p.value= 1,325e-08). La différence n'est pas significative entre le nombre de tentatives réalisées par les anguilles s'étant échappées et celui réalisé par les anguilles dont la dernière détection est à proximité directe du vannage.

5.3.3.3. Discussion

Tout d'abord, notons que lors de cette analyse, les termes migrants/ non migrants non pas été utilisés. En effet, comme suggéré en 5.2.1.2, il n'est pas impossible que les individus marqués soient des anguilles ayant déjà entamées leur migration à partir du réseau hydrographique amont. On pourrait alors parler de comparaison de stratégie gagnante/ non gagnante en terme de réalisation de l'échappement. Cependant, la comparaison faite précédemment ne tient pas compte uniquement de la stratégie mise en place pour sortir du lac mais également de paramètres biométriques.

Les résultats montrent une différence de poids mais pas de taille ni de teneur en gras entre les anguilles argentées femelles sorties du lac et les autres. Cela suggère que les premières sont plus musclées que les deuxièmes. Il est possible qu'une teneur plus élevée en muscle améliore les capacités natatoires et donc exploratoires des individus qui ainsi, arriveraient d'autant mieux à sortir du lac.

L'absence de différence de stade d'argenteure entre les anguilles ayant quitté le lac et les autres permet de dire que les anguilles argentées peuvent dévaler quels que soient leurs stades (cf. 5.2.1.2).

La différence significative dans le nombre de tentative de franchissement du vannage mais pas dans la distance moyenne parcourue par jour dans le lac laisse supposer que l'ensemble des individus a exploré le lac mais que certains seulement en ont trouvé l'exutoire. On peut se demander si cela est dû au hasard ou à d'autres facteurs tels que la perception de signaux environnementaux engendrant l'orientation vers le vannage. Il a par exemple été montré que la perception de la salinité avait un rôle dans l'orientation des anguilles argentées lors de leurs migrations (Barbin, Parker, & McCleave, 1998).

6. Conciliation des besoins biologiques du pool de migrateur avec les enjeux socio-économiques du lac

6.1. La réalisation d'entretiens semi-directifs avec les acteurs du territoire

Les deux études menées par le MNHN permettent l'acquisition de nouvelles connaissances relatives aux besoins biologiques des anguilles argentées du lac de Grand-Lieu et plus généralement, de mieux comprendre les modalités de migration et d'orientation des anguilles argentées en système lacustre.

D'après les résultats annoncés dans les parties précédentes, le niveau de l'eau, l'ouverture et les modalités de gestion du vannage, ainsi que la qualité de l'eau, semblent être trois points clés qui garantissent l'accès et la qualité des habitats à une population d'anguilles abondante et saine. Le bon déroulement de la migration d'avalaison des anguilles argentées est également inhérent à ces leviers.

Ainsi, à court terme, il est important de savoir quand et comment ouvrir le vannage afin que la fraction argentée puisse migrer dans de bonnes conditions. A plus long terme, c'est la bonne qualité de l'habitat de l'anguille européenne qui doit être atteinte afin de garantir la pérennité de l'espèce.

Or, en replaçant l'étude dans son contexte géographique (cf. 3.1), le lac de Grand-Lieu est apparu comme un endroit riche en biodiversité mais dont le fonctionnement est complexe. Il semblerait que la gestion du niveau du lac soit un point sensible qui cristallise les tensions entre les différents acteurs et usagers. En effet c'est cette gestion qui doit permettre à toutes les activités sur et autour du lac de coexister. Cependant, la situation, si elle permet de trouver un potentiel compromis entre les acteurs, met à mal la continuité écologique primordiale pour la réalisation de l'échappement de l'anguille (cf. 5.3.2.3).

Une problématique se pose alors : comment et dans quelles mesures certaines pratiques conditionnant la qualité de l'eau ainsi que le niveau d'eau et sa gestion, peuvent-elles être modifiées pour satisfaire les besoins de tous et respecter les préconisations du Plan de Gestion Anguille ?

Pour répondre à cette problématique, il était nécessaire de bien saisir le contexte et les enjeux socio-économiques du lac ainsi que les liens forts entre ce territoire et les activités qui en dépendent. Des entretiens thématiques, semi-directifs et individuels ont été réalisés à l'aide d'un guide d'entretien (disponible en Annexe 2) élaboré en amont et validé par la direction du CRESCO ainsi que Marieke Blondet, anthropologue travaillant à AgroParisTech.

Le guide se composait d'une partie commune à l'ensemble des acteurs et de questions plus précises portant sur des aspects plus spécifiques au type d'acteur interrogé. Cinq thématiques (perception de l'évolution du lac, enjeux prioritaires, qualité de l'eau, gestion des niveaux de l'eau et communication entre les acteurs) ont été abordées de façon à comprendre le lien entre les activités de chacun et le lac ainsi que les attentes des acteurs vis-à-vis de la gestion de celui-ci. L'analyse des entretiens devait permettre de décrire le contexte et les enjeux socio-économiques. En effet, l'analyse par thématique contribuera à identifier les points de blocage, les tensions et les leviers éventuels permettant à terme d'optimiser l'échappement des anguilles tout en pérennisant de manière durable les activités socio-économique sur et autour du lac. Des questions spécifiques aux anguilles argentées ont été également posées aux pêcheurs afin de bénéficier de leurs connaissances et pouvoir en tenir compte dans la discussion de nos résultats.

Les personnes interrogées étaient celles identifiées comme faisant partie des catégories principales d'acteurs du lac (voir liste des contacts). Les activités de ces personnes sont en effet dépendantes et/ou en lien direct avec le lac et son fonctionnement. Ainsi, pêcheurs professionnels, chasseurs, agriculteurs, gestionnaires (président du SAH, membres des deux réserves naturelles) et personnes représentantes de certains services de l'Etat (SBV, AFB (ex ONEMA), SMIDAP, DREAL) ayant trait

avec ce milieu, ont été interrogés. Au total, 15 entretiens ont été réalisés selon le guide établi. Au sein de chaque catégorie, les personnes ont été choisies en fonction de la facilité à obtenir leurs coordonnées et un rendez-vous. Pour les agriculteurs, on a veillé à interroger des personnes de communes différentes afin d'étudier la diversité des opinions vis-à-vis de la gestion du lac en fonction de la proximité avec ce dernier.

Dans la mesure du possible, les entretiens n'ont pas été réalisés dans le cadre de la représentation de structures fédérant des catégories socio-professionnelles (coopératives de pêche par exemple) afin d'avoir une idée précise de la diversité de points de vue sur les thèmes abordés. Ceci n'exclut pas le fait d'avoir rencontré les représentants de ces structures mais ces derniers ont été invités à donner leur avis personnel.

La restitution d'une partie des résultats de cette étude a eu lieu devant un certain nombre (liste en Annexe 3) d'acteurs impliqués dans ce projet de recherche lors du Comité de Pilotage réalisé à Nantes le 09 Juin. Cette réunion aura également permis d'échanger sur les thématiques évoquées.

6.2. Analyses thématiques des entretiens

6.2.1. La perception de l'évolution du lac et des marais

Dans cette partie, les analyses de la perception de l'évolution du lac et celle des marais ont été faites séparément. En effet, certains acteurs et usagers connaissent seulement l'un ou l'autre des territoires.

Les personnes allant régulièrement sur le lac sont unanimes : le lac a perdu une grande partie de sa végétation. Certaines qualifient même le lac de « désert ». Selon ces usagers cette réduction de la flore serait fortement liée à la diminution de la qualité physico-chimique de l'eau et à l'arrivée de certaines espèces exotiques envahissantes (comme le ragondin et l'écrevisse de Louisiane) qui déstabilisent les berges et consomment les végétaux. Dans les entretiens, le fait que la qualité de l'eau soit moins bonne qu'il y a trente ans revient fréquemment. Cependant, les acteurs ont presque tous précisé que pour eux, la qualité de l'eau tend à s'améliorer significativement ces 5 dernières années (eau plus claire, moins de blooms algaux etc.).

Les agriculteurs interrogés se sont exprimés sur l'évolution des marais qu'ils fréquentent régulièrement. Pour eux, la qualité des marais a diminué au fil des ans. Ils déplorent notamment l'arrivée de la jussie et des écrevisses de Louisiane dans les marais. Certains lient d'ailleurs cette colonisation à la perte de certains végétaux. Cependant, d'autres expliquent que la gestion des niveaux de l'eau, en favorisant des niveaux hauts, a favorisé cette perte et impacté la qualité de l'eau. Pour ces derniers, la qualité de l'eau est moins bonne car, l'eau, en stagnant trop longtemps dans les marais au printemps, se réchauffe fortement et devient « un véritable bouillon ».

La gestion des niveaux d'eau a également évolué et certains remarquent qu'elle est déjà moins défavorable à l'agriculture que celle exercée il y a 20 ans. La communication autour de cette gestion a également changé puisque d'après les personnes interrogées, il est davantage possible de se concerter entre acteurs.

6.2.2. Les enjeux prioritaires pour améliorer/maintenir le bon fonctionnement du lac

Afin de mieux comprendre comment les différents acteurs perçoivent les enjeux prioritaires pour assurer le bon fonctionnement du lac, il leur a été demandé de citer ces enjeux et de les classer.

De manière générale, la reconquête de la qualité de l'eau, une bonne gestion des niveaux de l'eau et la restriction de l'expansion des espèces exotiques envahissantes sont les trois enjeux qui reviennent le plus fréquemment et ce, quelle que soit la catégorie d'acteurs.

Des enjeux tels que le maintien de la diversité et de la continuité écologique ainsi que l'investissement des acteurs pour la sauvegarde de leur territoire ont également été cités mais de façon moindre que les enjeux précédents.

6.2.3. Evaluation de la qualité de l'eau du lac et des marais

Dans l'ensemble, les acteurs trouvent que la qualité biologique du lac est relativement bonne pour la faune mais médiocre pour la flore. En effet, ils sont nombreux à avoir remarqué une perte massive des végétaux (scirpes, roselières et macres notamment) et des habitats. Les acteurs considèrent cependant le lac et les marais comme riches en poissons (« plus grosse frayère à brochet du coin », « beaucoup de petits poissons ») et en oiseaux (« il y en a du cormoran ! »). Certains pêcheurs relativisent quand même en expliquant que la communauté de poissons est essentiellement composée de poissons blancs dont l'exploitation est en discussion.

La qualité physico-chimique est décrite comme très variable en fonction de l'espace et du temps. Elle était, d'après les dires, meilleure il y a trente ans mais s'améliore doucement. L'ensemble des acteurs pense que la diminution de la qualité de l'eau est causée par la charge importante d'azote, de phosphore et d'herbicides venant de l'ensemble du bassin versant.

Selon eux, les activités humaines aux alentours du lac sont donc responsables de la perte en qualité de l'eau du lac. Selon certains, on ne trouverait pas de PCB et de métaux lourds dans les eaux car les industries sont absentes du bassin versant. La diminution de la qualité de l'eau serait responsable de la perte des végétaux et donc de la diminution des populations animales qui y seraient inféodées.

Si l'ensemble des acteurs est d'accord pour dire que l'amélioration de la qualité de l'eau passe par les efforts de tous, les gestionnaires et les membres des services de l'Etat interrogés mettent en avant le besoin majeur de connaissances à acquérir. Un projet de mise en place d'un suivi régulier de la physico-chimie de l'eau en différents points du lac, porté par la Réserve Naturelle Nationale, va voir le jour en partenariat avec l'Université de Rennes 1. Les pêcheurs craignent néanmoins les résultats de telles analyses qui pourrait impacter fortement la vente de leur poisson.

Certains agriculteurs interrogés expriment également le fait que les marais, entretenus par les éleveurs, participent à l'export d'une grande partie de la biomasse et ainsi aux cycles des éléments responsables de l'eutrophisation du lac. Ils espèrent ainsi mettre en évidence le rôle de l'agriculture dans le maintien de la qualité de l'eau.

La qualité de l'eau du site est un sujet que certaines personnes ont également mis en relation avec les niveaux d'eau du lac. Nous détaillerons dans la partie suivante.

6.2.4. Evaluation de la gestion du niveau d'eau du lac

La gestion des niveaux d'eau actuelle, pensée pour être compatible avec les activités sur et autour du lac ne fait pas que des adeptes. Si sa mise en place est actuellement faite à titre expérimental, certains des acteurs souhaiteraient des modifications.

En effet les gestionnaires des réserves naturelles souhaiteraient davantage de variations inter et intra-annuelles. Actuellement, ils considèrent que ce sont toujours les côtes basses qui sont appliquées même si le niveau de l'eau reste dans les normes imposées. Ils concèdent cependant le fait qu'il existe autant de niveaux d'eau optimums que d'espèces sur le lac et qu'il est difficile de concilier besoins biologiques et activités humaines.

Les pêcheurs pensent que cette gestion est essentiellement faite pour les activités agricoles adjacentes et qu'ils doivent simplement s'adapter. Idéalement, ils souhaiteraient davantage de variabilité inter et intra-annuelle avec des niveaux d'eau suffisamment élevés (entre 1m60 et 1m80) en sortie d'été pour pouvoir pêcher à l'automne. Certains d'entre eux mettent également en évidence le fait que des niveaux d'eau trop bas l'été engendrent des problèmes d'anoxies et de bloom algaux.

Les chasseurs, comme les pêcheurs, souhaiteraient davantage d'eau à l'automne pour favoriser l'hivernage des oiseaux. De plus, des niveaux d'eau suffisants pour la reproduction des anatidés sont souhaités au printemps.

La situation du côté des agriculteurs est plus nuancée. En effet, en fonction de la localisation des terres, les agriculteurs n'ont pas le même point de vue. En effet, si la gestion mise en œuvre cette année a été bien acceptée par les agriculteurs dont les terrains sont situés relativement en hauteur, ce n'est pas toujours le cas pour les agriculteurs dont les terrains sont plus bas et donc inondés plus longtemps. Les doléances sont également divergentes : Si certains souhaitent une exondation aussi rapide que possible au printemps afin de pouvoir exploiter rapidement l'herbe des marais, certains mettent en garde contre une exondation trop précoce qui serait propice au gel des végétaux. De plus, il est souhaité que l'eau ne monte pas en période d'expansion de la jussie (avril à juin) afin d'en limiter la colonisation. Le niveau de l'eau après la mi-octobre ne semble pas être problématique : l'herbe n'a de toute façon plus de valeur nutritive après cette période. Cependant, une remontée des eaux trop rapide à la sortie de l'été n'est pas souhaitée afin de ne pas tronquer la période d'exploitation des marais. Selon certains, la gestion des niveaux d'eau, peu favorable à l'agriculture, a longtemps découragé les éleveurs de la région qui petit à petit ont déserté le site. L'exploitation du site est en effet difficile et certaines années rendues non viables à cause de niveaux d'eau trop élevés.

Les services déconcentrés de l'Etat mettent en avant le besoin de concertations et le fait de maintenir cette gestion expérimentale un certain temps pour pouvoir en mesurer les effets.

Les différents souhaits exprimés sont récapitulés dans le tableau suivant :

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Membres des réserves naturelles	Variable selon l'espèce considérée	Variable selon l'espèce considérée	Variable selon l'espèce considérée	Suffisant pour éviter anoxie, blooms algaux et botulisme
Pêcheurs	En nette augmentation par rapport à l'été	Suffisant pour pêcher	Suffisant pour pêcher	Suffisant pour pêcher
Chasseur	En nette augmentation par rapport à l'été	Haut (hivernage avifaune)	Haut (reproduction anatidés)	Suffisant pour limiter les crises de botulisme
Agriculteurs (marais bas)	Pas d'eau sur les marais jusqu'en octobre		Diminution la plus rapide et la plus précoce possible. Moins d'eau possible sur les marais dès avril (cf. jussie). Pas d'eau sur les marais à partir de mi-mai	Pas d'eau sur les marais
Agriculteurs (marais haut)	Pas d'eau sur les marais jusqu'en octobre		Diminution lente permettant une exploitation mi-mai mais ne découvrant pas trop précocement les terres. Pas d'eau sur les marais à partir de mi-mai	Pas d'eau sur les marais

Tableau 2 : Bilan des niveaux d'eau demandés par les différents acteurs en fonction de la saison

Trouver un compromis prenant en compte l'ensemble des remarques faites semble difficile pour certains mais pas infaisable pour d'autres. La question d'un fonctionnement naturel (c'est-à-dire sans vannage) du lac, a été posée. Les résultats sont très divers et très hétérogènes même au sein des catégories d'acteurs interrogés. Si certains y sont tout à fait favorables (« Mère nature décidera », « On ne pourra pas s'en prendre aux autres »), d'autres sont sceptiques (demande d'une étude, fixation éventuel d'un seuil) voire totalement défavorables. Pour ces derniers, enlever le vannage aboutirait à l'assèchement du lac. De plus, ils mettent en évidence l'anthropisation massive de l'aval du vannage et des aménagements qui ont été fait après sa construction : le territoire n'est selon eux plus adapté pour fonctionner sans les vannes.

6.2.5. La communication entre les acteurs du lac

Pour d'avantage comprendre dans quel contexte se font les différentes réunions visant à fixer les niveaux d'eau, les acteurs ont été invités à dire s'ils se sentent écoutés par les autres.

Tous les acteurs trouvent qu'il y a davantage de communication qu'il y a 20 ans. A l'époque, la direction de la réserve imposait beaucoup de chose et la confiance entre les acteurs avait été perdue. Certains soulignent que cette gestion a laissé des traces dans les rapports entre les gens. Afin d'éviter la désinformation et le manque de communication, des réunions tous les 15 jours en période critique vont être instaurées. Toutes les personnes s'accordent à dire que la gestion du lac doit être issue d'une concertation.

Cependant, même si le dialogue est jugé possible, tous les acteurs ne se sentent pas écoutés. Les pêcheurs s'estiment peu nombreux et impuissants face aux agriculteurs qu'ils jugent davantage écoutés. De plus, ils pensent parfois être « moins bien défendus que les cormorans » et les différentes espèces protégées par les réserves. A contrario, certains agriculteurs pensent que leur rôle dans le maintien des marais n'est pas suffisamment reconnu ni respecté et pris en compte. D'autres agriculteurs et les autres acteurs mettent tout de même en garde : d'après eux, ce sont toujours les mêmes agriculteurs qu'on entend se plaindre mais ils ne sont pas toujours représentatifs de l'avis de la profession. Néanmoins, les acteurs expliquent que les agriculteurs sont économiquement dépendants du marais et que dans le contexte actuel il est difficile pour eux de s'en sortir.

Enfin, d'après quelques usagers, il est difficile d'avoir confiance en la parole des uns et des autres. En effet, pour eux, même si tous sont d'accords lors des discussions préalables à l'application des niveaux d'eau, cela ne garantit en rien le bon déroulement des événements (plainte à la préfecture, ouverture illégale des vannes etc.). L'intérêt commun n'est, d'après eux, pas toujours privilégié.

Ainsi, pour les acteurs, trouver un compromis satisfaisant nécessite de « travailler intelligemment » et de prendre en compte l'avis de tous. Le respect des normes imposées à également été souligné.

6.3. Discussion

L'objectif des différents entretiens était de mettre en évidence quels étaient les enjeux socio-économiques en lien avec la gestion du lac et de comprendre dans quelles mesures une conciliation entre ces enjeux et les besoins des anguilles argentées était possible.

La gestion du niveau de l'eau est un point noir dans la dévalaison des anguilles de Grand-Lieu. En effet, nous avons montré l'impact du vannage sur les tentatives d'échappement des anguilles argentées marquées. Au vu des facteurs déclencheurs de la migration, l'ouverture du vannage nécessite d'être en adéquation avec les phénomènes climatiques précédemment déterminés. Idéalement, des périodes d'ouvertures importantes seraient faites en réponse à l'augmentation du niveau de l'eau et à des dépressions atmosphériques et précipitations. De façon générale, ces phénomènes se déroulent essentiellement en automne ou en hiver mais cette année d'étude a montré que leur décalage au printemps est possible. La gestion des niveaux de l'eau que ces ouvertures nécessitent devra donc être plus fine que celles actuellement mise en place (davantage flexible et liée aux événements climatiques).

Les entretiens nous ont permis de mieux comprendre si une telle gestion pouvait être mise en place. En effet, sans tenir compte de la problématique anguilles argentées, la gestion du niveau de l'eau est déjà problématique. Des tensions peuvent apparaître au début de l'automne lorsque les pêcheurs souhaitent fermer le vannage pour que le niveau du lac augmente tandis que les agriculteurs souhaitent continuer d'exploiter le marais jusqu'en octobre. De même, au printemps, les agriculteurs souhaitent que le niveau du lac diminue plus ou moins rapidement tandis que les chasseurs veulent maintenir un niveau d'eau conséquent pour favoriser la reproduction des anatidés. Enfin l'été est une période pendant laquelle le niveau d'eau doit être suffisant pour éviter de dégrader la qualité de l'eau et permettre une augmentation rapide du niveau à l'automne (avec une pluviométrie correspondant aux normales de saison) mais suffisamment bas pour que les marais restent exondés.

L'ouverture des vannes à l'automne ou à l'hiver pour favoriser la dévalaison des anguilles argentées n'est alors pas en adéquation avec le souhait des pêcheurs et des chasseurs désireux de conserver de l'eau sur le lac. Cependant, l'augmentation conséquente du niveau de l'eau est nécessaire à la dévalaison et sera davantage permise par la fermeture des vannes en début d'automne. Des ouvertures aux printemps semblent moins problématiques car s'inscrivant dans la période d'exondation des marais (Tableau 3). Néanmoins, en cas d'années sèches, si le lac ne dépasse pas certaines côtes, les acteurs ne seront pas enclin à ouvrir les vannes, et ce, quelles que soit la date.

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Membres de réserves naturelles	Variable selon l'espèce considérée	Variable selon l'espèce considérée	Variable selon l'espèce considérée	Suffisant pour éviter anoxie, blooms algaux et botulisme
Pêcheurs	En nette augmentation par rapport à l'été	Suffisant pour pêcher	Suffisant pour pêcher	Suffisant pour pêcher
Chasseur	En nette augmentation par rapport à l'été	Haut (hivernage avifaune)	Haut (reproduction anatidés)	Suffisant pour limiter les crises de botulisme
Agriculteurs (marais bas)	Pas d'eau sur les marais jusqu'en octobre		Diminution la plus rapide et la plus précoce possible. Moins d'eau possible sur les marais dès avril (cf. jussie). Pas d'eau sur les marais à partir de mi-mai	Pas d'eau sur les marais
Agriculteurs (marais haut)	Pas d'eau sur les marais jusqu'en octobre		Diminution lente permettant une exploitation mi-mai mais ne découvrant pas trop précocement les terres. Pas d'eau sur les marais à partir de mi-mai	Pas d'eau sur les marais
Anguilles argentées	Ouverture conséquente du vannage en cas d'événements déclenchant la migration	Ouverture conséquente du vannage en cas d'événements déclenchant la migration	Ouverture conséquente du vannage en cas d'événements déclenchant la migration	

Tableau 3: Confrontation des besoins de tous avec les ouvertures du vannage favorables à la dévalaison des anguilles argentées

La prise de décision pour ouvrir le vannage aux moments favorables aux anguilles argentées sera facilitée par les réunions bimensuelles prévues par l'ensemble des acteurs.

Malgré les préconisations faites par l'Europe via le Plan de Gestion, il est à craindre que la thématique « anguille » ne représente qu'un argument parmi les autres à prendre en compte lors des discussions visant à décider de l'ouverture ou non du vannage. L'appui des services de l'Etat permettra peut-être d'imposer un certain nombre de périodes d'ouverture, mais il a été montré par le passé que la prise de décisions hors conciliation n'était pas la méthode à retenir. Cependant, l'activité de pêche sur le lac dépend essentiellement du maintien de la population d'anguilles: les pêcheurs, très investis lors des études menées, seront sans doute partisans des préconisations visant à préserver la ressource.

On peut alors se demander quelle serait la situation pour l'anguille européenne du lac de Grand-Lieu en l'absence de réserve et/ou d'une activité de pêche dépendante de l'espèce. En effet, même à Grand-Lieu, où l'ensemble des acteurs est informé de la situation critique de l'espèce en Europe, il est difficile de faire valoir des décisions favorables à l'espèce dans un contexte anthropisé. On peut

alors craindre que la situation peine à s'améliorer dans des endroits où les considérations pour l'anguille européenne sont nettement moins prises en compte.

Les différentes activités humaines semblent difficilement modifiables vis-à-vis de la gestion du niveau du lac de Grand-Lieu. Le *statu quo* actuel semble être un compromis accepté par l'ensemble des acteurs dans la mesure où des événements climatiques extrêmes ne sont pas à signaler. En cas d'années particulièrement humides, d'avantages de tensions peuvent apparaître. Des niveaux d'eau extrêmes exacerbent les conflits. Par exemple, l'utilisation des marais pour le pâturage est une activité à la rentabilité déjà précaire en temps normal. Dans ce contexte, des niveaux d'eau ne permettant pas l'exploitation des marais ne sont alors pas tolérés car mettant en péril la pérennité des exploitations.

La dépendance économique forte des agriculteurs vis-à-vis de leur environnement a été évoquée lors des entretiens. Une solution proposée serait de rendre l'agriculture sur les marais plus résiliente face aux aléas dont le niveau d'eau du lac fait partie. L'idée d'une création d'une filière qualité visant à valoriser à un prix plus élevé les productions issues du marais a été proposée lors des entretiens. D'après les agriculteurs interrogés, la diversité des pratiques agricoles et le manque d'image de marque du site rendent difficile la création de cette filière même si l'idée est bien perçue et à développer.

Ainsi, deux solutions ont été proposées pour permettre l'échappement des anguilles argentées et ce, quel que soit la gestion du niveau de l'eau. Une des options envisagées pour limiter les tensions et favoriser l'échappement des anguilles argentées a été de supprimer le vannage. Laisser le niveau d'eau du lac évoluer naturellement pourrait éviter les conflits liés aux désaccords sur la gestion tout en permettant de supprimer un obstacle à la continuité écologique. Cependant, le sujet, s'il n'est plus tabou, fait débat : les arguments contre viennent surtout de la crainte de l'assèchement du lac. Même si rien ne sera fait sans une étude approfondie des conditions de faisabilité, le projet ne semble pas réalisable à court terme.

L'autre solution, moins polémique, visant à faciliter l'échappement des anguilles quelle que soit la gestion du niveau de l'eau réside dans la création d'un exutoire à la dévalaison qui contournerait le vannage. Ce projet, porté par le SAH et la RNN a été présenté aux autres acteurs lors du Comité de Pilotage du 9 juin et est actuellement en quête de financement. L'évaluation de cet ouvrage permettra de connaître son efficacité vis-à-vis de l'échappement mais également de fournir des arguments pour pouvoir, en cas de succès, le généraliser à l'ensemble du réseau hydrographique français.

Un des autres enjeux régulièrement cité et en lien avec l'établissement de la population d'anguille européenne saine est la qualité de l'eau du lac. Dès la phase de marquage des individus, cette qualité avait été mise en cause et il semblerait que cette thématique préoccupe également les acteurs du lac qui ont remarqué sa dégradation puis sa légère amélioration au fil des ans.

La demande d'un suivi régulier et de meilleures connaissances sur la qualité physico-chimique à différents endroits du lac devront permettre de quantifier la teneur en différents éléments et de mieux comprendre les phénomènes à l'œuvre. Le travail de reconquête de la qualité de l'eau du lac devra ainsi tenir compte des résultats pour pouvoir cibler au mieux ces actions et être profitable à l'ensemble de la faune et la flore. Cependant, l'impact actuel de la qualité de l'eau sur l'ichtyofaune demande à être davantage connu malgré la réticence des pêcheurs à faire des analyses poussées dans ce domaine.

Des actions locales ont déjà été réalisées par certains usagers (passages en bio et réduction des rejets d'élevage par exemple) ou par les communes voisines du lac (amélioration des systèmes d'épuration notamment) pour contribuer à l'amélioration de la qualité de l'eau du lac. Ainsi, on peut espérer que les études et les actions à venir permettent d'agir le plus rapidement possible pour améliorer la qualité de l'eau et ainsi préserver ce milieu et les espèces qui y vivent.

Cependant, malgré la bonne volonté des différents acteurs dans ce domaine, il est à noter que la qualité des eaux du lac dépend grandement de l'ensemble des activités du bassin versant. Les différents usagers interrogés ne sont que les derniers maillons de la chaîne et sont les plus directement touchés par les changements induits par d'autres. Il est donc nécessaire de réduire les impacts de l'urbanisme et de l'agriculture sur l'ensemble du bassin versant et non pas seulement aux abords directs du lac.

Ainsi, les entretiens réalisés et leurs analyses auront permis de mieux comprendre comment la vie et l'échappement des anguilles argentées allaient pouvoir être conciliés avec les activités sur et autour du lac. Cependant, des biais à notre étude sont à déplorer. En effet, les avis recueillis sont ceux des personnes au contact direct du lac. Ce sont des personnes qui sont investies par les problématiques liées au lac : elles sont faciles à identifier, à contacter et donnent volontiers leur point de vue.

Malheureusement, les personnes moins investies ou dont les activités ne dépendent que peu du lac n'ont pas été interrogées (peu de contacts et non intéressées par les entretiens). C'est par exemple le cas des agriculteurs qui pratiquent uniquement la fauche dans les marais (la fauche est faite une fois dans l'été et est réalisable quelle que soit l'exondation des marais) ainsi que les propriétaires de terres aux abords directs du lac. Notre analyse permet alors d'avoir pris connaissance de l'avis de ceux qui sont particulièrement impliqués sur le territoire mais perd de sa représentativité.

De plus, par manque de temps l'ensemble des pêcheurs (sur les 7, 4 ont été interrogés) et des éleveurs n'a pas pu être rencontré : seules les personnes facilement joignables et disponibles ont été interrogées.

Enfin, les avis recueillis dépendent du contexte actuel particulier : cette année sèche n'est pas représentative. Des critiques plus acerbes à l'égard de la gestion du lac auraient pu être émises et changer notre perception des enjeux prioritaires.

7. Conclusion

Optimiser le retour à la mer des futurs reproducteurs est l'un des objectifs majeurs du Plan de Gestion Anguille. En s'intéressant particulièrement à la fraction argentée dans le lac de Grand-Lieu, la présente étude a permis de mieux connaître leur comportement pré-migratoire et de comprendre comment la stratégie d'échappement de ces futurs reproducteurs est soumise à des facteurs naturels et anthropiques.

Le suivi télémétrique mis en place aura montré l'importante activité de déplacement nocturne des anguilles argentées du lac. Il reste cependant à étudier comment cette activité évolue en fonction des facteurs environnementaux. De même, la variabilité des comportements pose question quant au degré d'argenture des individus qualifiés de migrants. L'étude a également permis d'identifier les habitats préférentiellement fréquentés par cette fraction de la population : la profondeur semble être le critère de choix de ces lieux préférentiels mais davantage de variables devront être prises en compte pour affiner ce résultat.

Cette année, la pêche sur le lac de Grand-Lieu a exploité 22% des individus suivis lors de l'étude. Une faible proportion des anguilles marquées a quitté le lac : cela concerne en effet 21,2% des femelles. Ce taux est bien inférieur à celui préconisé par le Plan de Gestion Européen et montre qu'un ou des phénomènes impactent l'échappement. Les individus femelles ayant quitté le lac sont plus lourdes et semble avoir davantage trouvé l'exutoire du lac que les autres. Le succès de la dévalaison réside alors peut être dans des capacités natatoires et d'orientations.

Ce faible échappement, déclenché par l'atteinte d'un niveau d'eau suffisant sur le lac et des dépressions atmosphériques et précipitations, a été fortement limité par le vannage. L'étude des déclencheurs de la migration, a également permis de mettre en évidence la variabilité annuelle de ces derniers.

Le vannage dont dépend la gestion du niveau de l'eau a alors été qualifié d'obstacle à la dévalaison. Préserver l'espèce à Grand-Lieu peut donc passer par une modification de la gestion du niveau de l'eau, un arasement ou encore le contournement de l'ouvrage. Au vu des nombreuses activités sur le lac et des avis émis par les usagers, modifier la gestion semble difficile et non garante du bon échappement des anguilles argentées. Le projet de contournement des vannes par un exutoire à la dévalaison proposé semble être la meilleure solution à envisager. Le suivi de cette ouvrage permettra de dire si tel est bien le cas.

A court terme, la population d'anguille du lac bénéficiera des efforts faits pour favoriser le recrutement et la dévalaison. Cependant, la reconquête de la qualité du milieu doit être un des objectifs prioritaires des différents acteurs pour que l'anguille européenne et les autres espèces du lac puissent s'y maintenir. La prise de conscience semble toutefois actée pour les différents acteurs de ce territoire et des efforts sont faits dans ce sens.

Enfin, cette étude aura permis de mettre en évidence les biais liés au suivi d'individus. L'équipement anticipé des mâles devait permettre de suivre leur dévalaison supposée plus précoce que celle des femelles. Cependant, une année au climat particulier et une ouverture tardive des vannes n'auront pas permis de comparer les sexes en terme d'échappement avant la fin de vie des émetteurs implantés chez les mâles. De même, un réseau d'hydrophones, aussi dense soit-il présente des limites : un certain nombre d'aspects de la vie des anguilles argentées du lac de Grand-Lieu reste à découvrir.

Bibliographie

- Adam, G. (1997). L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L. 1758): dynamique de la sous-population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques, 350.
- Baisez, A., & Laffaille, P. (2005). Un outil d'aide à la gestion de l'anguille: Le tableau de bord anguille du Bassin Loire. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (April 2002), 115–130.
- Barbin, G. P., Parker, S. J., & McCleave, J. D. (1998). Olfactory clues play a critical role in the estuarine migration of silver-phase American eels. *Environmental Biology of Fishes*. <https://doi.org/10.1023/A:1007469232698>
- Bastviken, D., Tranvik, L. J., Downing, J. A., Crill, P. M., Enrich-Prast, A., Luysaert, S., ... Melack, J. M. (2011). Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. *Science (New York, N.Y.)*, 331(6013), 50. <https://doi.org/10.1126/science.1196808>
- Bergé, J. (2012). *Apport de la télémétrie acoustique pour la compréhension de l'utilisation dynamique des habitats par les poissons dans un grand fleuve aménagé, le Rhône*.
- Bertin, L. (1951). Les anguilles. Variation, croissance, euryhalinité, toxicité, hermaphroditisme juvénile et sexualité, migrations, métamorphoses. *Payot*, Paris. 188p
- Bilotta, G. S., Sibley, P., Hateley, J., & Don, A. (2011). The decline of the European eel *Anguilla anguilla*: Quantifying and managing escapement to support conservation. *Journal of Fish Biology*, 78(1), 23–38. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02830.x>
- Bultel, E., Lasne, E., Acou, A., Guillaudeau, J., Bertier, C., & Feunteun, E. (2014). Migration behaviour of silver eels (*Anguilla anguilla*) in a large estuary of Western Europe inferred from acoustic telemetry. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 137(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.11.023>
- Carpentier, A. (2003). Réponse numériques et fonctionnelle d'un prédateur aux contraintes spatio-temporelles d'utilisation de la ressource alimentaire : le cas du Grand-Cormoran et du peuplement ichtyologique du lac de Grand-Lieu. *UMR 6553 Ecobio*. Université de Rennes 1
- Cullen, P., & McCarthy, T. K. (2000). The effects of artificial light on the distribution of catches of silver eel, *Anguilla anguilla* (L.), Across the Killaloe eel weir in the Lower River Shannon. *Biology and Environment*, 100(3), 165–169.
- Deelder, C. L. (1954). Factors Affecting the Migration of the Silver Eel in Dutch Inland Waters. *ICES Journal of Marine Science*, 20(2), 177–185. <https://doi.org/10.1093/icesjms/20.2.177>
- Deelder, C. L. (1984). *Synopsis of biological data on the eel Anguilla anguilla (Linnaeus, 1758)* (Vol. 80).
- Dekker, W. (2003). Status of European eel stock and fisheries. *K.Aida, K.Tsukamoto and K.Yamauchi eds, Eel Biology*, p. 237-254 Springer-Verlag, Tokyo
- DeLeo, G., & Gatto, M. (1995). A size and age-structured model of the European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Journal Canadien Des Sciences Halieutiques et Aquatiques*, 1351–1367.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 81(2), 163–82. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>

- Durif, C. (2003). *La migration d'avalaison de l'anguille européenne (Anguilla anguilla): Caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacle*. Cemagref. Université Paul Sabatier, Toulouse III.
- Elith, J., Leathwick, J. R., & Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77(4), 802–813. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01390.x>
- FAO EIFAC, ICES, 2008. Report of the 2008 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels. FAO / ICES, Rome / Copenhagen.
- Feunteun, E. (2002). Management and restoration of European eel population (*Anguilla anguilla*): An impossible bargain. *Ecological Engineering*, 18(5), 575–591. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00021-6](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00021-6)
- FranceAgriMer. (2014). *Le marché de l'anguille européenne : Etude d'initiatives potentielles pour les acteurs français de la filière européenne de l'anguille*.
- Girard, P., & Elie, P. (2007). *Manuel d'identification des principales lésions et des principaux parasites externes des anguilles*. CEMAGREF Bordeaux, Projet INDICANG.
- Grassi, B. et Calandrucchio, S. (1986). Fortpflanzung und Metamorphose des Aales. *Allg. FischZtg* 22 : 402-408
- Hain, J. H. W. (1975). The behaviour of migratory eels, *Anguilla rostrata*, in response to current, salinity and lunar period. *Helgol?nder Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, 27(2), 211–233. <https://doi.org/10.1007/BF01611808>
- Harrison, A. J., Walker, A. M., Pinder, A. C., Briand, C., & Aprahamian, M. W. (2014). A review of glass eel migratory behaviour, sampling techniques and abundance estimates in estuaries: implications for assessing recruitment, local production and exploitation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(4), 967–983. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9356-8>
- Hedger, R. D., Martin, F., Dodson, J. J., Hatin, D., Caron, F., & Whoriskey, F. G. (2008). The optimized interpolation of fish positions and speeds in an array of fixed acoustic receivers. *ICES Journal of Marine Science*, 65(7), 1248–1259. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn109>
- Jellyman, D. J. (1991). Factors affecting the activity of two species of eel (*Anguilla* spp.) in a small New Zealand lake. *Journal of Fish Biology*, 39(1), 7–14. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1991.tb04336.x>
- Jourdan, J., & Labach, H. (2013). Conservation du Grand dauphin *Tursiops truncatus* au sein des Aires Marines Protégées françaises : Etude de l'acoustique passive comme méthode de suivi, 52.
- Kirk, R. S. (2003). The impact of *Anguillicola crassus* on European eels. *Fisheries Management and Ecology*, 10(6), 385–394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2003.00355.x>
- Krueger, W. H., & Oliveira, K. (1999). Evidence for environmental sex determination in the American eel, *Anguilla rostrata*. *Environmental Biology of Fishes*, 55(4), 381–389. [https://doi.org/anguille argentee milieu habitat croissance taux de croissance sex ratio sexe densite population](https://doi.org/anguille%20argentee%20milieu%20habitat%20croissance%20taux%20de%20croissance%20sex%20ratio%20sexe%20densite%20population)
- Lance, E., Brient, L., Carpentier, A., Acou, A., Marion, L., Bormans, M., & Gérard, C. 2010. Impact of toxic cyanobacteria on gastropods and microcystin accumulation in a eutrophic lake (Grand-Lieu, France) with special reference to *Physa* (= *Physella*) *acuta*. *Science of the Total Environment*, 408: 3560–3568.

- Larinier, M., & Travade, F. (1999). La dévalaison des migrateurs : problèmes et dispositifs. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (326–327), 181–210.
- Larsson, P., Hamrin, S., & Okla, L. (1990). Fat content as a factor inducing migratory behavior in the eel (*Anguilla anguilla* L.) to the Sargasso sea. *Die Naturwissenschaften*, 77(10), 488–490.
- Le Pichon, C., Coustillas, J., & Rochard, E. (2015). Using a multi-criteria approach to assess post-release recovery periods in behavioural studies: study of a fish telemetry project in the Seine Estuary. *Animal Biotelemetry*, 3(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s40317-015-0062-7>
- Lecomte-Finiger, R. (1990). Métamorphose de l'anguille jaune en anguille argentée *Anguilla anguilla* L. et sa migration catadrome. *Année Biologique*. 29(3): 183-194
- Lecomte-Finiger, R. (1994). Contribution de l'otolithométrie à l'étude de la dynamique de la migration larvaire de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (335), 17–31.
- Legault, A. (1992). Etude de quelques facteurs de sélectivité de passes à anguilles. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 325, 83–91. [https://doi.org/anguille jaune migration colonisation barrage passe taille](https://doi.org/anguille%20jaune%20migration%20colonisation%20barrage%20passe%20taille)
- Lowe, R. H. (1952). The influence of light and other factors on the seaward migration of the silver eel (*Anguilla anguilla* L.). *Journal of Animal Ecology*, 21(2), 275–309. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1963>
- Marion, L., & Feunteun, E. (1994). Assessment of Grey Heron predation on fish communities : the case of the largest European colony. *Hydrobiologia*, 327–344.
- Mazel, V., Danet, V., Acou, A., Fabien, C., Simon, D., Trancart, T., & Feunteun, E. (2016). *Echappement Des Anguilles Argentées du lac de Grand Lieu (EDAAGL) sur la saison d ' avalaison 2015 / 16*.
- Moriarty, C., Dekker, W., (Eds.)(1997). Management of European eel fisheries. *Irish Fish. Bull.*, 15, p. 108
- Okamura, A., Yamada, Y., Tanaka, S., Horie, N., Utoh, T., Mikawa, N., ... Oka, H. P. (2002). Atmospheric depression as the final trigger for the seaward migration of the Japanese eel *Anguilla japonica*. *Marine Ecology Progress Series*, 234, 281–288. <https://doi.org/10.3354/meps234281>
- Paillisson, J., & Marion, L. (2008). *Productivité des macrophytes flottants du lac de Grand-Lieu : saison 2006*.
- Palstra A.P., Heppener D.F.M., van Ginneken V.J.T., Székely C. & van den Thillart G.E.E.J.M. (2007) Swimming performance of silver eels is severely impaired by the swim-bladder parasite *Anguillicola crassus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 352, 244–256.
- Pénil, C., Beaulaton, L., Gatel, F., & Girard, P. (2011). *Guide pratique d'évaluation de l'état sanitaire des anguilles*. ONEMA.
- Publiques, C. interministériel de l'évaluation des politiques. (1994). *Les Zones Humides - Rapport d'évaluation*.
- R Development Core Team (2005). R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>.
- Righton, D., Aarestrup, K., Jellyman, D., S??bert, P., van den Thillart, G., & Tsukamoto, K. (2012). The *Anguilla* spp. migration problem: 40 million years of evolution and two millennia of

speculation. *Journal of Fish Biology*, 81(2), 365–386. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03373.x>

Righton, D., Westerberg, H., Feunteun, E., Okland, F., Gargan, P., Amilhat, E., ... Aarestrup, K. (2016). Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to the Sargasso Sea. *Science Advances*, 2(10), e1501694–e1501694. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501694>

Schmidt, J. (1923). Breeding places and migrations of the eel. *Nature*, III(2776), 51–54.

Schulze, T., Kahl, U., Radke, R. J., & Benndorf, J. (2004). Consumption, abundance and habitat use of *Anguilla anguilla* in a mesotrophic reservoir. *Journal of Fish Biology*, 65(6), 1543–1562. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2004.00565.x>

Simberloff, D. (1998). Flagships, umbrellas, and keystones: Is single-species management passe in the landscape era? *Biological Conservation*, 83(3), 247–257. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00081-5)

Tesch, F.-W. 1992 Anguillidae. In H. Hoestlandt (ed.), *The freshwater fishes of Europe*, vol.2 . Clupeidae, Anguillidae, 390–437. Wiesbaden. AULA–Verlag.

Todd, P. R. (1981). Timing and periodicity of migrating New Zealand freshwater eels (*Anguilla* spp). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 1(15:3), 225–235. <https://doi.org/10.1080/00288330.1981.9515915>

Trancart, T. (2011). *Analyse comparative des tactiques deployées lors de la migration de colonisation des bassins versants par les poissons migrateurs amphihalins thalassotoques*. <https://doi.org/5>

Trancart, T., Acou, A., De Oliveira, E., Feunteun, E. (2013). Forecasting animal migration using SARIMAX : an efficient means of reducing silver eel mortality caused by turbines. *Endangered species research*, 21, 181-190

Trancart, T., Feunteun, E., Danet, V., Carpentier, A., Mazel, V., Charrier, F., ... Acou, A. (2017). Migration behaviour and escapement of European silver eels from a large lake and wetland system subject to water level management (Grand-Lieu Lake, France): new insights from regulated acoustic telemetry data. *Ecology of Freshwater Fish*.

Trischitta, F., & Takei, Y. (2013). *Eel physiology*.

Tsukamoto, K., Nakai, I. & Tesch, W.V. (1998). Do all freshwater eels migrate ? *Nature* 396:635

Van den Thillart G., Palstra A. & Van Ginneken V. (2007) Simulated migration of European silver eel; swim capacity and cost of transport. *Journal of Marine Science and Technology* 15, 1–16.

Van Ginneken, V., Palstra, A., Leonards, P., Nieveen, M., van den Berg, H., Flik, G., ... Murk, A. (2009). PCBs and the energy cost of migration in the European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Aquatic Toxicology*, 92(4), 213–220. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2009.01.004>

Vøllestad, L. A., Jonsson, B., Hvidsten, N. A., Næsje, T. F., Haraldstad, Ø., & Ruud-Hansen, J. (1986). Environmental Factors Regulating the Seaward Migration of European Silver Eels (*Anguilla anguilla*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43(10), 1909–1916d. <https://doi.org/10.1139/f86-236>

Winter, J.D. (1996). Underwater biotelemetry, in: L. A. Nielsen, and D.L.J. (Ed.), *Fisheries Techniques*. *American fisheries Society*, Bethesda, MD., pp. 555–590.

Liste des contacts

Nom	Profession	Adresse mail	Téléphone
Batard Fabrice	Pêcheur professionnel	fabrice.batard@orange.fr	02.40.04.07.91
Brient Erwan	Agriculteur à Saint Mars de Coutais		02.40.31.10.57
Charruau François	Animateur au SBV	francois.charruau@sage-grandlieu.fr	02.40.78.09.17
Coudriau Michel	Président de l'Association de Sauvegarde des Marais et agriculteur à Saint Lumine de Coutais	coudriau.michel@yahoo.fr	06.73.91.88.14
De Villepin Hervé	Président du SAH	hdevillepin@sahsudloire.fr	02.40.05.65.64
Favreau Benoit	Agriculteur à Saint Philbert de Grand-Lieu		02.40.78.03.41
Gillier Jean-Marc	Président de la RNN	gillier.snpn.grandlieu@orange.fr	
Guillet Dominique	Pêcheur professionnel	guillet.dominique0571@orange.fr	02.40.31.35.33
Lapoirie Patrick	Membre de l'Equipe Poisson Migrateur à l'AFB	patrick.lapoirie@afbdiversite.fr	02.51.84.34.18
Le Floc'h Erwan	Membre du SMIDAP	erwan.lefloch@sahsudloire.fr	02.40.89.61.37
Lefort David	Président de la coopérative de pêche de Grand-Lieu et pêcheur professionnel	davidlefort.pecheur@gmail.com	02.40.78.01.34
Monier Gerard	Agriculteur à Saint Lumine de Coutais	gemonnier@wanadoo.fr	02.40.02.93.40
Obe Thomas	Membre de la DREAL	thomas.Obe@developpement-durable.gouv.fr	02.72.74.76.23
Robion Dominique	Pêcheur professionnel	dmrobion@cegetel.net	02.40.04.30.76
Saurin Christophe	Agriculteur et gestionnaire au sein de la RNR	csorin@chasse44.fr	06.84.05.37.82

Lexique

Anatidés : oiseaux aquatiques aux pattes palmées tels que le canard, la sarcelle, l'oie et le cygne.

Amphihalin : qualificatif d'une espèce migratrice dont le cycle de vie alterne entre le milieu marin et l'eau douce.

Interpolation (spatiale) : l'interpolation spatiale est le processus d'utilisation des points de l'espace où les valeurs prises par une variable considérée sont connues afin d'estimer la valeur prise par la variable en d'autres points où elle est inconnue.

Panmictique : une population est panmictique lorsque chacun des individus qui la composent a des chances égales de se reproduire avec n'importe quel autre individu de sexe opposé.


Rasteriser : diviser de façon régulière l'espace en pixel. La taille des pixels est appelée résolution. On obtient ainsi un raster et chaque pixel du raster contient une valeur pour la variable considérée.

Sémelpare : se dit d'une espèce qui ne se reproduit qu'une seule fois dans sa vie, avant de mourir.

Thalassotoque : qualificatif d'une espèce vivant essentiellement en eaux douces mais se reproduisant en mer. Synonyme de catadrome.

Annexes

Annexe 1 : Grille d'évaluation de l'état de santé externe des anguilles (Pénil et al., 2011)

			
Code pathologique ⁽⁰⁾		Tab. 2	
Tab. 1		Code localisation anatomique ⁽²⁾	
Code lésion et parasitisme ⁽¹⁾		Localisation	Code
Absence de lésion ou de parasite		OO	
Lésions anatomo-morphologiques		Corps	C
Absence d'organe ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	S AO	Colonne vertébrale	V
Altération de la couleur	S AC	Tête	T
Anus rouge ou saillant	S US	Bouche	G
Bulle de gaz	S BG	Oeil	Y
Déformation difformité	D AD	Opercule / Branchies	O
Hypersécrétion de mucus	S SM	Tronc	W
Exophtalmie	D EX	Abdomen	A
Opacification oculaire	S CO	Dos	H
Maigreur	D AM	Nageoire pectorale	P
Erosion	S ER	Nageoire principale	N
Hémorragie	S HE	Pédoncule caudal	K
Ulcère (dont hémorragique) ⁽⁵⁾	N/S UH	Orifice anal	X
Nécrose	S NE		
Masses et grosseurs (dont kyste) ⁽⁶⁾	N/S AG		
Parasitisme externe		C_imp Code	
Point blanc	S PB		
Mycose (« mousse »)	S PC		
Crustacés ⁽⁷⁾	N/S CR		
Hirudiné	N HH		
Autres parasites que les 4 précédents ⁽⁷⁾	N/S PX		
Parasites (une des 5 catégories au-dessus) ⁽⁷⁾	N/S PT		
Tab. 3			
Code importance (C_imp) ⁽³⁾			
Nombre (N)	Code		
N= 0	0		
N< 3	1		
N= 4 à 6	2		
N= 7 à 10	3		
N > 10	4		
Surface atteinte (S)	Code		
S = 0%	0		
S < 5%	1		
S = 5 à 10%	2		
S = 10 à 20%	3		
S > 20%	4		
Degré d'altération (D)	Code		
Nul	0		
Faible	1		
Moyen	2		
Fort	3		
Très fort	4		

(0) Un code pathologique doit être attribué à toutes les anguilles observées. En l'absence de lésion ou de parasite il sera OOO.

(1) Par anguille, un type de lésion ou de parasite n'est codé qu'une fois

(2) Lorsqu'un type de lésion ou de parasite se manifeste par plusieurs lésions sur différentes parties du corps, la localisation codée sera celle du niveau supérieur (ex : G+Y=T)

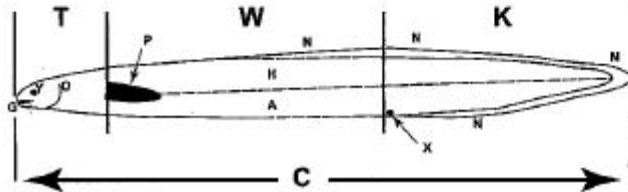
(3) L'importance s'apprécie sur la base de la localisation codée (ex : N sur la tête)

(4) Convention de notation pour absence d'yeux: AOY2 il manque un œil, AOY4, il manque les deux yeux.

(5) Chaque type d'absence d'organe est codé individuellement (ex : AOY2 et AOP4 pour absence d'un œil et de tout ou partie des pectorales - plus de 20 %)

(6) Pour les lésions lorsque deux méthodes de codification de l'importance sont possibles, on codera la plus déclassante.

(7) Pour les parasites les plus gros, types hirudiné ou Argulus, la codification de l'importance utilisera le nombre (N). Pour les parasites les plus petits, types point blanc ou Paragnathia, la codification de l'importance utilisera la surface atteinte (S).



Annexe 2 : Guide d'entretien

Conditions de l'entretien

L'entretien est strictement anonyme, non enregistré.

But de l'entretien

Dans le cadre de mon stage de master II, qui s'inscrit dans le programme de recherche Grand Lieu 2, je m'intéresse aux liens entre le fonctionnement du lac, les activités humaines et l'écologie des anguilles argentées vivant dans ce milieu.

En effet, la gestion du niveau de l'eau du lac (réalisée par le Syndicat d'Aménagement Hydraulique et contrôlée par arrêté ministériel) doit permettre de répondre à un certain nombre d'enjeux sociaux parfois difficiles à concilier. De plus, les activités au sein de ce territoire doivent être compatibles avec certains engagements environnementaux européens, comme l'atteinte du bon état écologique des masses d'eaux ou encore de garantir un taux d'anguilles argentées rejoignant la mer de 40%. Pour comprendre au mieux quels sont les enjeux sociétaux majeurs vis à vis du fonctionnement du lac j'aimerais prendre en compte l'avis des usagers du lac. De plus, après avoir identifié certains enjeux comme étant des points clés pour la réussite de l'échappement des anguilles argentées hors du lac, qui participeraient ainsi à la pérennité de l'espèce en rejoignant le pool de géniteur européen, il serait intéressant de savoir si les activités sur et à proximité du lac sont compatibles avec les préconisations éventuellement émises.

Questions de recherche

Quels sont les enjeux majeurs pour le bon fonctionnement du lac ?

La variation du niveau de l'eau (facteurs déclencheurs de la migration), l'ouverture et les modalités de gestion du vannage (garante de la continuité écologique), ainsi que la qualité de l'eau semblent a priori être trois points clés qui garantissent l'accès et la qualité des habitats favorables au maintien d'une population d'anguilles abondante et saine ainsi que le bon déroulement de la migration d'avalaison des anguilles argentées. Dans quelles mesures certaines pratiques conditionnant la qualité de l'eau ainsi que le niveau d'eau et sa gestion peuvent-elles être modifiées pour satisfaire les besoins de tous ?

Présentation

Elève ingénieure au centre AgroParisTech de Nancy dans la dominante Gestion des Milieux Naturels, je suis actuellement en stage de fin d'étude au sein du Muséum National d'Histoire Naturelle à la Station Marine de Dinard. Je m'intéresse au stade argenté de l'anguille européenne et plus précisément à la migration de cette fraction de la population.

En replaçant l'étude dans son contexte, je me suis rendue compte de la richesse du lac mais aussi de la complexité de son fonctionnement. Il m'est apparu que la gestion du niveau de l'eau est un point particulièrement sensible qui cristallise les tensions. Or, le niveau de l'eau et sa gestion semblent être deux points clés dans le bon déroulement de la migration d'avalaison des anguilles argentées. De plus, la qualité de l'eau semble être problématique pour les anguilles qui bénéficient de moins en moins plus d'un habitat favorable et sain. Ainsi, à court terme, il est important de savoir quand et comment ouvrir le vannage afin que la fraction argentée puisse migrer dans de bonnes conditions. A plus long terme, c'est la bonne qualité de l'habitat de l'anguille européenne qui doit être atteinte afin de garantir la pérennité de l'espèce. Ce dernier point bénéficiera à la biodiversité du lac, ainsi qu'au cadre de vie des riverains et usagers.

Cet entretien n'a pas vocation à changer la situation actuelle mais a pour but de m'aider dans la bonne compréhension des enjeux et de comprendre dans quelles mesures le niveau d'eau, sa gestion ainsi que les pratiques impactant la qualité de l'eau peuvent être modifiées pour satisfaire les besoins

de tous. Je ne me positionne pas en arbitre de la situation actuelle mais en observatrice qui pourra plus tard contribuer à identifier les points de blocage, les tensions et les leviers éventuels permettant à terme d'optimiser l'échappement des anguilles tout en pérennisant de manière durable les activités socio-économique qu'y en dépendent.

Questions

Questions générales à poser à tous :

1. Votre rapport au lac

- Quel est votre âge ? Votre lieu de résidence ? Votre profession ?
- Quel est votre lien avec le lac (utilisateurs, gestionnaires etc.) ?
- Depuis combien de temps utilisez-vous/connaissez-vous le lac ?
- Trouvez-vous qu'il y ait une ou des évolutions du lac ces dernières années? Si oui laquelle/lesquelles ?

2. Votre perception des enjeux et des problèmes du lac

- Selon vous, quels sont les enjeux principaux du lac ?
- Selon vous, y a-t-il des problèmes majeurs en lien avec ces enjeux et empêchant le bon fonctionnement du lac ?
- Que pensez-vous de la qualité biologique du lac ?

3. Votre avis sur la gestion et le niveau d'eau du lac (Une partie des réponses à ces questions peuvent émerger dès la partie précédente)

- Que pensez-vous de la gestion du niveau d'eau du lac ?
- Quel est pour vous et pour vos activités lacustres le niveau d'eau optimal (par saison) ?
- Quel est la fourchette autour de ce niveau optimal que vous jugez acceptable ?
- Pensez-vous que ces niveaux soient atteignables ? Et qu'ils soient compatibles avec les exigences des autres acteurs ?
- Est-ce qu'un fonctionnement naturel (i.e sans gestion anthropique du niveau de l'eau) du lac vous semble envisageable et réaliste ?

4. Votre avis sur la qualité de l'eau du lac

- Que pensez-vous de la qualité de l'eau ?
- Pensez-vous que celle-ci se soit dégradée ces dernières années ?
- Si oui, pour vous à quoi cela est-il dû ?
- Comment pensez-vous que cela puisse être amélioré ?

5. Êtes-vous une force de proposition entendue ?

- Avez-vous une idée des solutions à mettre en place pour une meilleure gestion du niveau de l'eau ? Pour résoudre les problèmes évoqués en partie 2 ?
- Echangez-vous avec les autres acteurs du lac vis-à-vis de ces problèmes ? Qu'est ce qui ressort de ces discussions ?
- Vous sentez vous écouté par les autres ?
- Des compromis sont-ils envisageables ? Sous quelles conditions ?

Questions spécifiques pour les pêcheurs :

- Avez-vous vu une évolution de la population d'anguille du lac cette année? Et par rapport au 10 dernières années ? Même question pour la fraction argentées ? (taille, poids, mais aussi sex-ratio, état de santé) Si oui, pour vous à quoi est-ce dû ?
- Si vous travaillez ailleurs, voyez-vous une différence (taille, poids, mais aussi sex-ratio, état général) entre les anguilles argentées du lac de Grand Lieu est celles pêchées ailleurs ?
- Pour vous quel est l'état de santé de cette fraction de la population ? (diff mâles/femelles)
- Comment expliquez-vous cet état de santé ?
- Pour vous quels sont les facteurs déclencheurs de la migration des anguilles argentées ?
- Pour vous, la qualité de l'eau impacte elle les anguilles argentées du lac ? Si oui dans quelles mesures ?
- Selon vous, le niveau d'eau est-il important pour les anguilles ? Les autres espèces de poissons ?
- En quoi les variations de niveau d'eau contraignent ou conditionnent votre travail ?
- Est-ce que la qualité de l'eau est contraignante pour votre activité et pour votre bien être ou votre santé ?

Questions spécifiques pour les agriculteurs :

- Pensez-vous que vos activités aient un impact sur le lac ? Si oui dans quelles mesures et sur quels aspects ?
- Comment vos activités s'organisent elles en fonction de la variation du niveau ?
- Quelles sont les contraintes liées au niveau de l'eau du lac ?
- Est-ce que vous souhaitez des changements ?

Questions spécifiques pour les gestionnaires des réserves :

- Comment les espèces et plus précisément les anguilles vivant à Grand Lieu sont-elles impactées par la qualité de l'eau?
- Quels seraient les impacts sur les espèces à protéger, les EEE, les espèces chassables, d'une gestion du niveau d'eau optimum* pour l'anguille?
- Quel est votre avis sur la population d'anguille du lac ?

Questions spécifiques pour les chasseurs :

- Comment les espèces vivant à Grand Lieu sont-elles impactées par la qualité de l'eau?
- Quels seraient les impacts sur les espèces chassées d'une gestion du niveau d'eau optimum* pour l'anguille?

Questions spécifiques services déconcentrés de l'état / des administrations :

- Y a-t-il eu une évolution des tensions autour du niveau d'eau du lac ces dernières années?
- Pensez-vous que l'amélioration de la qualité de l'eau du lac soulève autant de tension ?
- Quelles marges de manœuvre sont à prévoir dans le futur ?
- Le problème de gestion du niveau d'eau est-il toujours d'actualité ? Les mesures mise en place (règlement sur l'eau par exemple) sont-elles suffisantes ?
- La gestion actuelle du lac ne permettant pas encore d'atteindre les objectifs du plan Anguille, des actions sont à prévoir (ouverture appropriée du vannage et amélioration de la qualité de l'eau). Dans quelles mesures pensez-vous que ces actions soient réalisables ?

*Est considéré comme optimum un niveau permettant les migrations ascendantes et descendantes au moment où elles auraient lieu naturellement. A déterminer en fonction des années et de la variation des facteurs environnementaux déclencheurs de la migration. Prendre l'exemple de cette année.

Annexe 3 : Liste des personnes présentes au Comité de Pilotage du 09 Juin

- MNHN (Muséum National d'Histoire Naturelle) : M. ACOU Anthony, M. DANET Valentin, Melle CLAIRBAUX Manon
- Le bureau d'étude FISH PASS : M. MAZEL Virgile
- Le SMIDAP (Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la Pêche en Pays de la Loire) : M. LE FLOC'H Erwann
- L'AAPPED44 (Association Agréée des Pêcheurs Professionnels Eau Douce de Loire Atlantique) : M. MACE Didier et Mme PORCHER Nathalie.
- Les pêcheurs professionnels du lac de Grand Lieu : M. GUILLET Dominique, M. BATARD Fabrice, M. BAUDRY Frédéric et M. CLOUET Stéphane
- Le SAH (Syndicat d'aménagement hydraulique du sud estuaire) : M. DE VILLEPIN Hervé et M. GUINAUDEAU Pierre.
- La SNPN (Société Nationale de Protection de la Nature) : M. GILLIER Jean-Marc
- La Fédération de chasse de Loire Atlantique : M. SORIN Christophe
- L'AFB (Agence Française pour la biodiversité) : M. LAPOIRIE Patrick, M. MOCK Christian
- La DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) : M. RAIMBAULT Laurent
- La DDTM 44 (Direction Départementale des Territoires et de la Mer) : M. LE BARDS Pierrick.
- Le SBVGL (Syndicat du Bassin Versant de Grand-Lieu) : M. CHARRUAU François
- ARA France (Association pour le repeuplement de l'anguille en France) : GORNET Deborah
- Le COREPEM Pays de la Loire (Comité régional des Pêches et des élevages marins) : PENGRECH Alexis

