

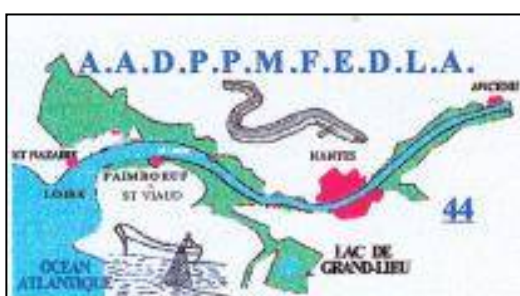
# Echappement Des Anguilles Argentées du lac de Grand Lieu (EDAAGL2) pour la saison d'avalaison 2016/17

## AUTEURS

DANET Valentin, MAZEL Virgile,  
BERTHELOT Yoann, CLAIRBAUX  
Manon, ACOU Anthony, CHARRIER  
Fabien, TRANCART Thomas,  
FEUNTEUN Eric

SEPTEMBRE 2018

Estimations de la production et du taux d'exploitation par la pêche par suivi PIT-tags, et étude des déplacements dans le plan d'eau et du franchissement de l'ouvrage de Bouaye par suivi acoustique



## - Résumé étendu -

Ce document doit être cité comme suit :

---

*Danet V., Mazel V., Berthelot Y, Clairbaux M., Acou A., Charrier F., Trancart T., Feunteun E., (2018). Echappement des anguilles argentées du lac de Grand Lieu pour la saison d'avalaison 2016/2017. Rapport du Muséum National d'Histoire Naturelle, Station marine de Dinard/CRESCO, 181 p.*

---

Ce projet est porté par le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et plus particulièrement par la station marine de Dinard, et l'UMS PatriNat. Il est financé par la Région des Pays de la Loire et l'Agence de l'eau Loire Bretagne dans la cadre de l'appel à projet annuel Pêche et Aquaculture de la collectivité régionale. L'organisation opérationnelle est effectuée par le bureau d'études FISH PASS responsable de la coordination des opérations sur le terrain en collaboration avec les pêcheurs professionnels de la société coopérative de Grand-Lieu, l'Association Agréée Départementale des Pêcheurs Professionnels Maritimes et Fluviaux en Eau Douce de Loire Atlantique (AADPPMFEDLA), le SMIDAP, l'équipe technique du MNHN et de l'UMS PatriNat basée à Dinard.

**Cette étude n'aurait pu être réalisée sans l'implication de nombreuses personnes que nous tenons**

**à remercier :**

les techniciens et chargés d'études du bureau d'études FISH PASS (BERTHELOT Y, TROGER F, ALLIGNE M, BONNAIRE F) pour leurs nombreuses interventions sur le terrain au cours de l'étude, LAMOUREUX Jézabel du MNHN de Dinard, LE FLOC'H Erwann du SMIDAP pour la coordination entre les différents intervenants du projet, les 7 pêcheurs professionnels en activité sur le lac de Grand Lieu pour leur participation active et leur collaboration tout au long de l'étude, la réserve naturelle de Grand Lieu pour la mise en place des hydrophones sur le plan d'eau (GILLIER Jean-Marc et GALLAIS Philippe), Dominique De Villepin et le SAH Sud Loire pour la mise en place des hydrophones sur le canal de la Martinière et la fourniture des données de gestion des vannes et les données de hauteur d'eau, Marie-Laure Bégout et l'équipe Ifremer de la Rochelle pour le prêt de leurs hydrophones, Pierrick Le Bars et ses collègues de la DDTM-44 qui ont permis le financement de l'achat d'émetteurs pour les anguilles mâles, Mr Brisson et Mme Veyrac pour nous avoir autorisés à installer des hydrophones sur leur propriété. Il faut également remercier Manon Clairbaux dont certains résultats présentés dans ce rapport ont été tirés de son master (Clairbaux M., 2017), et Juliette Champagnat qui a réalisé plusieurs analyses utilisées pour ce rapport.

## Résumé étendu

---

Considérée nuisible jusqu'en 1982, l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, L.) a désormais le statut d'espèce menacée selon les experts de la CITES et de l'UICN. Le déclin de l'espèce est lié à un ensemble de pressions anthropiques telles que la réduction de l'habitat, la contamination par les polluants organiques et métalliques, la surpêche, la rupture de la continuité écologique (obstacles), la détérioration de l'état sanitaire des anguilles (parasitisme, pollution, etc.) qui agissent à tous les stades de vie continentale de l'anguille (civelles, anguilles jaunes et argentées). Pour enrayer ce déclin et en accord avec le règlement européen (N°1100/2007) voté lors du Conseil du 18 Septembre 2007, chaque Etat Membre de l'Union Européenne a l'obligation de mettre en place un Plan de Gestion Anguille au niveau national (PGA). Ce PGA prévoit des mesures de reconstitution du stock telle que la réduction de la mortalité anthropique pour atteindre un objectif d'échappement vers la mer d'au moins 40 % de la biomasse d'anguilles argentées (stade sub-adulte qui repart en mer pour se reproduire) produites par les hydrosystèmes. Dans ce contexte, il est nécessaire de rassembler des données quantitatives sur les niveaux de production d'anguilles argentées. Cette estimation est une référence fondamentale pour comprendre le fonctionnement d'une sous-population d'anguilles, juger de la productivité des différents bassins et donc de leur contribution au stock de reproducteurs, et également d'orienter localement, à l'échelle d'un bassin versant, les mesures nécessaires pour assurer les cibles de gestion fixées (taux d'échappement d'au moins 40 % de la biomasse « originelle » en anguilles argentées).

Le projet EDAAGL qui a démarré en Septembre 2015 contribue à l'acquisition de données nécessaires pour répondre à ces objectifs réglementaires dans un site remarquable pour l'anguille, le lac de Grand Lieu. L'objectif de ce projet était entre autre (i) d'évaluer la qualité des anguilles argentées produites (âge, croissance, état sanitaire, etc.), (ii) d'estimer la production d'anguilles argentées dans le Lac et le taux d'exploitation par la pêche de celle-ci, par des méthodes de capture/marquage/recapture par PIT-tags (Passive Integrated Transponder) en collaboration avec la pêche professionnelle, puis (iii) d'évaluer le taux d'échappement en anguilles argentées jusqu'à l'estuaire de la Loire par des techniques de télémétrie acoustique. Le départ hors du lac et l'accès à l'estuaire restent limités par le fort aménagement des exutoires (présence de nombreux vannages et écluses) et la gestion anthropique des niveaux d'eau.

Les résultats acquis au cours de la première saison de dévalaison 2015/2016 particulière (crue tardive) ont montré tout d'abord que les anguilles argentées produites avaient des forts taux de croissance (10 cm/an) et étaient principalement des mâles (85%). Sur la base du suivi des recaptures

## - Résumé étendu -

au sein de la pêcherie de 524 anguilles argentées marquées individuellement par PIT-tags, la population annuelle du lac a été estimée à environ 215 000 anguilles argentées (soit 8,35 kg/ha). Le taux d'exploitation par la pêcherie a été évalué à 20,2 % (soit 1,67 kg/ha), ce qui a permis d'estimer un échappement à la pêcherie de 79,8 % (6,68 kg/ha) des anguilles argentées par rapport à la production sur cette saison 2015/2016. Le suivi acoustique réalisé sur 51 anguilles argentées femelles (longueur moyenne = 727 +/- 49 mm ; poids moyen = 782 +/- 201 g) a permis de montrer que l'échappement au lac était de 35 % pour la saison 2015/2016. Le barrage de Bouaye qui est le premier obstacle à franchir quand les anguilles tentent de sortir du Lac et rejoindre l'estuaire, est un point de blocage important à l'émigration. En effet, près de 45 % des individus équipés d'émetteurs acoustiques n'ont jamais été détectés à la sortie du lac, ni prélevés par la pêcherie au sein de ce dernier. Les résultats ont également montré que l'échappement du lac s'effectuait au cours de très courtes fenêtres temporelles et environnementales favorables liées principalement à l'élévation du niveau d'eau. Une fois ce vannage franchi, toutes les anguilles migrantes ont pu accéder à l'estuaire de la Loire. Il semble donc que 45 % des candidates à la migration n'ont pu émigrer fautes de bonnes conditions environnementales et de franchissabilité au cours de cette saison 2015/2016. La télémétrie a montré comme pour les PIT tags qu'environ 20 % des anguilles argentées sont capturées par la pêcherie.

Le devenir des 45% des anguilles qui n'ont ni dévalé ni été pêchées au cours de cette saison 2015/16 est resté inconnu. Aussi, nous avons conduit un second suivi consécutif (saison 2016/2017), afin de (i) consolider les estimations de production et d'échappement pour une seconde année hydrologique, (ii) confirmer l'étude des facteurs déclencheurs et (iii) mieux comprendre le devenir des anguilles argentées en échec de migration. Pour cela, le réseau acoustique au sein du lac a été significativement densifié (80 hydrophones au sein du lac et 5 dans l'exutoire). Pour cette seconde année, la production annuelle dans le lac a été estimée à 190 000 anguilles argentées (contre 215 000 en 2015/2016). 93,3 % des anguilles argentées étaient des mâles. Sur les 600 anguilles argentées marquées au PIT-tag cette saison, 16 % (0,98 kg/ha) ont été capturés par la pêcherie, soit un taux d'échappement à la pêcherie de 84 % (6,88 kg/ha).

Le suivi acoustique réalisé sur 82 individus (52 femelles et 30 mâles) du 28/10/2016 au 27/03/2017, indique que 18 anguilles (12 femelles et 6 mâles), soit 22 %, ont été capturées par la pêcherie. Et seulement 14 anguilles argentées ont réussi à quitter le lac, soit une moyenne de 14,95 % d'échappement sur les 78 % possible (23 % des femelles ont migré contre 6,7 % des mâles). Cependant, si l'on rapporte ces résultats de l'échappement observé par la télémétrie, au sex-ratio de la population du lac estimé par la CMR, le taux d'échappement de la population d'anguilles argentées du lac est de seulement **7,8 %**.

## - Résumé étendu -

Ce résultat est à modérer avec l'éventuelle perte de détection plus précoce des anguilles argentées mâles au vu de la durée de vie des émetteurs (5 mois) qui intervient au moment de l'ouverture des vannes. Cependant, plusieurs résultats ont montré que le résultat final de l'échappement total de la population d'anguille argentée se situe entre 7,8 % (minimum calculé pour les mâles) et 23 % (maximum détecté pour les femelles). D'une part, les anguilles mâles se déplacent en moyenne moins que les femelles et ont donc moins de chance de trouver la sortie. D'autre part, la migration des mâles est plus précoce à celle des femelles en milieu ouvert. Or, au sein du lac, l'échappement n'est possible qu'au moment de l'ouverture des vannes. Ce retard dans le timing de dévalaison des anguilles argentées mâles peut favoriser l'arrêt de migration et donc expliquer ce très faible taux d'échappement des anguilles mâles. De plus, une grande majorité des mâles n'était plus détecté dans le lac bien avant la fin de vie théorique des émetteurs (pêcherie, remontée des affluents ou mortalité), ce qui rentre en faveur d'un très faible échappement au lac des anguilles argentées mâles.

Cette seconde saison de suivi télémétrique a confirmé une nouvelle fois que le vannage de Bouaye est un obstacle important à l'émigration. Plusieurs tentatives d'échappement ont eu lieu avant l'ouverture du vannage, elles ont coïncidé avec les pics de capture réalisés par la pêcherie du mois de Novembre. Au total 19 anguilles se sont présentées devant les vannages pendant l'étude. Elles ont réalisé un total de 40 tentatives de franchissement en situation de vannage fermé conduisant à 40 échecs. Lorsque le vannage a finalement été ouvert, toutes les tentatives se sont déroulées avec succès provoquant l'échappement de 8 anguilles sur 8 tentatives. 4 anguilles supplémentaires se sont échappées du lac par surverse du vannage pendant sa fermeture et deux autres par surverse du seuil de Maison Blanche.

Au sein du lac, les comportements des anguilles étaient très variés. Certaines d'entre elles ont rapidement remonté l'Ognon (affluent du lac) pour ne plus revenir ou alors sont restées sédentaires dans une petite zone du lac. D'autres ont eu un comportement très exploratoire, parcourant plusieurs centaines de kilomètres sur presque toute la superficie du lac. L'analyse des distances journalières moyennes parcourues par les anguilles femelles, montrent que les anguilles capturées par la pêcherie sont celles qui ont été les plus actives. Il semble donc que les anguilles femelles les plus mobiles soient sélectionnées par la pêcherie. Dans ces conditions les anguilles les plus mobiles sont celles qui, logiquement, présentent la plus forte probabilité de capture alors que dans des conditions naturelles non perturbées, ce sont celles qui présentent statistiquement la plus forte probabilité d'échappement et de succès de dévalaison vers la mer.

Le devenir de certaines anguilles est désormais mieux compris. Cependant, le signal acoustique de plusieurs anguilles a été brusquement perdu dans le lac alors que la durée de vie des

## - Résumé étendu -

émetteurs n'était pas atteinte. Certaines ont remonté dans l'Ognon, d'autres ont disparu du système avec trois devenir possibles : prises par la pêche sans qu'elles soient détectées par les pêcheurs, prédation par des oiseaux ou des mammifères, refuge dans des zones où elles ne peuvent pas être détectées, qu'elles soient mortes ou vivantes.

Il est possible que certaines anguilles argentées survivent une ou plusieurs années, mais un très faible pourcentage dévale les années suivantes. En 2016-2017, 4 anguilles marquées en acoustique de la saison précédente ont été détectées après avoir été perdues. Mais elles n'ont pas été détectées à la sortie du lac. De plus, aucune anguille marquée lors de la CMR PIT tags de la saison 2015-2016 n'a été capturée lors de la saison 2016-2017.

On considère alors qu'aucune anguille restant dans le lac ne dévale et elles sont donc perdues pour la reproduction.

Ce suivi continu des anguilles argentées au sein du lac, nous a permis de voir que la pluviométrie et l'élévation du niveau d'eau sont à nouveau des facteurs déclencheurs de la migration, et que le vannage de Bouaye reste le facteur limitant de cette migration. Cependant, très peu d'anguilles ont réussi à s'échapper. Au sein d'un milieu fermé tel que le lac de Grand-Lieu, il existe des facteurs déclencheurs de la migration susceptibles de déclencher les comportements de migration, mais compte tenu de l'étendue du lac et de la faible pente, les gradients de courants et de qualité de l'eau restent insuffisants pour que toutes les anguilles parviennent à s'orienter vers la sortie.

En conclusion, les résultats montrent le fort potentiel de production d'anguilles argentées du lac de Grand Lieu comme en témoignent les forts niveaux de production et taux de croissance observés. Pour autant, l'échappement du lac semble problématique, seulement 25 % d'échappement en moyenne sur 2 ans (14,95 % en 2017 et 35 % en 2016) en raison d'une gestion inappropriée des vannages dont l'ouverture est conditionnée aux niveaux d'eau du Lac.

Durant les deux années d'études, l'hydrologie était exceptionnellement déficitaire, faible pluviométrie et débits limités ont provoqué des retards inhabituels de la montée des eaux qui impose habituellement l'ouverture des vannes. Les anguilles ne peuvent, évidemment, sortir que quand les vannes sont ouvertes durant les bonnes fenêtres environnementales et temporelles (élévations du niveau d'eau mêmes minimales) et physiologiques (timing de dévalaison) des anguilles. Ce type de situation est appelé à se renouveler dans le contexte du réchauffement climatique.

Il est urgent de revoir les modalités de gestion des vannes de Bouaye pour permettre l'échappement des anguilles du lac de Grand et atteindre ainsi les objectifs fixés par les règlements européens et le plan de gestion anguilles de la France.

## Sommaire

Résumé étendu.....	3
Sommaire .....	7
Table des figures.....	10
Table des tableaux.....	15
Table des annexes.....	16
1. Introduction.....	17
2. Matériels et méthodes.....	23
2.1 Présentation de l'espèce étudiée : l'Anguille européenne ( <i>Anguilla anguilla</i> ).....	23
2.1.1 Présentation.....	23
2.1.2 Aire de répartition.....	24
2.1.3 Cycle de vie.....	24
2.1.4 L'anguille européenne : une espèce « plastique ».....	25
2.1.5 Stade anguille jaune.....	26
2.1.6 Stade anguille argentée.....	26
2.2 Pressions qui s'exercent sur l'espèce dans le lac de Grand Lieu.....	27
2.2.1 Principales pressions d'origine naturelle.....	28
2.2.2 Principales pressions d'origine anthropique.....	30
2.3 Situation géographique de l'étude.....	32
2.3.1 La Loire.....	32
2.3.2 Le bassin versant du lac de Grand-Lieu.....	33
2.3.3 Le lac de Grand-Lieu.....	34
2.3.4 Un hydrosystème anthropisé et complexe.....	36
2.3.5 Historique de l'anthropisation du site.....	39
2.3.6 Une gestion complexe de l'eau.....	41
2.3.7 Présentation de l'ouvrage de régulation du niveau d'eau du lac de Grand Lieu (vannage de Bouaye).....	42
2.3.8 Hydrologie et niveau d'eau du plan d'eau.....	43
2.4 La pêche du lac de Grand-Lieu.....	51
2.4.1 Historique.....	51
2.4.2 Engin de pêche.....	51
2.4.3 Pratiques de pêche.....	52
2.4.4 Législation de la pêche sur le lac de Grand-Lieu.....	53
2.5 Suivi de la pêche et biométrie.....	54
2.5.1 Suivi de la pêche.....	54
2.5.2 Biométrie (caractérisation de la fraction exploitée).....	55

## - Sommaire -

2.5.3	Biométrie spécialisée (qualité des géniteurs produits) CAMPAGNE 2015-2016 .....	56
2.6	<b>Méthode CMR PIT-Tag .....</b>	<b>64</b>
2.6.1	La technique de marquage aux PIT-Tags.....	64
2.6.2	CMR (Capture Marquage Recapture) .....	66
2.6.3	Estimation des taux d'échappement et d'exploitation sur les anguilles du lac de Grand-Lieu.....	72
2.7	<b>Suivi acoustique .....</b>	<b>73</b>
2.7.1	Principe de la méthode .....	74
2.7.2	Le marquage des anguilles argentées .....	74
2.7.3	Le réseau d'hydrophones acoustiques mis en place .....	77
2.7.4	Transformation des données de détection .....	80
2.7.5	L'apport des reconstructions de trajectoires .....	84
2.7.6	Données environnementales .....	84
2.7.7	Test des facteurs déclencheurs .....	84
2.7.8	Le devenir des anguilles marquées.....	86
3.	<b>Résultats .....</b>	<b>89</b>
3.1	<b>Suivi de la pêche et biométrie .....</b>	<b>89</b>
3.1.1	Suivi de la pêche .....	89
3.1.2	Biométrie : Caractéristiques de la fraction exploitée .....	95
3.1.3	Biométrie spécialisée : qualité des géniteurs produits.....	101
3.1.4	Sexage CAMPAGNE 2015-2016 .....	109
3.1.5	Comparaison pêche saison 2015-2016 et 2016-2017 .....	110
3.2	<b>Capture Marquage Recapture aux PIT-Tags .....</b>	<b>119</b>
3.2.1	Caractéristiques des individus marqués.....	119
3.2.2	Test de perte de marque et de mortalité.....	120
3.2.3	Partie recapture.....	122
3.2.4	Estimation des taux d'échappement et d'exploitation sur les anguilles du lac de Grand-Lieu.....	123
3.2.5	Comparaison saison 2015-2016 et 2016-2017 .....	125
3.3	<b>Suivi acoustique .....</b>	<b>126</b>
3.3.1	Le taux d'échappement.....	126
3.3.2	Taux d'exploitation .....	132
3.3.3	Devenir des anguilles au statut inconnu .....	133
3.3.4	Les comportements au sein du lac : distances cumulées et influences environnementales.....	138
4.	<b>Discussion .....</b>	<b>150</b>
4.1	<b>Estimation de l'abondance de la population d'anguilles argentées et de la pêche .....</b>	<b>150</b>
4.1.1	Prélèvement par la pêche professionnelle .....	150
4.1.2	Caractéristiques de la population d'anguilles argentées.....	151

## - Sommaire -

4.1.3	Qualité des anguilles argentées .....	152
4.2	Une forte production d'anguilles argentées, divisée par 3 en 25 ans .....	153
4.2.1	Estimation des abondances .....	153
4.3	Un taux d'échappement anormalement bas .....	156
4.3.1	Mortalité par la pêche professionnelle .....	158
4.3.2	Les anguilles qui ne dévalent pas meurent dans le lac .....	158
4.3.3	Une orientation difficile dans le lac .....	159
4.3.4	Conclusion-synthèse .....	160
4.4	Perspectives pour la gestion .....	161
4.4.1	Faciliter l'activité de prospection dans le lac .....	161
4.4.2	Améliorer le franchissement des barrages .....	162
6.	Bibliographie .....	164
7.	Annexes .....	175

## Table des figures

Figure 1 : Carte représentant les différentes UGA, l'UGA concerné lors de cette étude est matérialisée par une bordure rouge. (EauFrance, modifié par D.SIMON) .....	18
Figure 2 : Carte représentant la zone où des estimations de flux d'anguilles argentées sont réalisées (Loire moyenne, zone rouge) et les quatre zones, dont le lac de Grand-Lieu où ces données sont manquantes malgré le fort potentiel de ces zones (Loire aval, zone jaune) (A Acou, MNHN de Dinard, modifié par D.SIMON).....	20
Figure 3 : Aire de répartition continentale et océanique de l'anguille européenne ( <i>Anguilla anguilla</i> ) (Adam, 1997).....	23
Figure 4 : Cycle biologique de l'anguille européenne ( <i>Anguilla anguilla</i> ). (Adam, 1997).....	25
Figure 5 : Localisation géographique du lac de Grand-Lieu (D.SIMON) .....	33
Figure 6 : Cartographie du bassin versant du lac de Grand-Lieu. (Papon, 2004).....	34
Figure 7 : Zonation des différents milieux (SNPN).....	35
Figure 8 : Localisation des zones de protection sur le lac de Grand Lieu (SNPN) .....	36
Figure 9 : Schématisation du réseau hydraulique entre le lac de Grand-Lieu et la Loire (sans échelle ni proportion). (SAH Sud-Loire). .....	38
Figure 10 : Schéma de l'évolution du niveau d'anthropisation du site (CARAGUEL JM) .....	40
Figure 11 : Gestion d'été du réseau situé à l'aval du lac de Grand Lieu (SAH) .....	41
Figure 12 : Gestion d'hiver du réseau situé à l'aval du lac de Grand Lieu (SAH).....	41
Figure 13 : Vue de coté de l'ouvrage de Bouaye (FISH PASS) .....	42
Figure 14 : Vue aval de l'ouvrage de Bouaye (FISH PASS).....	42
Figure 15 : Comparaison des chroniques de niveau d'eau sur la période d'étude (moyennes annuelles sur 136 années de suivis (1880 à 2016) moy = 2 m ; min = 1.06 m ; max = 4.11 m).....	44
Figure 16 : Gestion du vannage de Bouaye .....	45
Figure 17 : Vue aval des 5 vannes de l'ouvrage de Bouaye (FISH-PASS).....	46
Figure 18 : Vanne centrale le 28 février 2017 (FISH-PASS) .....	46
Figure 19 : Surverse par la vanne centrale le 15 mars 2017 (FISH-PASS) .....	47
Figure 20 : Débit de sortie des vannes de Bouaye- Modélisation hydraulique (ISL).....	48
Figure 21 : Position du passage de Maison Blanche (géoportail) .....	48
Figure 22 : Sens d'écoulement de la surverse (géoportail) .....	49
Figure 23 : Aval du seuil de Maison Blanche par surverse (FISH-PASS).....	49
Figure 24 : Aval du seuil de Maison Blanche hors surverse (FISH-PASS).....	50
Figure 25 : Période de passage potentiel par Maison Blanche .....	50
Figure 26 : Représentation d'un verveux utilisé sur le lac. Les chiffres 1,2 et 2a représentent respectivement, la paradière ou nappe, la poche principale et les deux poches de refus. (G. Adam).....	52
Figure 27 : Historique de la législation instaurant les zones légales de pêche à l'anguille sur le lac de Grand-Lieu (Source : PGA + Arrêtés, données compilées par D. SIMON) .....	54
Figure 28 : Paradière en place sur le lac de Grand Lieu (V MAZEL).....	54

## - Table des figures -

Figure 29 : Tri des anguilles jaunes sur le bateau lors d'une relève de verveux (V MAZEL).....	55
Figure 30 : Extrait du guide pathologies sur l'anguille (Beaulaton et Penil., 2009).....	58
Figure 31 : Extraction de la vessie natatoire, dissection puis comptage des parasites dans la vessie natatoire sur une anguille argentée du lac de Grand Lieu (FISH PASS).....	59
Figure 32 : Observation macroscopique des gonades d'anguilles européennes (Beullens et al., 1997 in Beaulaton et Penil 2009) .....	61
Figure 33 : Photo d'otolithe d'une anguille argentée du lac de Grand Lieu (FISH PASS).....	63
Figure 34 : Présentation schématique du principe de la méthode CMR (quizlet.com) .....	64
Figure 35 : Schéma de principe de communication électromagnétique entre le TAG et le lecteur (electronics.stackexchange.com).....	65
Figure 36 : PIT TAG 12 mm et injection dans une anguille (FISH PASS) .....	65
Figure 37 : Création d'une trémie sur mesure pour la lecture automatisée des anguilles marquées au PIT TAG (FISH PASS).....	65
Figure 38 : Photographies représentant, à gauche le lecteur PIT-tag et à droite le dispositif mis en place sur les bateaux pour cette étude. (FISH PASS) .....	66
Figure 39 : Lecteur enregistreur de PIT TAG et injection de PIT TAG (FISH PASS) .....	67
Figure 40 : Mesure de diamètre oculaire et de la pectorale (FISH PASS) .....	68
Figure 41 : Séance de marquage au PIT TAG dans le cadre de la CMR (FISH PASS).....	69
Figure 42 : Viviers de stockage des anguilles destinées au marquage (FISH PASS) .....	69
Figure 43 : Relâche des individus marqués sur le plan d'eau avec un bateau mis à disposition par un pêcheur professionnel (FISH PASS) .....	70
Figure 44 : Localisation des sites de remise à l'eau, figurée par des points rouges, des individus marqués par PIT TAGS (FISH PASS).....	70
Figure 45 : Vivier et côme sur les bateaux des pêcheurs du lac (FISH PASS).....	71
Figure 46 : Représentation schématique du signal émis par les tags acoustiques (Tiré de Mazel, 2017).....	75
Figure 47 : Représentation schématique de la mise en place d'un hydrophone et de l'aire de détection associée .....	78
Figure 48 : Réseau complet mis en place entre le 28 Octobre 2016 et le 27 Mars 2017 (point rouge = hydrophone Thelma ; point noir = hydrophone Vemco ; X = zone de relâche).....	79
Figure 49 : Exemple du résultat des tests de buffer sur les 3 hydrophones directement en aval du vannage de Bouaye (tiré de Trancart et al., 2017) .....	80
Figure 50 : Arbre de décision pour la suppression des fausses détections (tiré de Clairbaux, 2017).....	81
Figure 51 : Illustration de la première étape de reconstruction des trajectoires (tiré de Clairbaux, 2017) .....	82
Figure 52 : Illustration de la deuxième étape de la reconstruction des trajectoires (tiré de Clairbaux, 2017) .....	82
Figure 53 : Test ANOVA permettant de comparer les méthodes de reconstruction (tiré de Clairbaux, 2017) .....	83
Figure 54 : Délimitation des zones au sein du lac de Grand Lieu utilisées pour l'étude des facteurs déclencheurs de la migration (point rouge = hydrophones) (d'après Clairbaux, 2017) .....	85
Figure 55 : Suivi embarqué lors de la relève des engins sur le lac de Grand Lieu (FISH PASS) ...	89

## - Table des figures -

Figure 56 : Cinétique des captures cumulées d'anguilles argentées par la pêche professionnelle. D'après les données récoltées via les fiches de suivi et les suivis terrain .....	91
Figure 57 : Evolution des captures d'anguilles argentées par semaine. D'après les données récoltées via les fiches de suivi et les suivis terrain .....	91
Figure 58 : Localisation spatiale des verveux en fonction de la période (données récoltées lors du suivi des pêcheurs professionnels). Les cercles représentent les verveux posés lors du début de saison alors que les carrés correspondent aux verveux posés en fin de saison. ....	92
Figure 59 : Evolution des efforts de pêche par semaine sur la durée de la saison de pêche à l'anguille argentée. D'après les données issues des fiches de suivi et des suivis terrain.....	93
Figure 60 : Evolution des CPUE (moyennes) par semaine. D'après les données issues des fiches de suivi et des suivis terrain. ....	94
Figure 61 : Relève d'un verveux sur le lac de Grand Lieu (V MAZEL).....	94
Figure 62 : Evolution du taux d'argenture moyen par semaine au cours de la période d'étude. D'après les données récoltées lors des biométries.....	95
Figure 63 : Anguilles jaune et argentée de même taille (V MAZEL).....	96
Figure 64 : Evolution des proportions des anguilles argentées des deux sexes au cours du temps. D'après les données récoltées lors des biométries. ....	96
Figure 65 : Evolution de la taille moyenne des anguilles argentées. ....	97
Figure 66 : Répartition des anguilles étudiées en classes de taille en fonction de leur stade. D'après les données récoltées lors des biométries.....	98
Figure 67 : Répartition des quantités d'anguilles argentées pêchées en fonction des classes de taille.....	99
Figure 68 : Graphique représentant la relation taille-poids pour les anguilles argentées.....	100
Figure 69 : Graphique représentant la relation taille-poids pour les femelles .....	100
Figure 70 : Graphique représentant la relation taille-poids pour les mâles .....	101
Figure 71 : Qualité des géniteurs vis-à-vis des lésions externes.....	102
Figure 72 : Répartition des types de lésions externes.....	102
Figure 73 : Répartition des niveaux d'importance des lésions externes.....	103
Figure 74 : Photo de « kystes » dans les nageoires (CODAGE AGNX) (FISH PASS) .....	103
Figure 75 : Vessie natatoire en cours de dissection contenant des parasites (FISH PASS).....	104
Figure 76 : Qualité des géniteurs vis-à-vis du parasitisme par <i>A. crassus</i> .....	105
Figure 77 : Evaluation de la charge parasitaire des individus actuellement parasités (sacrifiés en janvier 2016) .....	105
Figure 78 : Proportion des individus parasités ou ayant été parasités par <i>A. crassus</i> et présentant des lésions internes .....	106
Figure 79 : Répartition des anguilles argentées en fonction de l'âge (sans rétro-calcul) .....	107
Figure 80 : Relation longueur total de l'individu-rayon total de l'otolithe pour les 102 individus .....	108
Figure 81 : Otolithe d'une anguille argentée de Grand Lieu (FISH PASS) .....	108
Figure 82 : Répartition des individus sexés (N=102) .....	109
Figure 83 : Gonade d'anguille femelle (FISH PASS) .....	109
Figure 84 : Cinétique des captures cumulées d'anguilles argentées par la pêche professionnelle.....	110

## - Table des figures -

Figure 85 : comparaison de l'évolution des captures d'anguilles argentées par semaine entre 2015 et 2016 .....	111
Figure 86 : comparaison de l'évolution des efforts de pêche (2015 et 2016) par semaine sur la durée de la saison de pêche à l'anguille argentée .....	112
Figure 87 : comparaison des CPUE (moyennes) par semaine entre 2015 et 2016 pour l'anguille argentée .....	113
Figure 88 : comparaison des taux d'argentures moyen par semaine au cours de la période d'étude.....	114
Figure 89 : comparaison des proportions de femelles au cours de la saison de pêche entre 2015 et 2016 .....	115
Figure 90 : comparaison des classes de taille des individus argentés mesurés entre 2015 et 2016 .....	116
Figure 91 : comparaison des classes de taille des individus argentés pêchés entre 2015 et 2016 .....	116
Figure 92 : comparaison des relations taille/poids pour les individus argentés, mâles et femelles entre les années 2015 et 2016 (en bleu 2015 et rouge 2016) .....	117
Figure 93 : Comparaison de la Qualité des géniteurs vis-à-vis des lésions externes (biométrie réalisé sur les individus destinés aux marquages) .....	118
Figure 94 : Comparaison des différents types de lésions observées entre 2015 et 2016 .....	118
Figure 95 : Répartition des individus marqués en classes de taille.....	119
Figure 96 : Couve utilisée par les pêcheurs professionnels pour stocker les anguilles sur le lac de Grand Lieu (FISH PASS) .....	121
Figure 97 : Photographies des anguilles morte durant le test de rétention de marque (A gauche : présence d'une infection, A droite présence d'une nécrose au point d'insertion) (FISH PASS) .....	121
Figure 98 : Représentation de la cinétique des recaptures des anguilles marquées aux PIT-tags lors des quatre séances de marquage (M1 à M4) .....	122
Figure 99 : Comparaison des classes de tailles des individus marqués au PIT TAG entre 2015 et 2016 .....	125
Figure 100 : Synchronisation entre échappement au lac et gestion des vannes (3 voies de passages : centre noir = surverse ; centre rouge = maison blanche ; rouge plein = sous les vannes) .....	128
Figure 101 : Nb anguilles ayant quitté le lac (vert) et étant resté dans le lac (rouge).....	129
Figure 102 : Résultats des BRT pour la modélisation du passage de la zone 1 à la zone 2. (Pour chaque variable : $y > 0$ = variable favorable au passage ; $y < 0$ = variable non favorable au passage) (tiré de Clairbaux, 2017) .....	130
Figure 103 : Résultats BRT pour la modélisation du passage de la zone 2 à la zone 3. (Pour chaque variable : $y > 0$ = variable favorable au passage : $y < 0$ = variable non favorable au passage) (tiré de Clairbaux, 2017) .....	131
Figure 104 : Résultats BRT pour la modélisation du passage de la zone 3 à la zone 4. (Pour chaque variable : $y > 0$ = variable favorable au passage : $y < 0$ = variable non favorable au passage) (tiré de Clairbaux, 2017) .....	132
Figure 105 : Evolution de la population d'anguilles argentées femelles au sein du lac au cours du temps .....	134
Figure 106 : Représentation des dernières positions connues des 24 anguilles femelles dont le devenir est inconnu (Point foncé = superposition de points). .....	135

## - Table des figures -

Figure 107 : Représentation des zones de détections des anguilles de la saison 2015/2016. Les points bleus représentent les hydrophones VEMCO qui détecte les anciens émetteurs et les points rouge représente les hydrophones THLEMA qui ne détecte pas les anciens émetteurs (cerle rouge = N°30, cercle violet = N°53, cercle vert = N°27 et N°61) .....	137
Figure 108 : Représentation des distances cumulées parcourue pour chaque anguille femelle resté dans le lac dans le temps (Trait plein = disparue dans le lac ; Tiret = pêchée en dehors de la période de pêche) .....	140
Figure 109 : Représentation des distances cumulées parcourue pour chaque anguille femelle s'étant échappée du lac dans le temps .....	141
Figure 110 : Représentation des distances cumulées parcourue pour chaque anguille femelle ayant été pêchée dans le temps .....	142
Figure 111 : Représentation des positions journalières (par reconstruction et interpolation) des anguilles 30 à gauche (119 jours de suivis) et 16 à droite (141 jours de suivis) au sein du lac de Grand Lieu .....	143
Figure 112 : Boxplot du résultat du test de comparaison de moyenne (Boite de dispersion) pour les anguilles femelles .....	145
Figure 113 : Représentation des distances parcourues cumulées par anguille argentée mâle marquée (trait plein = resté dans le lac ; trait pointillé = sortie du lac ; tiret = pêchée) .....	147
Figure 114 : Corrélogramme entre les précipitations journalières et les distances journalières parcourue par anguille argentée mâle.....	148
Figure 115 : Représentation des dernières positions des anguilles argentées mâles (rouge foncé = superposition de points).....	149
Figure 116 : Bilan comparatif du devenir des anguilles argentées dans le lac de Grand Lieu sur les deux années de suivis (Orange = femelle ; Bleu = mâle) (fonf vert = sortie du lac ; fond noir = capturée par la pêcherie ; fond gris = resté dans le lac) .....	157
Figure 117 : Photo de la bouée de signalisation d'un hydrophone dans le lac de Grand Lieu .....	178
Figure 118 : Photo de l'extraction des données d'un hydrophone Thelma sur le lac .....	178
Figure 119 : Photo du système de fixation d'un hydrophone sur le lac .....	179
Figure 120 : Photo de l'extraction de données d'un hydrophone VEMCO sur le lac (1) .....	179
Figure 121 : Photo de l'extraction d'un hydrophone VEMCO sur le lac (2).....	180

**Table des tableaux**

Tableau 1 : Historique de la législation instaurant les périodes légales de pêche à l'anguille sur le lac de Grand-Lieu (Source : PGA + Arrêtés, données compilées par D. SIMON) .....	53
Tableau 2 : Classes de qualité à partir de l'indice pathologique général (Elie et Girard 2014)	56
Tableau 3 : Notation des indices d'altération de la vessie natatoire (Lefebvre et al., 2002) ....	60
Tableau 4 : Stade de maturation des anguilles argentées marquées (méthode de Durif et al., 2005) et mesure des variables morphologiques : longueur totale (LT), poids total (PT), diamètre oculaire (DO) et longueur pectorale (LP). Les Moyennes et écart-types associés sont représentés. ....	76
Tableau 5 : Récapitulatif des jours de suivi, de biométrie et du nombre d'individus passés en biométrie. Les différentes couleurs sont chacune assignées à un pêcheur professionnel du lac de Grand-Lieu .....	90
Tableau 6 : Caractéristiques des individus passés en biométrie .....	97
Tableau 7 : Tableau des correspondances des principales abréviations utilisées lors de l'étude des lésions externes .....	101
Tableau 8 : Caractéristiques des individus conservés pour la parasitologie (N=102) .....	104
Tableau 9 : Fréquence des SDI sur les individus analysés .....	106
Tableau 10 : clé taille / âge .....	108
Tableau 11 : Caractéristiques des individus marqués aux PIT-tags et relâchés (les individus vivant à l'issue du test de mortalité et perte de marque ont également été relâchés (N=21)).	119
Tableau 12 : Comparaisons des caractéristiques morphologiques des individus issus du lot « marqué » et du lot « témoin » .....	120
Tableau 13 : Tableau de synthèse des captures par sexe sur la saison de pêche 2016-2017.	123
Tableau 14 : Récapitulatif des recaptures hebdomadaires d'individus marqués aux PIT-tags selon leurs lots de marquage. Table d'entrée du logiciel SPAS calculant une estimation de l'abondance en anguille argentée et le taux d'exploitation .....	123
Tableau 15 : Synthèse des résultats obtenus grâce au logiciel SPAS .....	124
Tableau 16 : Récapitulatif des recaptures hebdomadaires d'individus marqués aux PIT-tag selon leurs lots de marquage. Table d'entrée du logiciel SPAS calculant une estimation de l'abondance en anguille argentée et le taux d'exploitation. (Marquage 4 exclus) .....	124
Tableau 17 : Synthèse des résultats obtenus pour la saison 2016/17 grâce au logiciel SPAS ..	125
Tableau 18 : Comparaison des tests de perte de marque et de mortalité (PIT TAG) entre 2015 et 2016 .....	125
Tableau 19 : Distance moyenne parcouru par jour pour chaque type d'anguilles femelles marquées (mètres) .....	138
Tableau 20 : Comparaison des distances moyennes journalières (en mètres) réalisées par catégories d'anguilles .....	145

**Table des annexes**

Annexe 1 : Caractéristiques techniques des émetteurs hydroacoustiques implantés (THELMA) ..... 175

Annexe 2 : Caractéristiques techniques des récepteurs hydroacoustiques installés (hydrophones VEMCO) ..... 175

Annexe 3 : Caractéristiques techniques des récepteurs hydroacoustiques installés (hydrophones THELMA) ..... 176

Annexe 4 : Dates des marquages et nombre d'anguilles argentées marquées ..... 176

## 1. Introduction

---

Considérée nuisible jusqu'en 1982 (Adam, 1997 ; Durif, 2003), l'anguille européenne *Anguilla anguilla* (L, 1758) a désormais le statut d'espèce menacée selon les experts de la CITES (convention de Washington). Depuis les années 1970, la population d'anguille est en constante régression (Moriarty & Dekker, 1997 ; Dekker, 2004). Des mesures de gestion ont été mises en œuvre pour diminuer la part de mortalité d'origine anthropique et ainsi permettre une restauration du stock (Adam, 2008). L'Union Européenne a donc mis en place un règlement européen, décliné en plan de gestion pour chaque état membre (règlement n°1100/2007) du 18 septembre 2007 instituant une reconstitution du stock d'anguilles européennes. Chaque pays membre a dû proposer un plan de gestion au niveau national. Le plan de gestion français a été accepté par la Commission européenne le 15 février 2010 (Plan de Gestion Anguilles (PGA) - volet national). L'Etat a demandé à chaque organisme responsable du bassin versant considéré, dénommés comme unités de gestion anguille (UGA), de réaliser un plan de gestion propre. Ces UGA au nombre de neuf, ont été déterminées selon les critères validés par le Comité de Gestion des Poissons Migrateurs (CoGePoMi). L'étude présentée s'est déroulée au sein de l'UGA Loire, côtiers vendéens (LCV) (Figure 1).

## - Introduction -

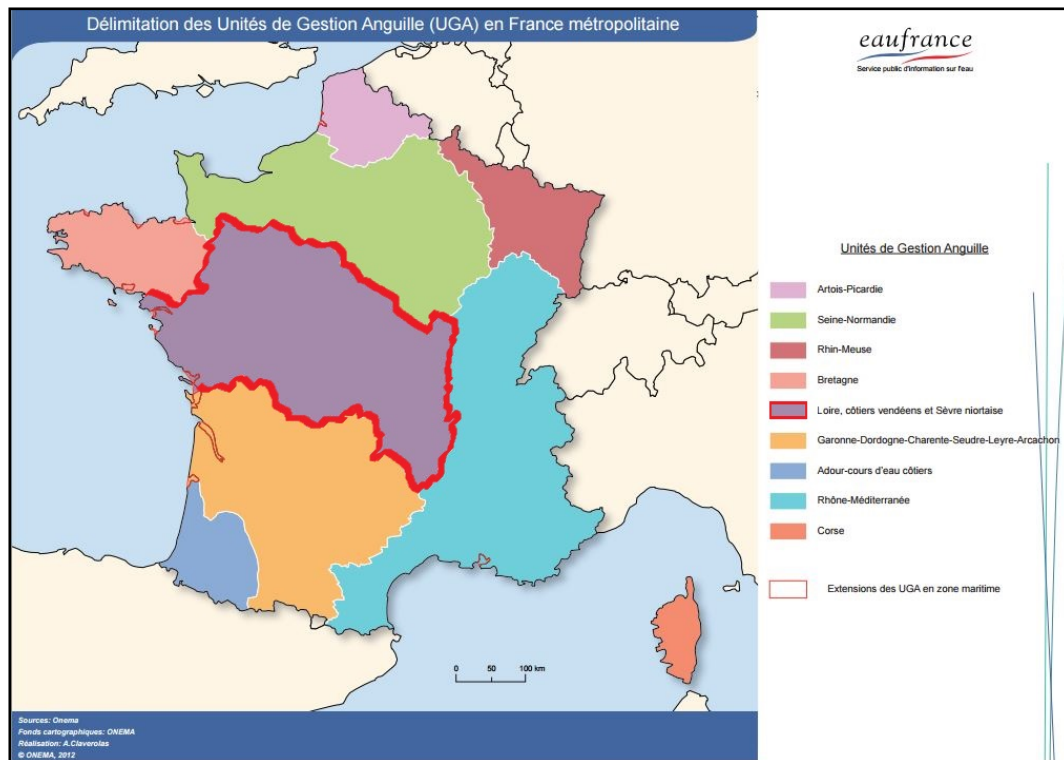


Figure 1 : Carte représentant les différentes UGA, l'UGA concerné lors de cette étude est matérialisée par une bordure rouge. (EauFrance, modifié par D.SIMON)

L'objectif de chaque plan de gestion est de réduire la mortalité anthropique afin d'assurer, avec une grande probabilité, un taux d'échappement (pourcentage d'individus argentés produits) vers la mer d'au moins 40 % de la biomasse « pristine<sup>1</sup> » d'anguilles argentées. Ceci correspondant à la meilleure estimation possible du taux d'échappement, qui aurait été observé si le stock n'avait subi aucune influence anthropique (N°1100/2007 du PGA). Ainsi, il est nécessaire de rassembler des données précises et fiables sur l'abondance et l'échappement des anguilles argentées.

Ce taux d'échappement dépend de nombreux facteurs qu'ils soient naturels ou anthropiques. En effet, l'anguille est soumise à de nombreuses pressions au cours de son cycle de vie continental telles que la prédation, la modification et réduction de leurs habitats de croissance, la rupture de continuité écologique (obstacles), la détérioration de leur condition de vie et de leur état de sanitaire (pollution, parasitisme...) mais également les pressions de pêche qui interviennent à tous les stades de vie de l'espèce (civelles, anguilles jaunes, anguilles argentées).

Le plan de gestion « anguille » préconise, dans le but de garantir un taux d'échappement en rapport avec les objectifs à atteindre, d'initier des réductions des différents facteurs de mortalités et d'acquérir des données sur la biologie de l'anguille. Pour la réduction des facteurs de mortalité, il a été demandé, à la pêche professionnelle, une réduction de 30 % des mortalités, à tous les stades.

<sup>1</sup> Pristine : en l'absence de toute activité anthropique. Faute de données de référence, le règlement propose d'utiliser les données historiques d'avant 1980 comme référence.

## - Introduction -

Pour cela, les pêcheurs professionnels ont vu leur exploitation encadrée par la mise en place de quotas de captures pour la civelle, d'une réduction de la durée de la période d'exploitation de l'anguille jaune (passant de 7 à 5 mois entre 2009 et 2011) et d'une réglementation qui limite la période de pêche à l'anguille argentée (du 1er octobre au 15 janvier) (Plan de Gestion Anguilles - volet national). A l'heure actuelle, la mortalité par la pêche au stade « civelle » a été réduite de 72.7 % (par rapport à la période de référence 2004/2008) (Rapport de mise en œuvre du PGA, juin 2015). Il est à l'heure actuelle difficile d'estimer l'évolution de la mortalité par la pêche des stades « jaune » et « argenté » faute de données fiables sur le territoire national. Afin de résoudre ce problème, le PGA demande d'approfondir les connaissances sur l'anguille et sur le niveau de production d'anguilles des grands hydro-systèmes français en lien avec le taux de prélèvement des pêcheries en place sur ces derniers.

Afin de répondre aux objectifs du PGA, différents projets ont été menés sur la Loire. Il existe notamment une étude sur l'échappement des anguilles argentées en Loire moyenne (en amont de la zone de marée dynamique). Cette étude a débuté en 2001 en association avec les pêcheurs professionnels de Loire (AAPPBLB<sup>2</sup>), le MNHN et l'Université de Tours, elle a pu couvrir 7 saisons de pêche d'avalaison<sup>3</sup> (Acou *et al.*, 2015). L'ensemble du « système Loire » n'est pas couvert par cette étude et ces données ne peuvent pas être extrapolées à l'ensemble de la masse d'eau présente à l'aval de la zone d'étude. En effet, comme le montre la Figure 2, il existe, au sein du bassin versant de la Loire, 4 zones supposées à fort potentiel de production d'anguilles argentées non couvertes : la Sèvre nantaise, la Brière, l'Erdre et le lac de Grand-Lieu. Il n'existe pas à l'heure actuelle de données de productions d'anguilles argentées sur ces 4 zones.

---

<sup>2</sup> AAPPBLB : Association Agréée des Pêcheurs Professionnels en eau douce du Bassin Loire-Bretagne

<sup>3</sup> Avalaison : Descente des anguilles de la rivière vers la mer.

## - Introduction -



Figure 2 : Carte représentant la zone où des estimations de flux d'anguilles argentées sont réalisées (Loire moyenne, zone rouge) et les quatre zones, dont le lac de Grand-Lieu où ces données sont manquantes malgré le fort potentiel de ces zones (Loire aval, zone jaune) (A Acou, MNHN de Dinard, modifié par D.SIMON)

Les travaux de thèse de Gilles Adam soutenue en 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 » apportent de nombreux éléments sur la pêche (nombre de pêcheurs, effort de pêche, stratégie de pêche, engins utilisés, évolution des captures au cours de la saison, synthèse historique des captures, exploitation halieutique...), sur la biologie et la dynamique de la sous population d'anguilles (âge, croissance, relation taille-âge, captures aux âges, structure de la population, estimation de la population...). L'ensemble des données sur la biologie traitées dans le cadre de la thèse reposent sur les données d'âge obtenues par otolithométrie et les caractéristiques d'argenture des individus ne sont pas abordées.

Concernant la thématique de la production d'anguille argentées et de l'échappement de celles-ci il n'y a pas d'éléments de réponse disponibles. Dans le cadre de sa thèse il était initialement prévu d'étudier et caractériser le flux migrant d'anguilles argentées sortant du système lacustre, cependant cette thématique n'a pu être traitée à cette période. Comme il le souligne lui-même : « Les départs des anguilles argentées vers leur lieu de reproduction n'ont pu être observés durant la période d'étude, nous pensons que les anguilles prêtes à migrer ont été bloquées par la fermeture du vannage durant la phase propice à la migration », « Une autre étude complémentaire doit être envisagée pour déterminer les caractéristiques du flux migrant d'anguilles argentées sortant du système lacustre. Prévu à l'origine dans le cadre de nos travaux, le suivi des départs d'anguilles argentées vers l'exutoire du lac n'a pas permis l'observation du flux. Les anguilles cherchant à quitter

## - Introduction -

le lac sont en partie capturées par les pêcheurs professionnels, mais une fraction parvient généralement à rejoindre l'exutoire constituant ainsi un potentiel reproducteur supplémentaire pour l'espèce, à condition que ces anguilles échappent à la pêcherie située en aval du lac (estuaire de la Loire). Le protocole d'échantillonnage que nous avons utilisé semble opérationnel pour quantifier sur une période de temps déterminée les départs d'anguilles argentées vers l'exutoire, il semble que ce soit les conditions environnementales particulières de l'année d'étude qui aient conduit à un blocage de la migration. Le suivi d'une autre saison de migration pourrait préciser nos observations. ».

La présente étude propose donc d'obtenir des données de production d'anguilles argentées, de comportement et d'échappement sur le lac de Grand-Lieu. Cette zone d'étude sera par la suite plus précisément présentée. Le lac de Grand Lieu compte parmi les « zones humides d'importance majeure pour le bassin de la Loire » (PGA Loire) avec une surface en eau variant de 3900 ha en été à plus de 6000 ha en hiver, ce lac est considéré comme étant le plus grand lac naturel de plaine français. De plus, il possède une grande diversité d'habitats (nupharaies, etc.) ainsi qu'une faible profondeur (moy = 1.60 m ; max = 4 m) ce qui contribue à faire de ce site un lieu privilégié pour la production d'anguilles. L'étude sur la production et l'échappement des anguilles argentées sur ce plan d'eau a pu être réalisée avec l'appui des pêcheurs professionnels exerçant sur ce plan d'eau. Cette activité de pêche professionnelle, est présente sur le lac depuis de très nombreuses années.

**L'acquisition de données par cette étude doit permettre d'apporter des éléments pour répondre aux objectifs du PGA vis-à-vis du lac de Grand-Lieu et de consolider les informations acquises sur les pratiques de pêches sur ce plan d'eau**

Une première étude visant à répondre à ces objectifs a eu lieu lors de la saison 2015/2016. Pour des raisons hydrologiques particulières (pluviométrie très faible avec une élévation du niveau d'eau tardive), une seconde année de suivi (2016/2017) a été reconduite afin de consolider les données et combler le manque d'information de la saison précédente.

### **Le projet s'articule autour de deux axes :**

- **Estimation du taux d'exploitation des anguilles argentées et du taux d'échappement associé à la pêcherie professionnelle sur le lac de Grand-Lieu, uniquement pendant la période de pêche légale et sur la zone autorisée à la pêche professionnelle. Une estimation de la qualité des géniteurs produits dans la zone**

## - Introduction -

**d'étude a été réalisée lors de la première campagne d'étude.** L'estimation du taux d'exploitation est réalisée par la mise en œuvre d'une opération de CMR (Capture-Marquage-Recapture) avec un marquage par PIT-Tags (Passive Integrated Transponder-Tags), en collaboration avec les pêcheurs professionnels du lac de Grand-Lieu (participation des 7 pêcheurs professionnels du plan d'eau). L'utilisation des PIT-Tags à des fins d'identification des animaux sauvages date du milieu des années 1980 (Gibbons *et al.*, 2004) et a permis de développement de nouvelles méthodes d'investigation pour l'étude de la biologie des espèces (croissance, mouvements, survie...).

- **Estimation du taux d'échappement des anguilles argentées du lac de Grand-Lieu, incluant les périodes et les zones interdites à la pêche (échappement du plan d'eau), et étude du comportement pré-migratoire des anguilles argentées au sein du lac.** Cette partie nécessite une approche différente. En effet, dans les zones et périodes interdites à la pêche professionnelle, il faut mettre en œuvre une méthode complémentaire (en plus des individus marqués aux PIT-Tags) de suivi afin d'acquérir des informations sur les déplacements des anguilles en dehors de la zone de pêche et du plan d'eau. La méthode retenue est le suivi acoustique de 82 individus (52 femelles et 30 mâles) *via* des marques acoustiques (émetteurs) et des récepteurs (85 hydrophones) répartis dans tout le plan d'eau et à l'aval immédiat. Cette approche permet aussi de prendre en compte l'impact potentiel de l'ouvrage de régulation du niveau d'eau du lac (vannage de Bouaye) sur la migration d'avalaison.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Présentation de l'espèce étudiée : l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

#### 2.1.1 Présentation

L'anguille européenne, *Anguilla anguilla* (L, 1758) est un poisson migrateur amphihalin thalassotoque ou catadrome<sup>4</sup>. Cette espèce effectue ainsi une partie de son cycle de vie biologique en milieu marin et l'autre en eau douce ou saumâtre. En effet, les anguilles européennes effectuent leur croissance en milieu continental avant de rejoindre la mer des Sargasses pour se reproduire (Schmidt, 1925) comme le montre son aire de répartition (Figure 3). Il semblerait que la catadromie soit facultative et qu'une part des individus effectue leur phase de croissance en mer (Tsukamoto 1998). L'anguille européenne est actuellement considérée comme une espèce menacée, elle est inscrite depuis 2007 en annexe II de la « Convention on International Trade in Endangered Species » (CITES) (Acou *et al.*, 2010).

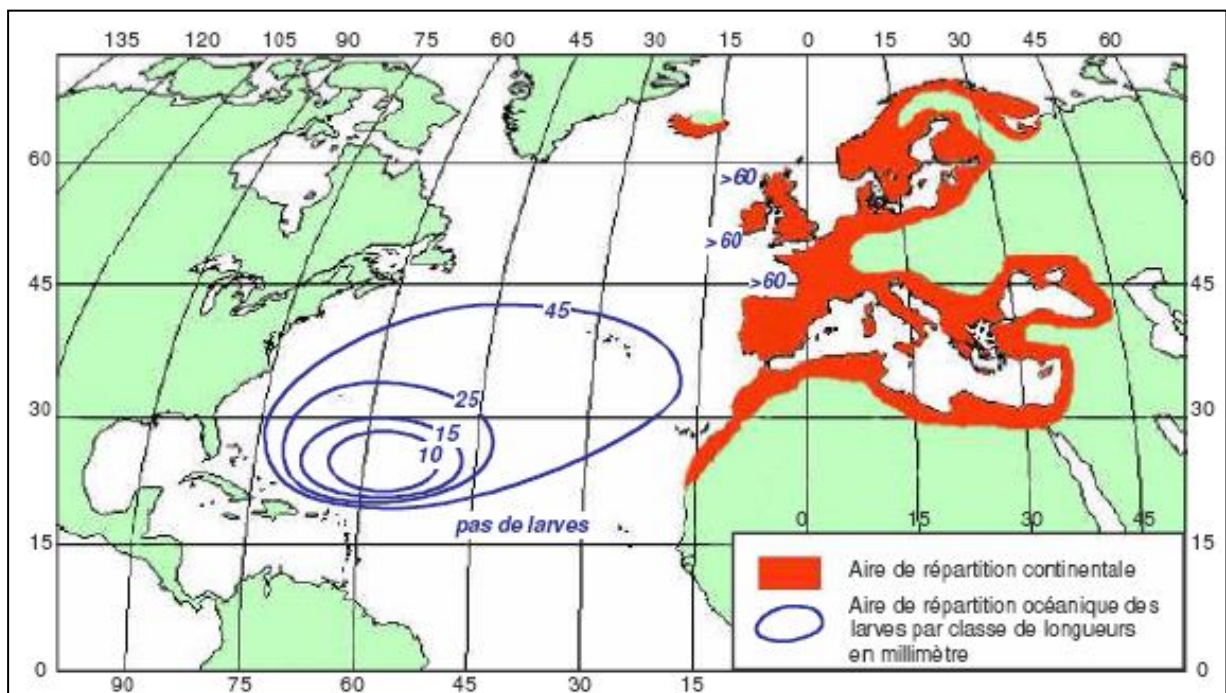


Figure 3 : Aire de répartition continentale et océanique de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) (Adam, 1997)

<sup>4</sup> Catadrome : se dit d'un poisson qui vit et se développe en eau douce mais qui naît et se reproduit en mer.

### 2.1.2 Aire de répartition

Dans la famille des Anguillidés, l'anguille européenne *Anguilla anguilla* est l'espèce qui présente l'aire de répartition la plus vaste. En zone continentale, l'aire s'étale dans la majorité des pays côtiers d'Europe et d'Afrique du Nord. L'anguille peut coloniser l'ensemble des milieux connectés à la mer : eaux saumâtres (baies, fjords, lagunes, estuaires), milieux dulcicoles lotiques (fleuves, rivières, torrents), et lentiques (lacs, étangs, canaux), seules les limites physiques (obstacles à la migration) semblent restreindre l'aire de répartition vers l'amont (Adam, 1997). La partie marine de l'aire de répartition de l'espèce n'a été découverte que tardivement, elle a révélé la présence d'un chevauchement des aires de répartition des larves d'anguilles européennes avec celles de l'anguille américaine, *Anguilla rostrata* (L, 1758) (Schmidt, 1925). Ainsi, une cartographie de la distribution des larves des deux espèces a pu être dressée et permet, compte tenu des gradients de longueurs totales des individus capturés, de localiser les aires de pontes hypothétiques des anguilles européennes et américaines en mer des Sargasses. Malgré la proximité supposée des aires de ponte au niveau de la Mer des Sargasses et la ressemblance physiologique et morphologique des deux espèces, les aires de répartition se distinguent nettement (Schmidt, 1925). A noter qu'aucun œuf ou adulte n'a jamais été capturé dans l'aire de frai présumée (Nilo & Fortin, 2001). La population d'anguilles européennes est considérée comme panmictique c'est-à-dire, qu'il n'existe qu'une seule aire de reproduction et que la population est homogène du point de vue génétique (Dannewitz *et al.*, 2005).

### 2.1.3 Cycle de vie

Le cycle de vie (Figure 4) complexe de l'anguille est longtemps resté mystérieux jusqu'à l'étude de Schmidt (1925). En effet, nombres d'hypothèses ont auparavant été proposées. Par exemple, selon Linné, les anguilles étaient vivipares (Sinha et Jones, 1975). Il faut attendre 1654 pour que Redi émette l'hypothèse d'une reproduction marine. Et c'est en 1896, lors des travaux de Grassi *et al.* que le lien entre la larve leptocéphale et l'anguille a pu être démontré (Bertin, 1951). Malgré tout, des zones d'ombre restent présentes. En effet, le cycle biologique de l'anguille reste complexe et nécessite encore des recherches scientifiques (Adam *et al.*, 2008).

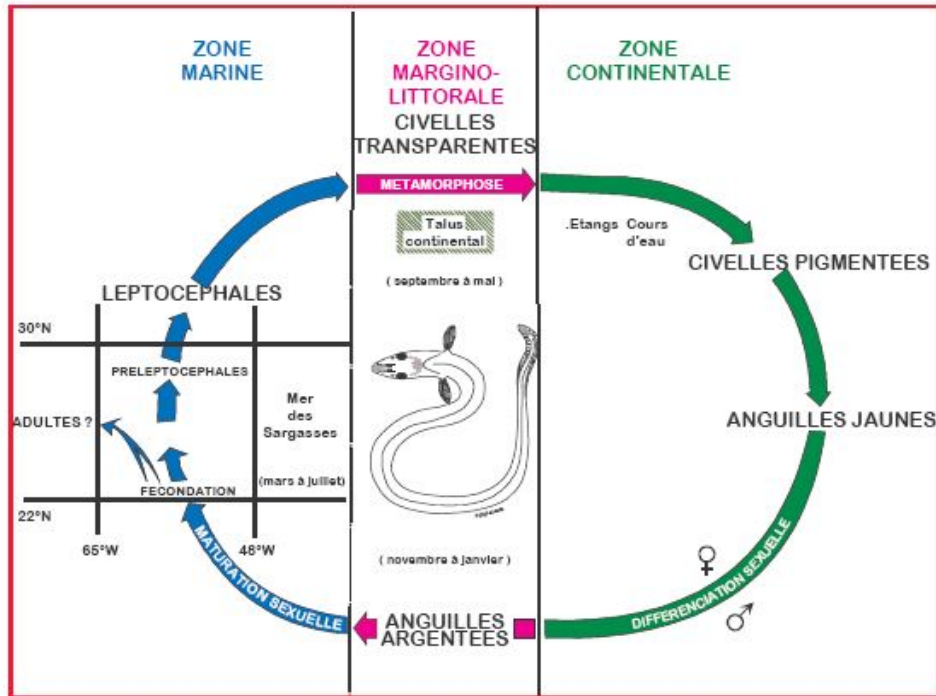


Figure 4 : Cycle biologique de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*). (Adam, 1997)

Dans ce rapport, les stades embryon, larve leptocéphale, civelle et anguillette ne seront pas développés, une attention particulière sera portée sur les stades « anguilles jaunes » et « anguilles argentées », seuls stades exploités par la pêche professionnelle présente sur le lac de Grand-Lieu.

#### 2.1.4 L'anguille européenne : une espèce « plastique »

L'anguille européenne est une espèce qui présente une importante variabilité des traits d'histoire de vie à l'échelle de son aire de distribution mais également localement au sein de son milieu de croissance. C'est une espèce plastique qui s'adapte à de nombreux environnements et qui au cours de sa longue période de croissance peut subir de nombreuses variations environnementales et perturbations anthropiques (Boulenger 2014). En fonction du type de milieu colonisé et de sa localisation sur le gradient latitudinal, la dynamique des différentes sous-populations (mortalité, migration, croissance) et les traits d'histoire de vie associés (sexe, âge à maturité, fécondité, ...) pourront être très contrastés. Par exemple, si l'espèce réalise sa croissance dans une lagune méditerranéenne hypereutrophe ou dans un lac irlandais oligotrophe, les dynamiques des sous populations seront très différentes : principalement des mâles qui sont matures très tôt (3-5 ans) dans le premier cas, et des femelles âgées (> 25 ans) mais très fécondes dans le second.

**Le lac de Grand Lieu est très intéressant car c'est un milieu reconnu pour être productif (beaucoup de ressource trophique). Il semblerait donc que la croissance y soit rapide. Ceci en fait un site d'étude particulièrement intéressant pour le stock ('turn-over' important, ce qui signifie que le milieu produit vite et en grande quantité des anguilles argentées). Cet aspect doit être pris en compte dans la gestion car il faut peu d'années pour avoir un 'retour sur investissement' (une augmentation du recrutement par gestion et ou des manœuvres d'ouvrages pourraient rapidement augmenter la production de géniteurs).**

#### 2.1.5 *Stade anguille jaune*

Le stade « anguille jaune » est caractérisé par une phase de croissance des anguilles en milieu continental ou côtier. Elles adoptent un comportement territorial et se sédentarisent dans les zones saumâtres, marais, cours d'eau et lacs. Il faut noter que le sex-ratio est densité-dépendant : dans les zones à fortes densités d'individus, la prédominance des mâles sur les femelles est observée (Parsons *et al.*, 1977 ; Aprahamian, 1988 ; Acou *et al.*, 2009). Au niveau du développement sexuel, l'ovogénèse et la spermatogénèse ont lieu dans la même gonade à des stades de croissance différents. En effet, l'ovogénèse se déroule vers 14 cm alors que la spermatogénèse plutôt vers 18 cm. Il s'agit donc d'une phase hermaphrodite suivi d'une phase de différenciation sexuelle définitive (Bertin, 1951). L'environnement et les pressions de compétitions intra et interspécifiques jouent un rôle dans cette différenciation. Ainsi dans un milieu où les pressions sont fortes (densité élevée, fortes compétitions ...), la proportion de mâles est significativement plus élevée. Ce constat est validé dans les populations d'élevage généralement très denses où les sex-ratios sont très déséquilibrés en faveur des individus de sexe masculin (Egusa, 1979 ; Holmgren, 1996).

#### 2.1.6 *Stade anguille argentée*

Au stade « anguille argentée » les individus vont évoluer morphologiquement, physiologiquement et leur comportement va également se modifier. En effet, ce stade est caractérisé par d'importantes modifications morpho-anatomiques des anguilles qui vont leur permettre d'entreprendre la traversée de l'océan Atlantique vers la mer des Sargasses (Durif, 2003 ; Acou *et al.*, 2005 ; Righton *et al.*, 2016). Ces modifications consistent en un changement de coloration (teinte argentée de la partie ventrale), une pigmentation de la ligne latérale (Tesch, 1977), un accroissement de la taille de l'œil (Pankhurst, 1982) et de la nageoire pectorale (Acou *et al.*, 2005 ; Klein Breteler *et al.*, 2007). La technique utilisée pour identifier un individu comme « argenté » est le diamètre de l'œil, avec un calcul de l'index oculaire (IO). Ce paramètre reste difficile à relever avec précision (Acou *et al.*, 2005). Il existe d'autres protocoles plus simples d'exécution, pour caractériser

l'argenture et qui incluent les trois paramètres suivants : une différenciation de la ligne latérale, un œil de grande taille ainsi qu'un net contraste entre le dos et le ventre de l'animal. Ainsi si l'une des trois conditions n'est pas remplie alors l'individu est considéré comme étant une anguille jaune ou en cours d'argenture (si seulement deux de ces critères sont réunis).

Le passage du stade d'anguille jaune à argentée est également marqué un arrêt de l'alimentation. L'anguille argentée est à jeun et vit sur ses réserves (Bertin, 1951 ; Sinha et Jones, 1975 ; Tesch, 1977). De plus, la vessie gazeuse des individus argentés se modifie afin de pouvoir supporter des profondeurs élevées pouvant atteindre 2000 mètres lors de leur migration (Robins *et al.*, 1979).

La période de dévalaison en France se situe principalement en automne / hiver mais elle peut s'effectuer toute l'année (Adam *et al.*, 2008). Il faut noter que les mâles (plus jeunes et de plus petites tailles que les femelles (mâle < 40 – 45 cm)) sont les premiers à dévaler (Acou *et al.*, 2003 ; Acou *et al.*, 2005, Melia *et al.*, 2006). De nombreux paramètres jouent un rôle sur le déclenchement de la dévalaison : la température, le débit, la conductivité, la pression atmosphérique et les rythmes lunaires influencent grandement l'apparition de cette migration (Gosset *et al.*, 2000 ; Durif, 2003 ; Trancart *et al.*, 2013). En effet, une température de l'eau qui diminue (Haro, 1991 ; Boubée *et al.*, 2001), une période lunaire comprise entre le dernier quartier et la nouvelle lune, un temps couvert, une forte turbidité (Todd, 1981 ; Deelder, 1984), des faibles luminosités (Durif, 2003), un fort débit d'eau (Vollestad *et al.*, 1994), avec de faibles pressions atmosphériques (Acou *et al.*, 2008), sont autant de conditions favorables à la migration des anguilles.

La réussite de la migration nécessite des conditions environnementales particulières et un développement physiologique adapté des individus. Les multiples altérations que peuvent subir les anguilles pendant leur phase de vie continentale sont autant de risques d'échec de la migration : les mécanismes d'orientation servant au retour vers la mer des Sargasses dépendent eux-mêmes de mécanismes physiologiques complexes qui doivent absolument s'exprimer (Adam *et al.*, 2008).

## 2.2 Pressions qui s'exercent sur l'espèce dans le lac de Grand Lieu

De nombreuses pressions s'exercent sur les anguilles et ceci à tous les stades de leur cycle de vie (du stade œuf en mer jusqu'au géniteur prêt à pondre). Ces pressions qui interviennent aussi bien dans les eaux continentales, de transition ou dans le milieu marin sont principalement de deux types, naturelles (prédation, parasitisme...) et d'origines anthropiques (altération de la continuité écologique et des habitats, pollution, exploitation par la pêche légale et illégale...).

### 2.2.1 Principales pressions d'origine naturelle

#### 2.2.1.1 La prédation aviaire (Grand cormoran et Héron cendré)

L'avifaune et plus particulièrement les populations de grands cormorans (*Phalacrocorax carbo*), espèce piscivore migratrice présente en France durant la période hivernale et sédentaire sur certaines zones, jouent un rôle significatif (localement en tout cas) dans la prédation naturelle des populations d'anguilles. Les populations hivernantes de cormorans ont grandement augmentées en France depuis les années 80. Loïc Marion relève une augmentation de 600 % en 22 ans, passant de 14000 individus en 1981 à plus de 89 000 en 2003 au niveau national (Fonteneau *et al.*, 2004). L'augmentation persiste puisque plus de 99 000 individus sont recensés en 2007 au niveau national (Marion, 2014).

Des études montrent que les individus les plus prédatés par les cormorans sont généralement de taille inférieure à 20 cm, mais le spectre est large puis que des individus jusqu'à 60 cm peuvent faire partie du régime alimentaire par les cormorans (Carss et Ekins, 2002 ; Le Louarn, 2003 ; Marechal, 2004). L'alimentation journalière moyenne d'un cormoran s'élève 340g par jour, avec un prélèvement compris entre 200g et 15 Kg par jour et par hectare d'après la littérature (Keller, 1995 ; Engström, 2001).

Autre piscivore, le héron cendré (*Ardea cinerea*) aurait besoin de 240 à 300 g de poisson par jour (Marion, 1990). Même si la part en anguille semble faible par rapport à celle du cormoran, de l'ordre de 1 pour 10, son prélèvement peut être, dans des zones où sa densité est élevée, significatif (Baisez et Laffaille, 2005).

Le lac de Grand-Lieu fait partie des zones où les populations de cormorans et d'hérons sont les plus importantes d'Europe avec 505 couples en 2000 (Dufland *et al.*, 2006) et 683 couples en 2012 respectivement (Carpentier *et al.*, 2009, Marion, 2014).

#### 2.2.1.2 Le parasitisme (*Anguillicoloides crassus*)

Le parasite *A crassus* est un nématode originaire du Sud-Est asiatique et endémique de l'anguille japonaise (*Anguilla japonica*). Il a été introduit en Europe, dans les années 1980, avec des civelles destinées à l'élevage. Les premiers cas d'infections d'*A crassus* en Europe furent observés par Neumann en 1985 sur des anguilles de l'Ems et de la Weser en Allemagne (Neumann, 1985). De nos jours, ce parasite est présent dans l'ensemble de l'aire de répartition de l'anguille européenne. En effet, de nombreuses études en font référence, en Allemagne (Koops et Hartmann, 1989), en Suède (Hoglund *et al.*, 1993), en Grande Bretagne (Kennedy et Fitch, 1990), en Italie (Can Estri-Trotti, 1987), en Espagne (Belpaire *et al.*, 1989) et en France (Baisez, 2006).

## - Matériels et méthodes -

Cet endoparasite de l'anguille se développe dans la paroi de la vessie natatoire gazeuse de l'anguille. L'infestation naturelle a lieu par voie trophique. En effet, lors de l'ingestion d'hôtes paraténiques<sup>5</sup> tels que la carpe commune (*Cyprinus carpio*) ou la brème commune (*Abramis brama*) (Székely, 1994) ou d'intermédiaires tels que certains copépodes (*Eucyclops serrulatus*) (Ashworth et Blanc, 1997) les larves *A. crassus* se retrouvent transférés dans l'intestin de l'anguille. Une fois dans l'anguille, les larves traversent la paroi du tube digestif et migrent vers la vessie gazeuse. Ces larves hématophages sont à l'origine d'une inflammation de la paroi de la vessie natatoire. En effet, elles se nourrissent des hématocytes de cette paroi. De ce fait, la vessie natatoire est endommagée (Ashworth et Blanc, 1997), il est constaté une fibrose de la paroi (épaississement) accompagnée d'une perte de gaz (Boetius, 1989 ; Van Willigen et Dekker, 1989). Les individus infestés sont donc moins aptes à la nage, leur endurance ainsi que leur vitesse de nage sont réduites (Sprengel et Luchtenberg, 1991). De plus, de nombreux auteurs ont montré que, les anguilles atteintes d'anguillicolose étaient plus réceptives aux pathologies classiques, que leurs défenses immunitaires étaient réduites. Ils ont constaté également une perte d'appétit, une diminution de la vitalité et un amaigrissement des sujets atteints (Lefebvre *et al.*, 2003).

Il semble que sa propagation soit rapide du fait qu'il possède de nombreux avantages. En effet, il possède une faible spécificité vis-à-vis de ces hôtes intermédiaires, il ne compte pas moins de 16 espèces de Téléostéens pouvant faire offices d'hôtes paraténiques (Thomas et Ollevier, 1992). De plus, il dispose d'une grande fécondité (150 000 œufs par femelle, Amilhat, 2007) et d'une grande capacité de survie (2 semaines en eau de mer, milieu le plus contraignant pour ce dernier, Koie, 1991).

Dans plusieurs études, il est montré que le taux de prévalence du parasite est lié la salinité. En effet, plus le milieu est salé plus le taux de prévalence est faible. Une étude sur le Rhône signale ainsi des taux d'infestation par *A. crassus* de 52 % dans le delta du Rhône, résultats bien inférieurs à ceux relevés en eau douce qui sont estimés à 77 % (Lefebvre *et al.*, 2003). De nombreux travaux ont montré l'impact de la salinité et de la température sur la longévité des larves de *A. crassus* (De Charleroy *et al.*, 1989, Kennedy et Fitch 1990, Schippers *et al.*, 1991). Ces auteurs rapportent qu'en eau douce, les larves libres peuvent vivre jusqu'à 3 à 4 semaines, mais leur durée de vie se réduit à 3-4 jours si la salinité du milieu est élevée. D'autres auteurs ont pu montrer que les taux d'infestation par *A. crassus* diminuent en fonction du gradient de salinité ; ils rapportent des taux d'infestation de 90 % et 15 % dans les eaux à faible salinité (< 10 g.L<sup>-1</sup>) et à salinité élevée (> 25 g.L<sup>-1</sup>) respectivement. (Sauvaget *et al.*, 2003). La contamination serait plus importante en été qu'en hiver. Plusieurs études expliquent ce phénomène en montrant que d'une part, de très basses températures empêchent le

---

<sup>5</sup> Hôte paraténique : hôte intermédiaire non nécessaire au cycle de développement du parasite.

## - Matériels et méthodes -

développement du cycle du parasite (Amilhat, 2007 ; Knopf *et al.*, 1998) et d'autre part, les anguilles cessant de se nourrir en hiver diminuerait les risques d'infection (Amilhat, 2007). De plus, la période durant laquelle l'anguille se nourrit le plus serait d'avril à juin (Gibrat et Nielsen, 1985). Puisque le fait d'ingérer des copépodes ou des poissons étant potentiellement des hôtes intermédiaires est plus susceptible d'arriver durant cette période, il est aisé de comprendre pourquoi le taux de prévalence est plus important en été qu'en hiver.

P.Boury et E. Feunteun ont montré, lors de l'étude en Loire, lors de la campagne 2002/2005 que moins de 6 % des anguilles de Loire étaient indemnes du parasite *A crassus* (Baisez, 2006). Ces études montraient également que plus de 20 % des anguilles étudiées possédaient un fort niveau de parasitisme (> 7 individus/anguille). Compte tenu de ces résultats, qui ont été confirmés par des suivis ultérieurs menés en Loire moyenne (Acou *et al.*, 2010), il est légitimement possible de conclure que ces anguilles ont très peu de chance d'arriver à leur lieu de ponte.

**L'examen de la parasitose sur les anguilles argentées du lac de Grand lieu a été réalisé lors du précédent projet**

### 2.2.2 Principales pressions d'origine anthropique

#### 2.2.2.1 Altération de la continuité écologique, (ouvrages)

L'altération de la continuité écologique pose un réel problème pour les anguilles. En effet, l'anguille étant catadrome, elle est contrainte de réaliser deux longues migrations durant son cycle de vie. Les ouvrages pouvant perturber sa libre circulation sont susceptibles d'engendrer un retard voire un blocage de la migration (Laffaille *et al.*, 2003). Ainsi, une limitation des habitats à coloniser est observée, si bien que l'aire de répartition de l'anguille européenne aurait ainsi été réduite depuis les années 80, de 7 à 25 %, suivant les zones considérées (Moriarty et Dekker, 1997). Cette perte d'habitat, entraînant une réduction de l'espace et de la nourriture disponible aurait un impact sur la croissance et l'état de santé des anguilles européennes (Machut *et al.*, 2007), ainsi que sur leur survie (Domingos *et al.*, 2006). Les capacités de franchissement de l'anguille étant limitées par rapport aux autres poissons migrateurs, un retard (Boubée *et al.*, 2001) et même un blocage (Smogor *et al.*, 1995) de la migration peuvent être observés lorsque des ouvrages se succèdent sur le continuum terre/mer. Ce retard ou ce blocage à plusieurs conséquences sur l'anguille. En effet, cela entraîne une accumulation des individus en aval des ouvrages qui augmente les risques de prédation, de compétition alimentaire (intra et inter spécifique), de modification du sex-ratio (Wiley *et al.*, 2004), de transmissions épidémiologiques et parasitaires, de surpêche... Il faut toutefois rappeler qu'il existe des dispositifs spécifiques adaptés (passes à anguilles) qui tirent profit des capacités d'escalade de cette espèce (Porcher *et al.*, 1992, Legault, 1992 ; Legault, 1988). Une gestion adaptée et optimisée

## - Matériels et méthodes -

des ouvrages est donc très importante pour cette espèce, afin de lui permettre une colonisation optimale du réseau hydrographique disponible à l'amont de ces ouvrages ainsi qu'une migration sans retard. **La migration d'avalaison est également à prendre en compte dans le cadre de l'étude de l'impact des ouvrages, car même sans turbine, les ouvrages peuvent poser des problèmes importants (orientation affectée, absence de solution de franchissement, retard de migration...).**

**L'impact potentiel de l'ouvrage de régulation du niveau d'eau du lac de Grand-Lieu sur la migration d'avalaison des anguilles argentées est traité dans cette étude.**

### *2.2.2.2 Altération de la qualité de l'eau (pollutions récurrentes)*

Outre les altérations de continuité écologique, il faut rappeler les altérations de la qualité de l'eau telles que les contaminations des milieux par de nombreux polluants récurrents (métaux lourds, hydrocarbures, HAP, hormones, produits phytosanitaires...). Les polluants récurrents de types PCB (Polychlorobiphényle) apparaissent comme des produits lipophiles rémanents, particulièrement abondants dans les sédiments. Les anguilles présentent un mode de vie benthique lors du stade jaune, elles sont particulièrement exposées (Larsson, 1984). Les PCB ont également un impact sanitaire sur les populations, en effet, la contamination induit des stress, des déséquilibres hormonaux ainsi que des augmentations de sensibilité aux pathologies (Bruslé, 1994). Mais c'est sur la partie de la population d'anguilles migrantes, notamment lors de la dévalaison puis de la migration que les effets sont les plus importants. En effet, les anguilles en voie de maturation vont remobiliser leurs graisses et donc les PCB piégés dans ces dernières, ce qui va permettre l'expression de la toxicité des composés de types PCB et autres polluants lipophiles dans le métabolisme général. Ainsi, les PCB à des doses sub-létales contribueraient à diminuer le potentiel reproducteur de l'espèce en perturbant le cycle biologique à différents niveaux, comme la migration de reproduction et la reproduction elle-même, en agissant sur la qualité des œufs et les larves ainsi produites (Tapie, 2006).

### *2.2.2.3 Altération de l'habitat (chenalisation, rectification du tracé des cours d'eau ...)*

De nombreuses altérations peuvent être citées ici. La chenalisation des grands fleuves, opérée depuis le 19<sup>ème</sup> siècle, afin d'assurer le transit fluvial des marchandises et de réduire le risque d'inondation, est une des causes qui impacte les habitats potentiels. Le canal de la Martinière, situé en bordure du lac de Grand-Lieu, en est un bon exemple : édifié en 1892, il permettait le transit des bateaux marchands de l'estuaire à Nantes en évitant les fonds accidentés de la Loire (bancs de

sable...). La chenalisation des cours d'eau, notamment sur les berges, est préjudiciable aux habitats (abris, végétations aquatiques...) et aux espèces piscicoles, dont l'anguille. Il est possible de citer également, la rectification du tracé (linéarisation des cours d'eau, recalibrage) qui pose des problèmes de réductions d'habitats. L'Acheneau, affluent de la Loire, a subi de nombreuses modifications de son tracé (Figure 9 et Figure 10). Elles ont débuté en 1754 avec la construction du canal de Buzay, puis se sont poursuivies en 1882 avec la construction du canal de la Martinière. En 1960, l'Acheneau a été recalibré et le canal de Guerlain a été construit (De Bonviller, 2014). Globalement l'altération de l'habitat consiste en un phénomène artificiel d'homogénéisation des surfaces accessibles aux espèces qui se traduit par une perte de diversité, de production et d'abris dans le milieu.

#### 2.2.2.4 Prélèvement par pêche (professionnelle, amateur et braconnage)

La pêche professionnelle, très réglementée, est autorisée en France sur tous les stades de l'anguille. Ainsi la pêche à la civelle, réservée aux professionnels, représentait un prélèvement de plus de 2000 tonnes avant les années 80 d'après le rapport du CIEM/WGEEL de 2008 alors que les quotas pour 2015/2016 autorisent le prélèvement de 57,5 tonnes dont 60 % destinés au repeuplement (ICES, 2008). Une réduction de plus de 50 % du nombre d'ayants droits de pêche à la civelle a été observée sur la période 2006/2015 (PGA - Rapport de mise en œuvre, Juin 2015). Pour ce qui est des anguilles jaunes et argentées, les prélèvements nationaux s'élevaient à 3500 tonnes dans les années 80 à moins de 1500 tonnes après 1990 (ICES, 2008). Pour l'anguille argentée, la pêche n'est autorisée que pour les professionnels depuis 2007 (PGA – Volet National : France). Pour ce qui est de la pêche amateur, il est impossible d'obtenir des données sur le nombre de pêcheurs ciblant l'anguille. Le GRISAM a tenté de faire une estimation du nombre de pêcheurs amateurs ciblant ou pêchant l'anguille. Cette dernière est évaluée à 147 000 pêcheurs de loisir et leurs captures représenteraient entre 500 et 2000 tonnes. En tenant compte de l'incertitude qui existe sur les estimations, le nombre total « d'équivalents anguilles argentées » prélevées se situerait entre 15 et 43 millions d'individus (Briand *et al.*, 2008). Pour ce qui est du braconnage, il cible essentiellement le stade civelle dans la zone tidale des rivières pour l'exportation. Leur nombre et le niveau de leurs captures ne sont pas connus.

La pêcherie actuelle du lac de Grand Lieu est présentée au niveau du paragraphe 2.4.

## 2.3 Situation géographique de l'étude

### 2.3.1 La Loire

## - Matériels et méthodes -

La Loire est le plus grand fleuve français, avec une longueur de plus de 1000 Km (1 006 Km exactement). Il trouve sa source au sud-est du Massif Central, au niveau du mont Gerbier-de-Jonc en Ardèche. La Loire traverse ensuite 12 départements. Elle finit par déboucher vers l'océan Atlantique au niveau de St Nazaire en Loire-Atlantique (44), dans l'ouest de la région des Pays de la Loire. Son bassin versant de 117 000 km<sup>2</sup> occupe plus d'un cinquième du territoire français. Son débit moyen annuel de 931 m<sup>3</sup>/s (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2012) est supérieur à celui de la Seine (563 m<sup>3</sup>/s) (Agence de l'eau Seine-Normandie, 2012) mais inférieur à celui du Rhône (1710 m<sup>3</sup>/s) (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, 2012).

### 2.3.2 Le bassin versant du lac de Grand-Lieu

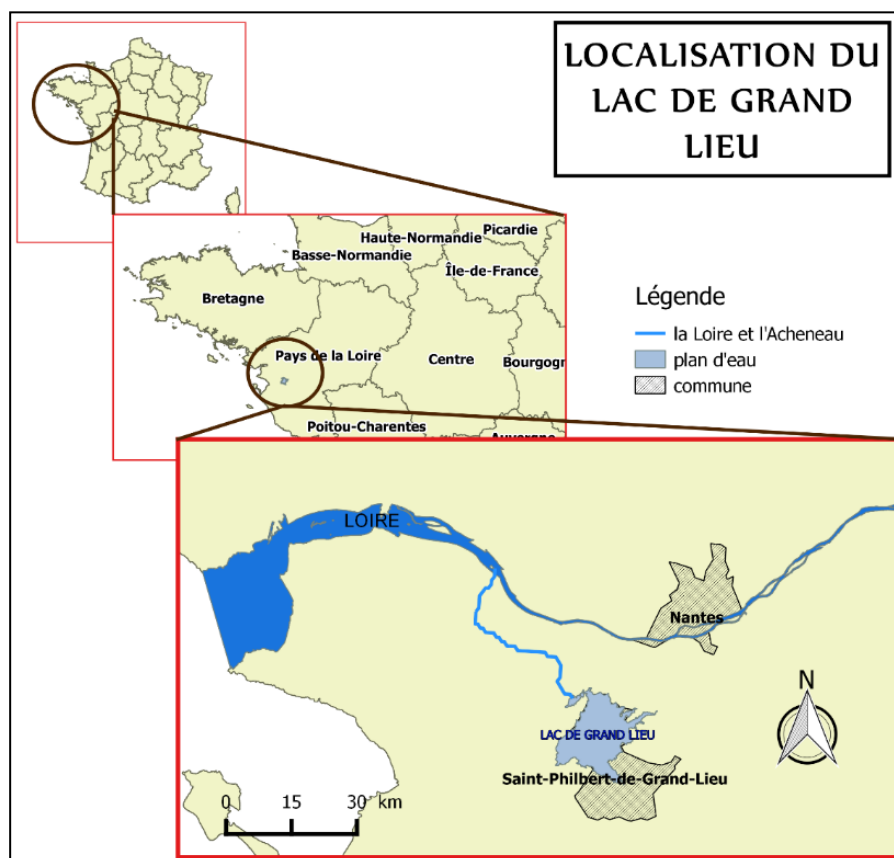


Figure 5 : Localisation géographique du lac de Grand-Lieu (D.SIMON)

Le Lac de Grand-Lieu via l'Acheneau est un affluent de la Loire en rive gauche (Figure 5), son bassin versant est drainé par deux cours d'eau que sont la Boulogne et l'Ognon. La Boulogne avec un linéaire de 90 Km et une largeur moyenne de 7 m possède une surface en eau de 63 ha. L'Ognon possède une surface en eau de 21.6 ha avec des dimensions plus réduites, 48 km de linéaire pour 4.5 m de largeur moyenne. Il faut également ajouter à cela les deux affluents de la Boulogne, la Logne et l'Issoire qui occupent à eux deux une surface en eau de près de 22 ha. Le cumul des surfaces de ces

## - Matériels et méthodes -

affluents représente une surface en eau d'environ 106 ha. Ainsi le lac de Grand-Lieu représente à lui seul près de 97 % (3900 ha en été) de la surface en eau de cet hydrosystème (Figure 6).

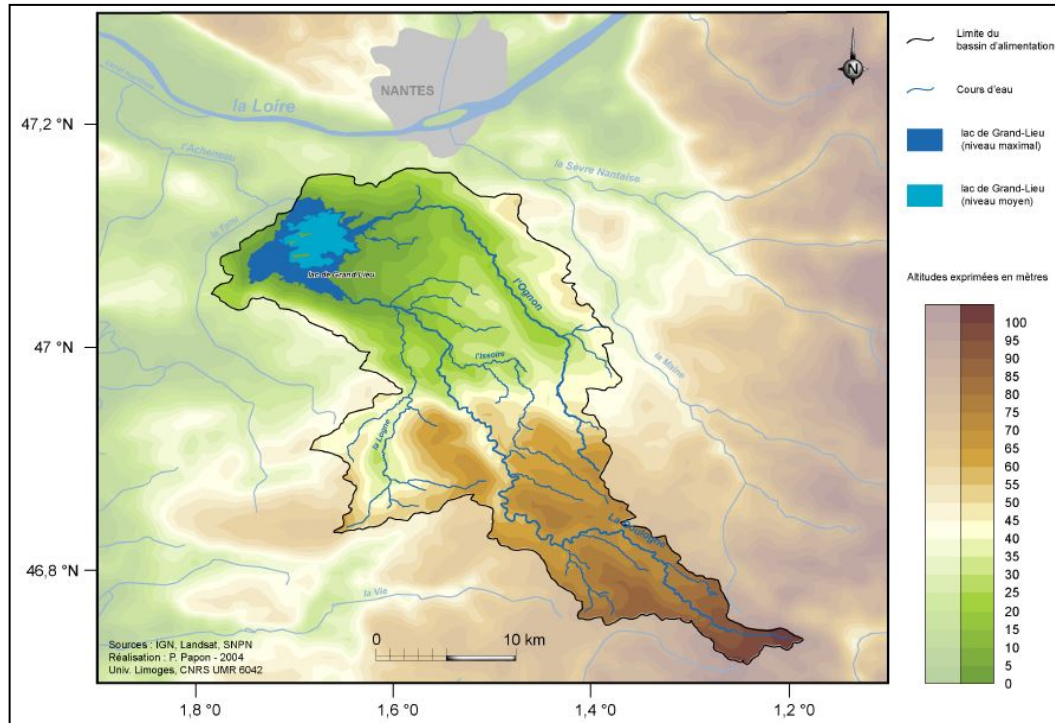


Figure 6 : Cartographie du bassin versant du lac de Grand-Lieu. (Papon, 2004)

### 2.3.3 Le lac de Grand-Lieu

Le lac de Grand-Lieu, situé à une vingtaine de kilomètres de Nantes (figure 6), occupe une surface de 6500 ha en hiver, ce qui en fait le plus grand lac naturel de plaine français. Il est alimenté par un bassin versant de 830 km<sup>2</sup>. Il possède deux caractéristiques notables : une grande variabilité de sa surface en eau selon la période de l'année de 39 km<sup>2</sup> (soit 3900 ha) en été à environ 65 km<sup>2</sup> (soit 6500 ha) en hiver, ainsi qu'une faible profondeur (de 0,7 à 1,2 m en été et de 3 à 3,5 m en hiver) (Adam, 1997). Sa surface en eau, de 3900 ha minimum ne représente pas moins de 97 % celle de l'ensemble des cours d'eau de son bassin versant, **ce qui laisse supposer que l'essentiel de la production d'anguilles de ce bassin versant se fait sur le plan d'eau**. Gilles Adam estime, suite à des échantillonnages, que l'essentiel de la production est effectivement réalisé dans le plan d'eau (Adam, 1997).

Le lac de Grand-Lieu est reconnu au niveau mondial pour sa richesse biologique en étant notamment classé comme site Ramsar en 1995, en partie comme Réserve Naturelle Nationale (RNN) depuis le 10 septembre 1980 et Réserve Naturelle Régionale (RNR, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cet ensemble lacustre est constitué de différents milieux : forêts flottantes, roselières,

## - Matériels et méthodes -

prairies inondables, eau libre (Figure 7). Ce site constitue un habitat remarquable pour l'anguille sur la totalité de sa surface. Sa formation est la conséquence d'une série d'effondrements durant le quaternaire et du tertiaire. Le fond est composé, à l'ouest d'alluvions, à l'est de roche et de sable.

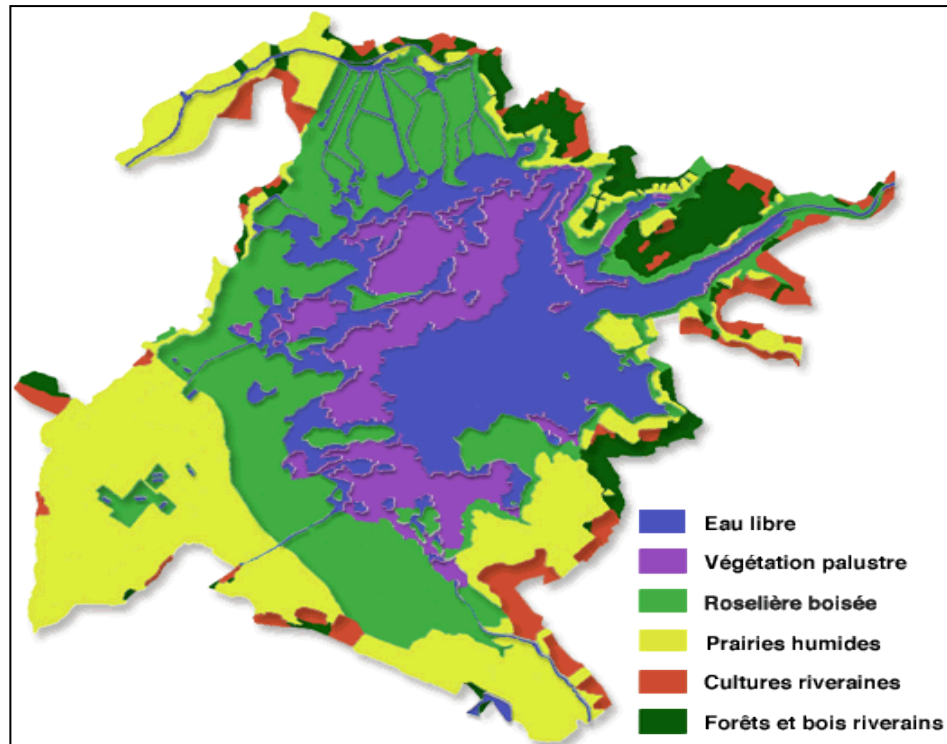


Figure 7 : Zonation des différents milieux (SNPN)

Depuis 1947, le lac appartenait à la Société Civile Immobilière de Grand-Lieu. Une grande partie du plan d'eau et ses alentours furent rachetés en 1960 par Jean-Pierre Guerlain. Ce dernier entreprit la conservation de la zone humide en stoppant son assèchement entrepris par la SCI. C'est en 1977 qu'il céda le lac à l'Etat, sous la condition de la création d'une réserve naturelle et d'en confier la gestion à la SNPN (Société Nationale de Protection de la Nature, également gestionnaire de la réserve Camarguaise). La réserve naturelle nationale fut créée en 1980 et la gestion confiée à la SNPN en 1985. En plus de la création d'une réserve naturelle nationale, la zone bénéficie d'un classement en Z.I.C.O (Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux), ZNIEFF de type 1 (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique) et enfin en O.N.Z.H. (Observatoire National des Zones Humides). L'ensemble des statuts de protection a pu être cartographié et est présenté en Figure 8.

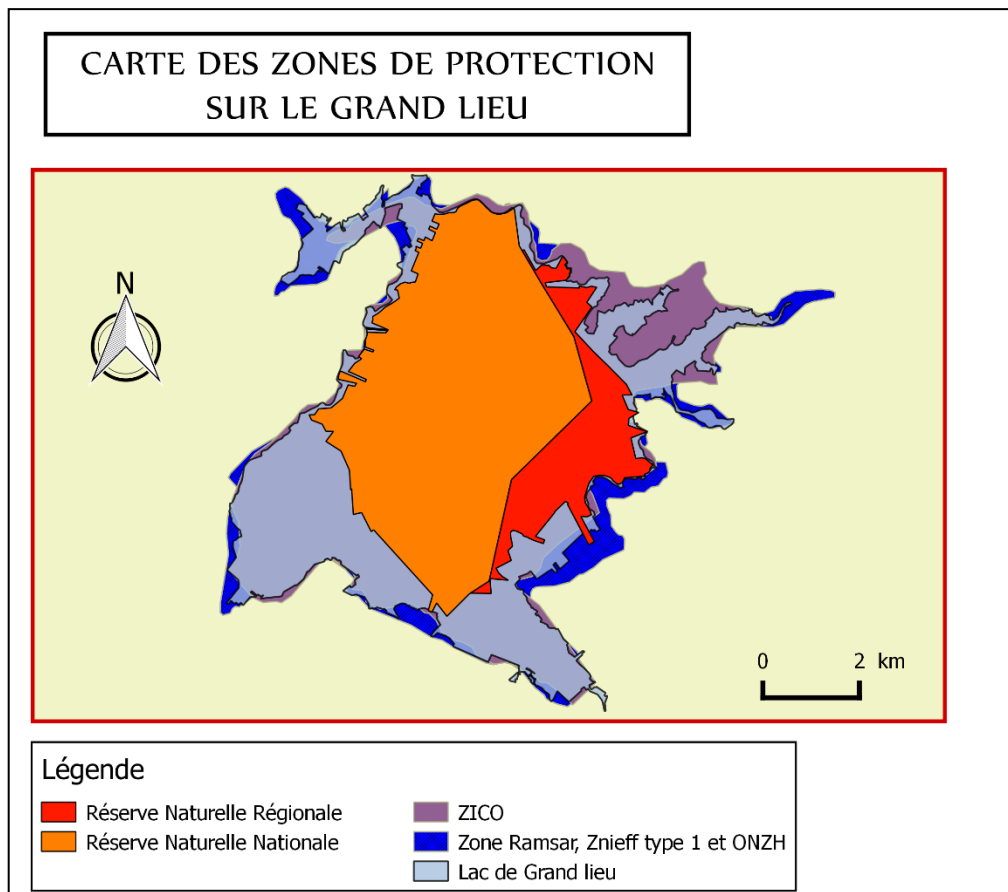


Figure 8 : Localisation des zones de protection sur le lac de Grand Lieu (SNPN)

#### 2.3.4 Un hydrosystème anthropisé et complexe

Via l'acheneau, les eaux du lac rejoignent l'estuaire de la Loire quelques 25 km en aval sur un très faible dénivelé. La mise en place d'une écluse permet sa régulation. Les eaux de l'acheneau sont conduites à la Loire via le canal de la Martinière. Le canal de la Martinière est un canal latéral à la Loire situé en rive sud, s'étendant de la commune du Pellerin en amont à la commune du Carnet en aval. Sa construction débuta en 1862 et s'acheva 30 ans plus tard en 1892. Sa création fut entreprise à cause des problèmes de navigation sur la Loire, liés aux importants mouvements de sédiments du fleuve. Long de 15 kilomètres, il permit de doubler le trafic maritime, ce qui favorisa le développement du port de Nantes. La création de nombreuses écluses au sein du canal entrava la remontée des bateaux. C'est ainsi que 10 ans après sa création, le canal de la Martinière fut abandonné dans sa fonction de canal de navigation. Il devint un cimetière à bateaux, tout d'abord des grands voiliers puis des bateaux à vapeur qui étaient désarmés sur place après la Seconde Guerre Mondiale. Le canal fut ensuite déclassé comme voie maritime en 1959.

## - Matériels et méthodes -

### Le canal possède aujourd'hui de nombreux usages :

- Contrôle les débits entre le fleuve et le lac de Grand-Lieu
- Empêche l'entrée d'eau saumâtre à l'intérieur de l'hydrosystème
- Permet d'évacuer d'importantes quantités d'eau
- Alimente les zones humides du Pays-de-Retz en eau douce, lors des étés secs,

### **Il possède 4 écluses (Figure 9) :**

- L'écluse du Carnet qui empêche les eaux saumâtres en provenance de l'estuaire de rentrer dans le canal
- Le vannage de la Martinière qui fait entrer l'eau de la Loire par surverse, évitant ainsi aux sédiments vaseux de rentrer et sédimenter dans le canal. De plus, il permet de dévaser le canal.
- Les ouvrages des Champs-Neufs dotés d'un siphon, permettent une régulation différenciée des eaux entre les marais de Vue et celles du canal
- Le vannage de Buzay qui permet l'entrée et la sortie d'eau vers la Loire via la percée de Buzay.

- Matériels et méthodes -

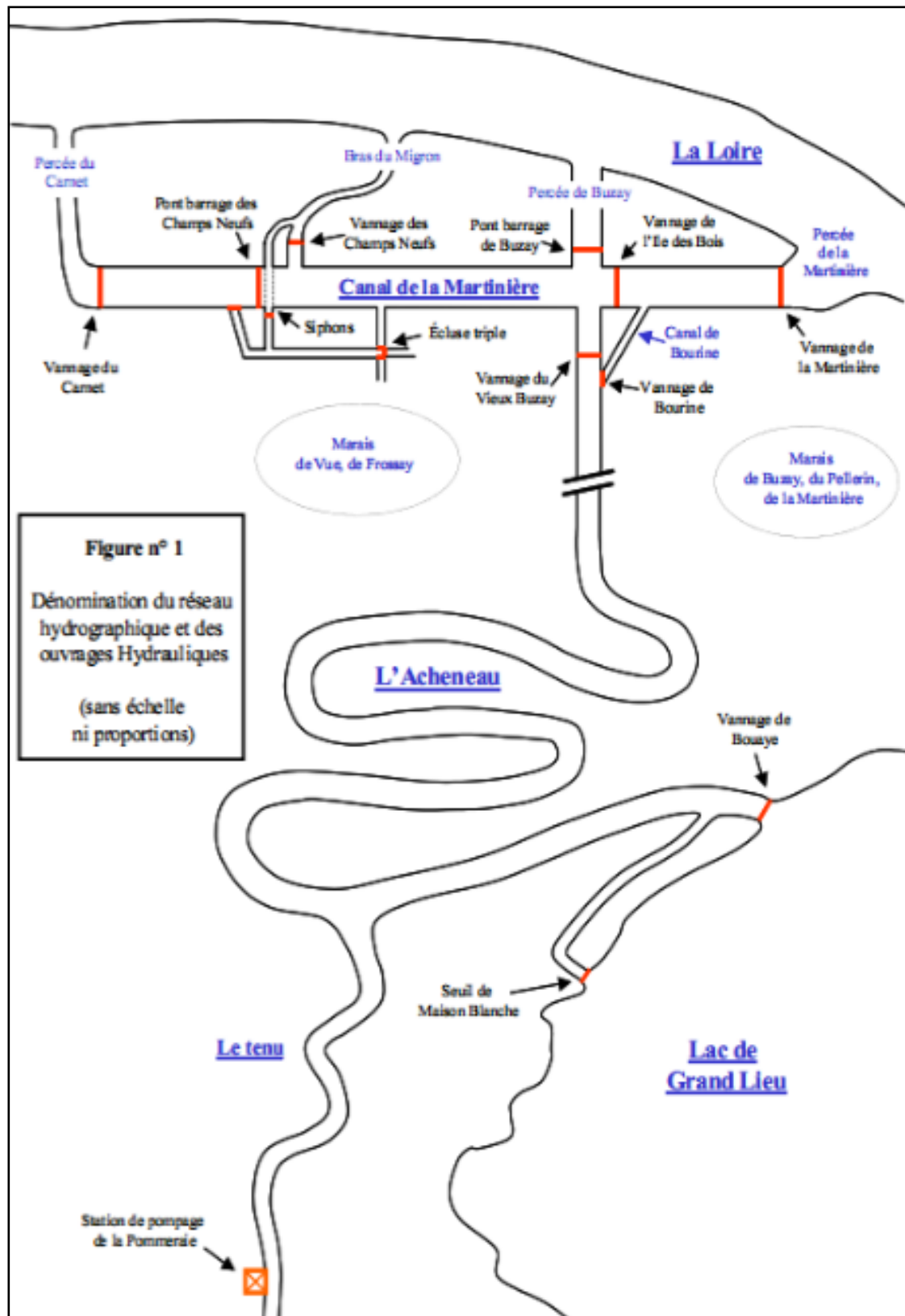


Figure 9 : Schématisation du réseau hydraulique entre le lac de Grand-Lieu et la Loire (sans échelle ni proportion). (SAH Sud-Loire).

### *2.3.5 Historique de l'anthropisation du site*

Depuis plus de 2 siècles, le fonctionnement hydraulique du lac de Grand-lieu a été fortement modifié par de nombreux aménagements, dont les principaux sont cités ci-dessous :

- creusement du canal du Buzay à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle, avec construction du vannage du même nom; l'objectif était de stopper les remontées dues à la marée vers le lac ;
- construction, en 1840, de la digue reliant les villages de Bouaye et de Saint-Mars-de-Coutais (actuelle RD 264) : le lac perd ainsi une partie de sa superficie et son troisième affluent, le Tenu, qui rejoint alors directement l'Acheneau, en aval du lac.
- suppression des seuils rocheux situés sous l'Acheneau, entre 1954 et 1962 ; et construction du vannage de Bouaye ; ces travaux signent le début de l'artificialisation du fonctionnement hydraulique du lac en permettant notamment la maîtrise des niveaux ;
- creusement du canal Guerlain en 1962, qui devient alors le principal exutoire du lac, au détriment du canal de l'Etier ;
- de 1984 à 1986, la société du canal de Buzay rectifie et agrandit la douve de ceinture du lac, ce qui accélère l'écoulement des prairies humides du Sud-Ouest.

**La gestion des niveaux d'eau du lac de Grand-Lieu est artificielle depuis le début des années 60**

Cette gestion hydraulique est régie par la réglementation, et notamment par un arrêté préfectoral, qui définit la gestion et les côtes du plan d'eau au cours de l'année au droit du barrage de Bouaye. C'est le Syndicat d'Aménagement Hydraulique Sud Loire (SAH) qui gère les côtes du lac et applique la réglementation. A titre d'information, les premières prescriptions de gestion hydraulique du lac datent d'un arrêté de 1996. Dans les grandes lignes, l'hydrologie artificielle actuelle du lac de Grand lieu se caractérise par :

- une baisse des niveaux au printemps moins rapide que celle due à l'hydrologie naturelle,
- une augmentation des cotes estivales (plus élevées que ce qui serait « la normale »),
- de moindres variations intra-annuelles (au printemps et en été notamment) et inter-annuelles.

- Matériels et méthodes -

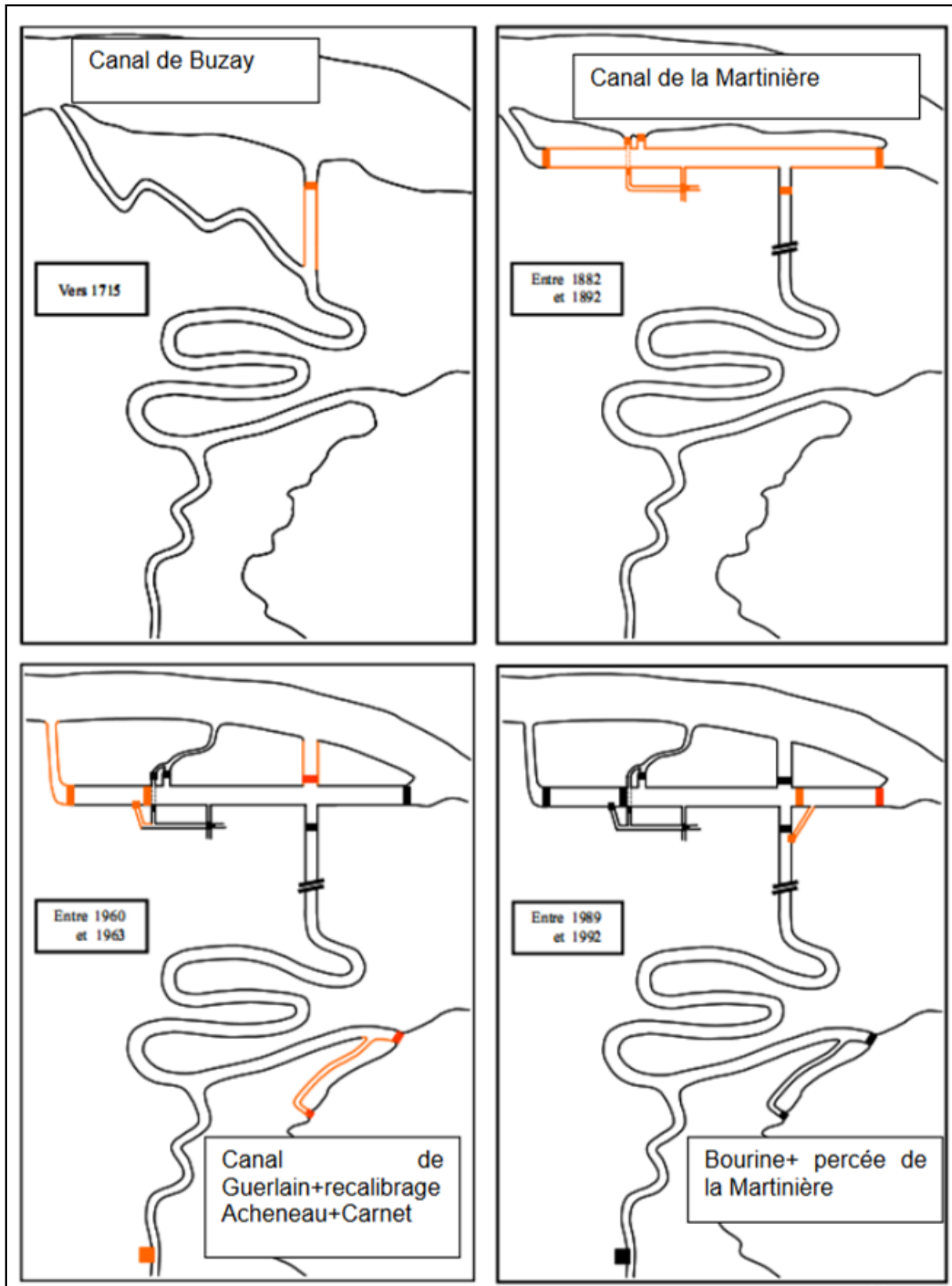


Figure 10 : Schéma de l'évolution du niveau d'anthropisation du site (CARAGUEL JM)

## - Matériels et méthodes -

### 2.3.6 Une gestion complexe de l'eau

La présence de nombreux ouvrages offre la possibilité d'une gestion fine du réseau hydraulique permettant de concilier les nombreux usages (Figure 11 et Figure 12).



Figure 11 : Gestion d'été du réseau situé à l'aval du lac de Grand Lieu (SAH)



Figure 12 : Gestion d'hiver du réseau situé à l'aval du lac de Grand Lieu (SAH)

## - Matériels et méthodes -

### 2.3.7 Présentation de l'ouvrage de régulation du niveau d'eau du lac de Grand Lieu (vannage de Bouaye)

Cet ouvrage signe la sortie du plan d'eau. Dans le cadre de la migration d'avalaison il est presque impératif que les anguilles passent par ce point pour rejoindre la Loire (une solution d'échappement est également possible via le seuil de « Maison Blanche » sous certaines conditions de niveau d'eau). La gestion de cet ouvrage devient dès lors primordiale pour assurer la transparence migratoire pour les anguilles argentées dévalantes.



Figure 13 : Vue de côté de l'ouvrage de Bouaye (FISH PASS)



Figure 14 : Vue aval de l'ouvrage de Bouaye (FISH PASS)

## - Matériels et méthodes -

L'ouvrage est constitué de 5 vannes levantes (4 vannes de 4 mètres et une vanne centrale de 5.2 m) qui régulent le niveau d'eau du lac de Grand Lieu et permettent une gestion du débit sortant du plan d'eau sur la période de dévalaison. Les cotes de gestion ainsi que la manière de gérer l'ouvrage sont imposées par le règlement d'eau en vigueur et appliquées par le gestionnaire : le SAH sud Loire.

### *2.3.8 Hydrologie et niveau d'eau du plan d'eau*

#### *2.3.8.1 La gestion du niveau d'eau*

Avec un bassin versant de 830 km<sup>2</sup>, le niveau d'eau du lac est géré de manière anthropique à l'aide du vannage du Bouaye.

Cette gestion permet de maintenir un certain niveau d'eau du lac lorsque la pluviométrie de la région est faible, afin de laisser le lac en eau pour la ressource piscicole. Elle permet également de limiter l'élévation du niveau du lac lorsque la pluviométrie est forte, afin de limiter les inondations des champs et des villages aux abords du lac.

Une forte collaboration est indispensable entre le Service d'Aménagement Hydraulique (SAH) et les différents acteurs du lac (pêcheurs, agriculteurs, chasseurs, réserve naturelle et habitants) afin de répondre aux attentes de chacun. Il y a donc une forte pression autour de cette gestion.

Dans le cadre de cette étude, le niveau d'eau du lac est un facteur environnemental important dans la migration des anguilles argentées. L'étude EDAGGL1 a montré que l'élévation du niveau d'eau était un facteur déclencheur de la migration. Sa gestion a donc un impact sur la migration des anguilles argentées du lac de Grand Lieu

Une étude des relations sociales qui entourent la gestion du lac de Grand Lieu a été réalisée et sera détaillée en fin de rapport.

Cette année l'hydrologie du bassin versant a été très faible tout au long de l'étude. Le niveau d'eau du lac sur toute la période 2016/2017 a été plus bas qu'en 2015/2016. Le niveau d'eau du plan d'eau n'avait pas atteint des côtes aussi basses en début d'année depuis 1954 (SAH) (Figure 15).

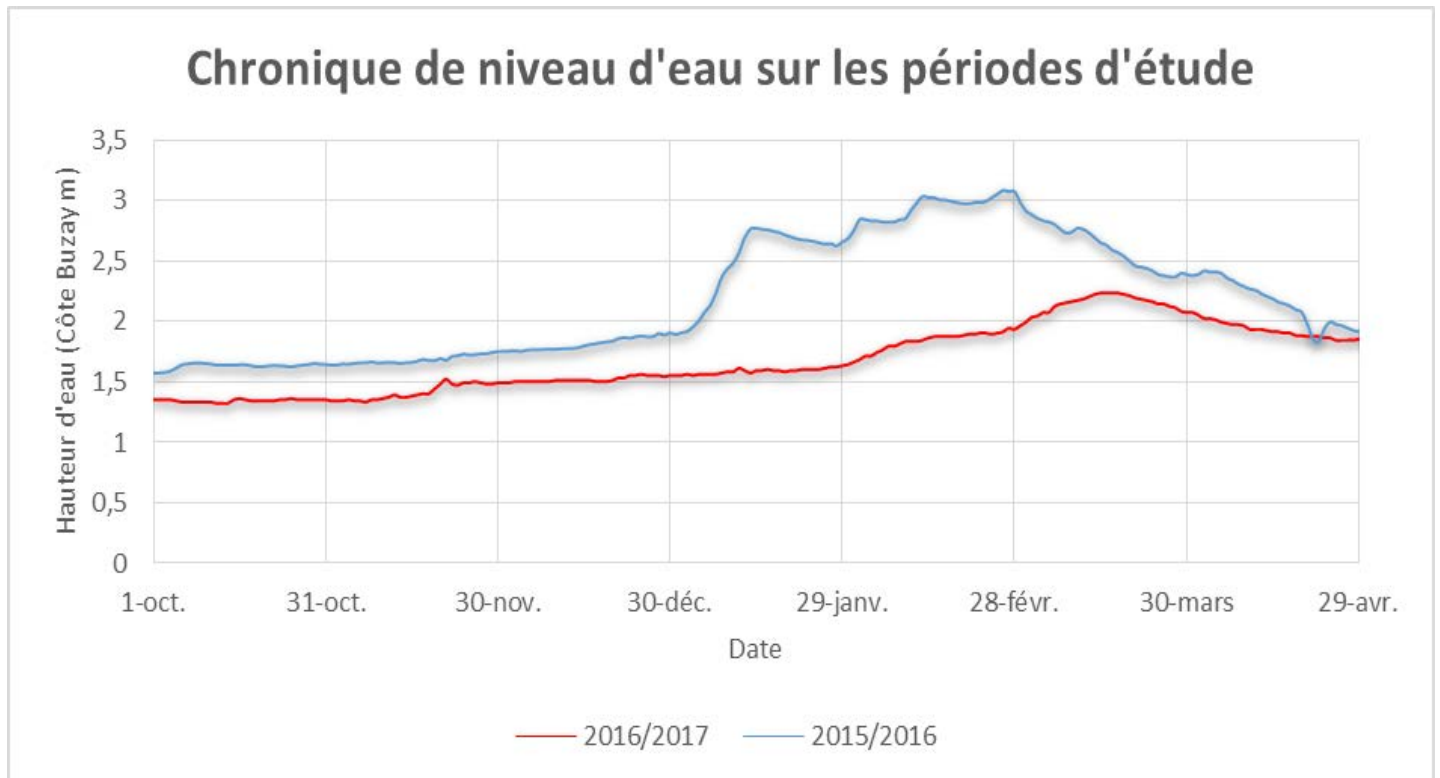


Figure 15 : Comparaison des chroniques de niveau d'eau sur la période d'étude (moyennes annuelles sur 136 années de suivis (1880 à 2016) moy = 2 m ; min = 1.06 m ; max = 4.11 m)

- **Le vannage de Bouaye**

Lors du démarrage de l'étude, le vannage de Bouaye était fermé depuis le 28 Juin 2016. Il l'est resté jusqu'au 6 mars 2017 au soir. Il a été ouvert le 6 mars à 18h pour être refermé le 22 avril (Figure 16).

- Matériels et méthodes -

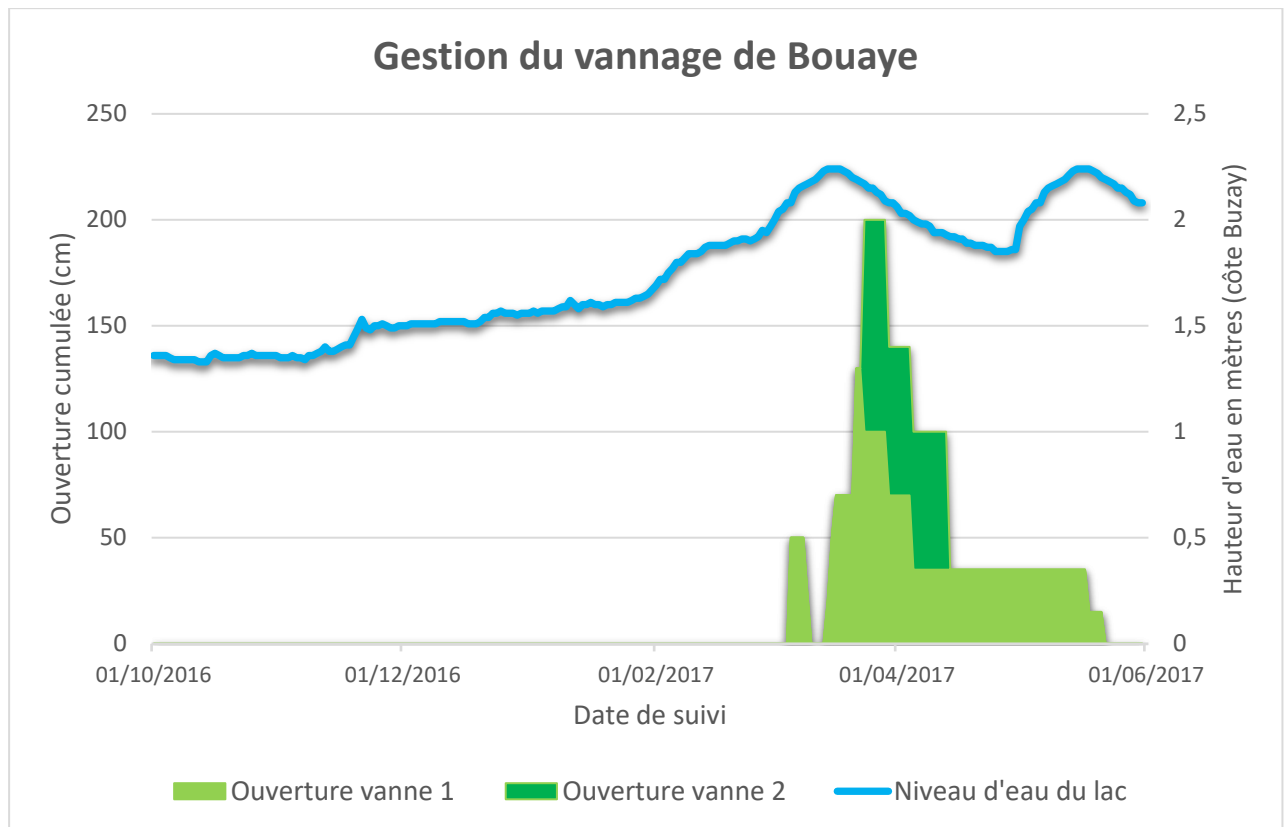


Figure 16 : Gestion du vannage de Bouaye

Lors de l'élévation du niveau d'eau du lac, une surverse est possible sur la vanne centrale. Cette année, il y a eu une surverse sur la vanne centrale à partir du 28 février (Figure 17, Figure 18 et Figure 19).

**- Matériels et méthodes -**



Figure 17 : Vue aval des 5 vannes de l'ouvrage de Bouaye (FISH-PASS)



Figure 18 : Vanne centrale le 28 février 2017 (FISH-PASS)



Figure 19 : Surverse par la vanne centrale le 15 mars 2017 (FISH-PASS)

- **Les autres vannages**

Afin de permettre l'écoulement de l'eau du lac vers la Loire, lorsque le vannage de Bouaye est ouvert, les ouvrages en aval le sont également. Les eaux du lac s'écoulent de l'Acheneau vers le canal de la Martinière par le vannage de vieux Buzay puis soit directement par le barrage de Buzay ou alors par l'écluse du Carnet. Le vannage de vieux Buzay est parfois fermé pour permettre un écoulement vers l'écluse de la Martinière par le canal de la Bourrine. **La continuité écologique à la dévalaison est donc entièrement dépendante de la gestion du vannage de Bouaye.**

L'ensemble des ouvrages du lac de Grand Lieu à la Loire étant intimement interconnectés, il est impératif de raisonner à l'échelle de l'ensemble des ouvrages lorsque l'on parle de continuité écologique lors de la dévalaison des anguilles argentées du bassin versant du lac de Grand Lieu.

- **L'ouvrage de Maison Blanche**

Le passage de Maison de Blanche est une voie d'écoulement d'eau situé au Nord-Ouest du lac. Ce passage possède un seuil permettant d'augmenter la capacité d'évacuation qu'à partir de la côte 1.35 IGN69 (1.80 m Côte Buzay). Le débit évacué par le seuil correspond à une proportion inférieure à 10 % du débit total (ISL).

## - Matériels et méthodes -

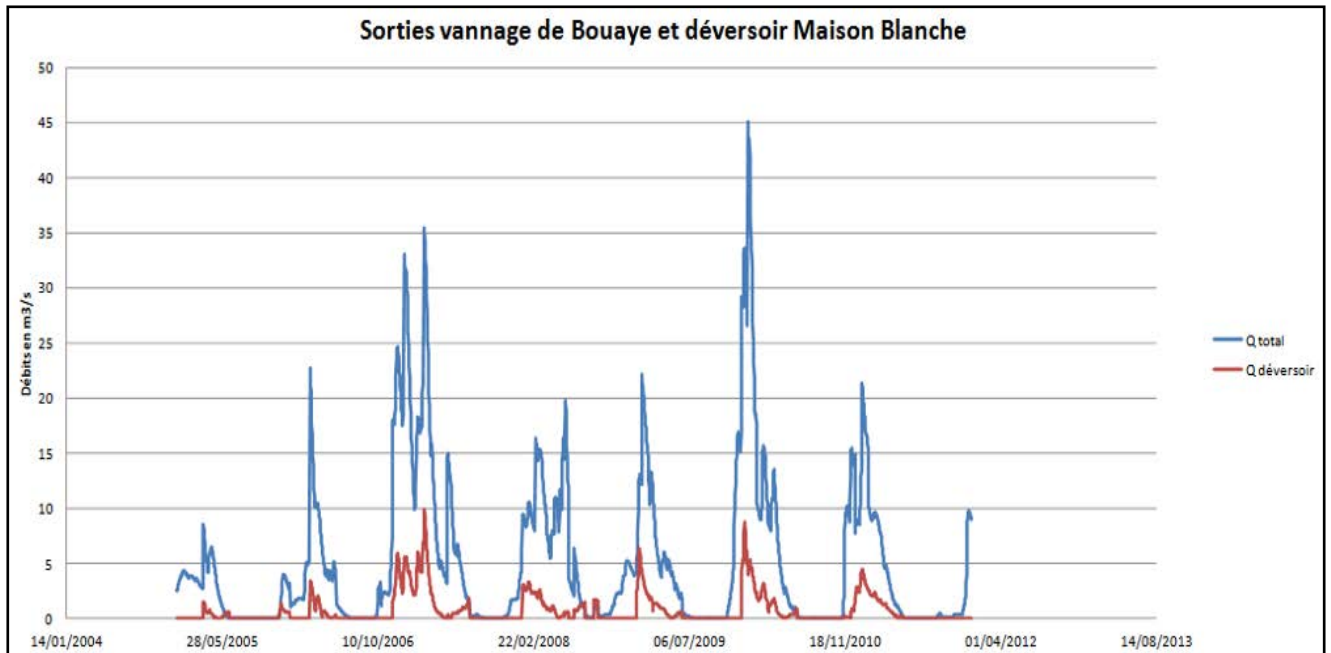


Figure 20 : Débit de sortie des vannes de Bouaye- Modélisation hydraulique (ISL)

L'écoulement au niveau du seuil de Maison Blanche s'effectue uniquement par surverse. Il longe le bord du lac pour finir sa course dans l'Acheneau au pied du vannage de Bouaye.

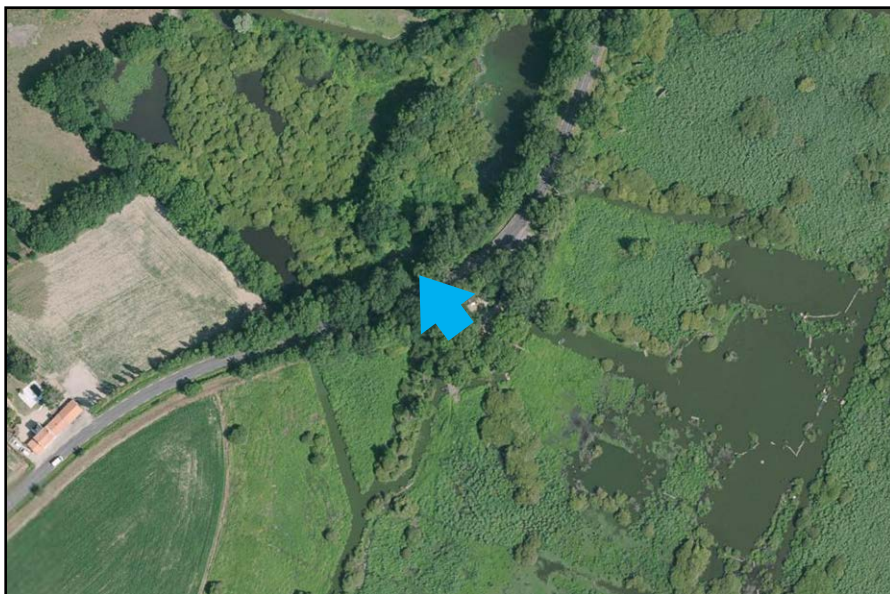


Figure 21 : Position du passage de Maison Blanche (géoportail)

**- Matériels et méthodes -**



Figure 22 : Sens d'écoulement de la surverse (géoportail)



Figure 23 : Aval du seuil de Maison Blanche par surverse (FISH-PASS)

## - Matériels et méthodes -



Figure 24 : Aval du seuil de Maison Blanche hors surverse (FISH-PASS)

Cette année la surverse au niveau du seuil de Maison Blanche a eu lieu à partir du 08 février 2017 (Figure 25).

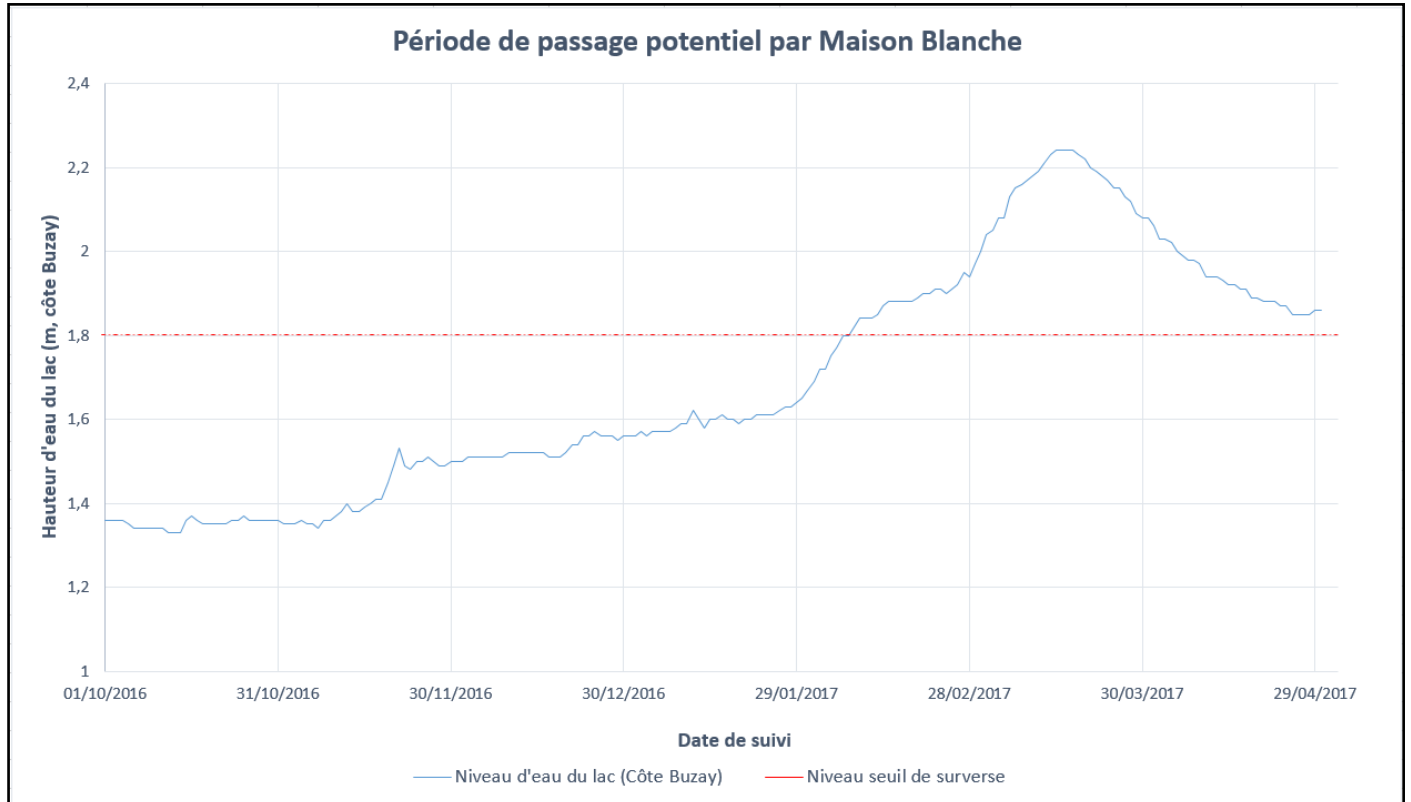


Figure 25 : Période de passage potentiel par Maison Blanche

La fermeture (complète) du barrage n'offre pas de possibilité de dévalaison pour les anguilles argentées lorsque le niveau du plan d'eau est en dessous de la cote d'utilisation de la sortie de « Maison Blanche »

## 2.4 La pêche du lac de Grand-Lieu

### 2.4.1 Historique

La pêche sur le lac de Grand-Lieu est une activité ancestrale, il est rapporté des traces de pêche formalisée datant de 1143 (Adam, 1997). La pêche à l'anguille y est pratiquée depuis des siècles et constitue encore aujourd'hui, 80 % à 90 % du chiffre d'affaires des entreprises de pêche de Grand-Lieu. Les effectifs de pêcheurs n'ont cessé de décroître depuis le début du siècle. En effet, 120 hommes pratiquaient la pêche en 1920 (Adam, 1997), 15 en 1994 (Adam et Elie, 1994), 8 de 1997 à 2007 (com pers) et 7 pêcheurs sont actuellement membres de la Société Coopérative des Pêcheurs du lac de Grand-Lieu et exercent sur le plan d'eau depuis 2007.

### 2.4.2 Engin de pêche

Actuellement les pêcheurs utilisent exclusivement le verveux pour cibler l'anguille. Communément appelé verveux, cet engin est l'équivalent de la capêchade méditerranéenne. Il fut introduit sur le lac de Grand-Lieu à la fin des années 70 par un pêcheur et celui-ci est rapidement devenu l'engin principal de la pêche. Il s'agit d'un engin passif constitué d'une paradière (généralement de 100 mètres de long mais de longueur variable en fonction des besoins et des contraintes) guidant le poisson vers un enclos triangulaire dont les angles se terminent en pièges (poches, Figure 26). Chaque piège est constitué de 3 goulets de différentes mailles afin de sélectionner la taille des individus recherchés. En effet, la première partie des poches est constituée de filets en mailles 17, la seconde partie en mailles de 15 et la partie terminale en mailles de 10. Les pièges sont en filets souples maintenus en formes cylindriques par des arceaux.

## - Matériels et méthodes -

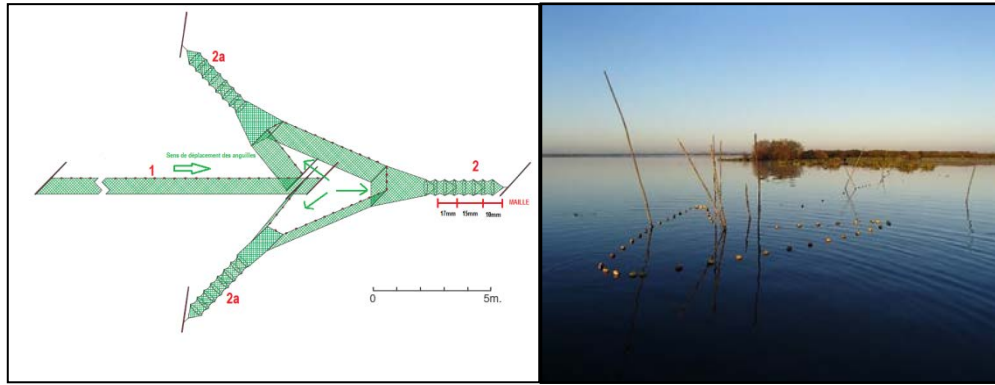


Figure 26 : Représentation d'un verveux utilisé sur le lac. Les chiffres 1,2 et 2a représentent respectivement, la paradière ou nappe, la poche principale et les deux poches de refus. (G. Adam)

### 2.4.3 Pratiques de pêche

Très apprécié des pêcheurs professionnels pour ses qualités de rendement et le bon état des poissons capturés, le verveux demande un certain temps de travail pour la pose et la dépose complète. De plus, l'engin subit de manière récurrente les méfaits des rats musqués, causant ainsi la fuite du poisson piégé. Les verveux sont placés dans des zones comprises entre 60 et 200 cm de profondeur. Son utilisation est donc possible sur l'ensemble des parties en eau du lac (voir descriptif des milieux du lac). Depuis l'instauration du verveux comme outil de l'exploitation halieutique, les habitudes ont changé, la nouvelle stratégie a modifié la prospection géographique du lac et la fréquentation des zones en eaux. Les verveux sont installés par les pêcheurs sur un site donné, demeurent en état de pêche durant un certain nombre de jours puis sont déposés ou simplement vidés de leurs captures. Ce nombre de jours de pêche peut varier pour les verveux entre deux extrêmes, 1 et 25 jours selon les périodes annuelles (été ou hiver) et les habitudes de chacun. Généralement, les verveux sont relevés plus souvent lors des périodes estivales lorsque les eaux sont chaudes ou lorsque les biomasses capturées sont importantes. En moyenne, sur les saisons d'exploitation, les verveux sont levés tous les 4 jours. A la période à laquelle l'étude s'est déroulée, de fin septembre 2015 à mi-janvier 2016, les professionnels ont relevé leurs engins de 2 à 3 fois par semaine. Ce chiffre varie d'une semaine à l'autre mais aussi d'un pêcheur à l'autre. Les 7 pêcheurs du lac se partagent la zone de pêche. Il faut noter que les emplacements (zones) sont propres à chaque pêcheur. Ils doivent, selon la législation de la réserve, indiquer l'emplacement de leurs engins par un drapeau, à fanions de couleur propre à chacun. Ces emplacements sont légués au successeur du pêcheur partant. Il faut noter que la vente d'anguilles est la principale source de revenu des pêcheurs du lac de Grand-Lieu. La pêche à l'écrevisse de Louisiane (*Procambarus clarkii*) est également pratiquée en complément d'activité. Certains professionnels pratiquent la pêche à l'araignée (filet

## - Matériels et méthodes -

droit maillant ciblant des espèces comme la brème commune (*Abramis brama*), le sandre (*Sander lucioperca*) ou le brochet (*Esox lucius*).

### 2.4.4 Législation de la pêche sur le lac de Grand-Lieu

#### 2.4.4.1 Périodes légales de pêche

La réglementation de l'exercice de la pêche professionnelle sur le lac de Grand-Lieu a évolué, surtout au niveau des périodes d'ouverture de la pêche à l'anguille sédentaire (« jaune »). En effet, comme le montre de Tableau 1 ci-dessous, avant l'instauration du PGA il était possible pour les pêcheurs d'exploiter les deux stades « argenté » et « jaune » toute l'année. Après la mise en place de la législation instaurée par le PGA, la durée de la période de pêche à l'anguille au stade « argenté » a connu une réduction de 71 %. Pour la durée légale de la pêche à l'anguille au stade « jaune » elle a connu une réduction de 42 % en 2009, 50 % en 2010 et 58 % après 2011 par rapport à la période antérieure à 2008. La pêche de l'anguille est actuellement fermée 107 jours par an soit 30 % du temps ce qui correspond à une réduction de l'effort de pêche de 30 % sur la période de mise en œuvre du PGA.

**Tableau 1 : Historique de la législation instaurant les périodes légales de pêche à l'anguille sur le lac de Grand-Lieu (Source : PGA + Arrêtés, données compilées par D. SIMON)**

Année	Période anguille «jaunes»	nombres de jours	Période anguille «argentées»	nombres de jours	Arrêtés	
Depuis 2015	01/04 au 31/08	153	01/10 au 15/01	106	27 Janvier 2014 (NAT) et suivants	
2014 à 2011	01/04 au 31/05 puis 01/07 au 30/09	153		106	106	1 Mars 2013 (NAT)
				106	106	Règlement CE/1100/2007
				106		
2010	01/04 au 30/09	182		106		
2009	01/04 au 30/10	212	106			
Avant 2008	Pas de limitation	365	Pas de limitation	365	/	

#### 2.4.4.2 Zones légales de pêche

Pour ce qui est des zones de pêches, il existe des restrictions temporaires. En effet, le lac de Grand-Lieu est soumis à la mise en place de réserves durant de courtes périodes. Notamment la mise en réserve de pêche par arrêté préfectoral de la Boulogne et l'Ognon entre le 1<sup>er</sup> Octobre et le 8 Mai. De plus, plusieurs zones (bassin Petiot, en tant que zone de non-dérangement des oiseaux, le canal de Guerlain et l'Acheneau) sont interdites aux professionnels depuis 2008 (Figure 27).

## - Matériels et méthodes -

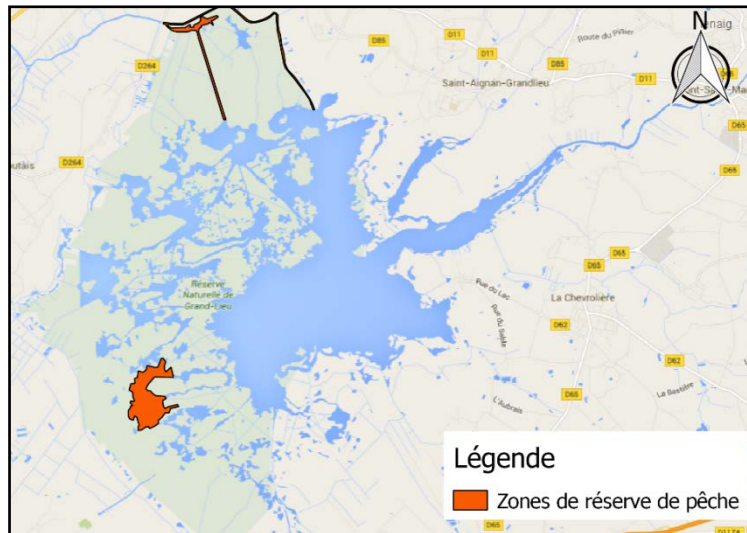


Figure 27 : Historique de la législation instaurant les zones légales de pêche à l'anguille sur le lac de Grand-Lieu (Source : PGA + Arrêtés, données compilées par D. SIMON)

### 2.4.4.3 Autres réglementations en vigueur

Il faut noter que seuls les pêcheurs membres de la Société des Pêcheurs aux Engins du Lac de Grand-Lieu sont autorisés à pêcher aux engins et filets. Réglementairement, les queues des verveux utilisés par les professionnels doivent avoir une maille minimale de 10 millimètres (arrêté préfectoral du 9 Janvier 2004). Le nombre d'engins autorisé par pêcheur est de 13, la longueur des paradières ne doit pas excéder 100 mètres et ces derniers doivent être séparés par une distance égale à au moins trois fois la longueur du plus long de ces engins » (arrêté préfectoral n°2015/SEE/587).



Figure 28 : Paradière en place sur le lac de Grand Lieu (V MAZEL)

## 2.5 Suivi de la pêche et biométrie

### 2.5.1 Suivi de la pêche

## - Matériels et méthodes -

Afin d'obtenir des données précises sur la pêcherie, il a fallu accompagner les pêcheurs lors de leurs sorties. Lors des sorties « terrain », les poids totaux capturés par engin, les localisations précises de ces derniers mais également des échantillonnages de l'eau du lac ont pu être réalisés (conductivité, pH, turbidité). Pour tous les jours de pêche, en l'absence de membres de l'équipe technique, une fiche dite de « pêche » (date de pose et de relève de l'engin, nombre d'engins relevés, nombre de poches relevées (Poches principales, Poches de refus), le poids total de la pêche du jour (Estimé et ou Pesé)) a été proposée et acceptée par les professionnels. Cette dernière a permis de collecter des données avec lesquelles il a été possible de calculer des efforts de pêche et des tonnages permettant d'obtenir des rendements et des CPUE (capture par unité d'effort).



Figure 29 : Tri des anguilles jaunes sur le bateau lors d'une relève de verveux (V MAZEL)

### 2.5.2 Biométrie (*caractérisation de la fraction exploitée*)

Lors de certaines sorties de pêche (1 à 2 fois par semaine), une biométrie a pu être faite sur une partie des captures (au minimum 50 anguilles). Cette biométrie a permis de relever des paramètres morphologiques (taille, poids et stade) qui ont servi à connaître le taux d'argenture, le sex-ratio, le poids moyen par sexe et l'évolution de ces paramètres au cours de la saison de pêche. Ces données, leurs évolutions et leurs utilisations, seront présentées dans la partie résultat. Il faut noter qu'aucune biométrie n'a pu être faite la semaine 49. Aucun suivi de pêcheurs n'a en effet été réalisé à cette période. La semaine 2 correspond à la dernière semaine de la pêche légale. Peu d'engins se trouvaient encore en pêche, les pêcheurs estimant qu'il n'y aurait plus beaucoup de captures. Concernant la semaine où aucune biométrie n'a pu être faite (semaines 49) des moyennes entre les valeurs précédentes et suivantes ont été réalisées pour chaque paramètre (taux d'argenture, poids moyen pour chaque stade, sex-ratio).

**Le stade de maturité de l'anguille (argenture) est estimé sur les critères de coloration externe, diamètre oculaire et présence d'une ligne latérale différenciée (Acou *et al.*, 2005).**

## - Matériels et méthodes -

Pour évaluer le sexe sans sacrifice, c'est la structure en classes de tailles des individus argentés, qui suit une répartition bimodale, qui est utilisée. Le premier mode est composé essentiellement de mâles (90 %) et le deuxième exclusivement de femelles (Laffaille *et al.*, 2006). La limite utilisée est fixée préalablement à 450 mm. Celle-ci est vérifiée par la suite par observation macroscopique des gonades d'un échantillon d'individus argentés issus des captures par la pêche en place sur le lac de Grand Lieu

### 2.5.3 Biométrie spécialisée (qualité des géniteurs produits) CAMPAGNE 2015-2016

Des données complémentaires de biométrie ont également été collectées. Cette biométrie consiste aux relevés de plusieurs paramètres morpho-anatomiques internes et externes (taille, poids, index oculaire, sexe, présence de lésions externe, parasitisme (vis-à-vis d'*A. crassus*) et âge (par otolithométrie)) sur 102 individus achetés aux pêcheurs professionnels.

Ces données ont été acquises en 2015-2016 mais n'ont pas été renouvelées en 2016-2017. Elles sont données dans ce rapport à titre d'information.

#### 2.5.3.1 Pathologies externes des géniteurs

L'étude des lésions externes selon le guide de Beaulaton et Penil., 2009 (figure 30) permet de rendre compte de l'état de santé des anguilles argentées du lac de Grand-Lieu ; un indice pathologique général (I<sub>PG</sub>) a été calculé (Elie et Girard 2014) (Tableau 2) :

Tableau 2 : Classes de qualité à partir de l'indice pathologique général (Elie et Girard 2014)

Classes de qualité : I <sub>PG</sub>	0 ⇨ 0,04	0,05 ⇨ 0,20	0,21 ⇨ 0,80	0,81 ⇨ 1,40	1,41 ⇨ 4,00
Condition des poissons	Excellente	Bonne	Précaire	Dégradée	Mauvaise

$I_{PG} = \sum (P \times Q)$  avec P : % de poissons atteints par la lésion considérée et Q : sévérité de la lésion

**- Matériels et méthodes -**



code lésion ou parasitisme (Tableau 1), d'une lettre pour la localisation (Tableau 2 et Figure 5) et d'un chiffre pour l'importance (Tableau 3), soit quatre caractères.

Code lésion et parasitisme <sup>(1)</sup>		
Absence de lésion ou de parasite		OO
Lésions anatomo-morphologiques		
Absence d'organe <sup>(4)(5)</sup>	S	AO
Altération de la couleur	S	AC
Anus rouge ou saillant	S	US
Bulle de gaz	S	BG
Déformation difformité	D	AD
Hypersécrétion de mucus	S	SM
Exophtalmie	D	EX
Opacification oculaire	S	CO
Maigreur	D	AM
Érosion	S	ER
Hémorragie	S	HE
Ulcère (dont hémorragique) <sup>(6)</sup>	N/S	UL
Nécrose	S	NE
Masses et grosseurs (dont kyste) <sup>(6)</sup>	N/S	AG
Parasitisme externe		
Point blanc	S	PB
Mycose (« mousse »)	S	PC
Crustacés <sup>(7)</sup>	N/S	CR
Hirudinés	N	HH
Autres parasites que les 4 précédents <sup>(7)</sup>	N/S	PX
Parasites (une des 5 catégories au-dessus) <sup>(7)</sup>	N/S	PT

Tableau 1 : code lésion et parasitisme. Voir le texte pour les renvois.

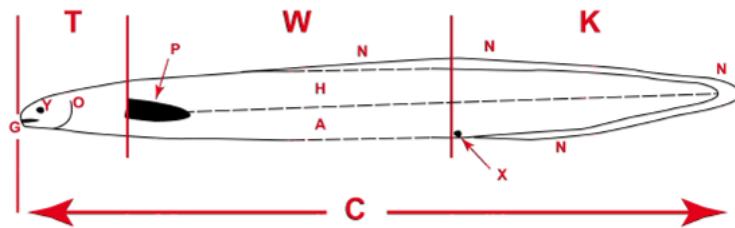


Figure 5 : schéma représentant les localisations (voir Tableau 2)

## - Matériels et méthodes -

Code localisation anatomique <sup>(2)</sup>	
Localisation	Code
Corps	C
Colonne vertébrale	V
Tête	T
Bouche	G
Œil	Y
Opércule / Branchies	O
Tronc	W
Abdomen	A
Dos	H
Nageoire pectorale	P
Nageoire principale	N
Pédoncule caudal	K
Orifice anal	U

Tableau 2 : code localisation anatomique. Voir le texte pour les renvois.

Code importance (C_imp) <sup>(3)</sup>	
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

Tableau 3 : code importance. Voir le texte pour les renvois.

Toutes les anguilles qui ont subi le protocole guide sanitaire reçoivent au moins un code pathologique.

Ainsi, en l'absence de toute lésion ou parasite, le code pathologique attribué sera OOC0.

Le principe de la manipulation est de coder ce que l'on voit et de s'abstenir de faire du diagnostic. Le codage repose sur l'application de 9 principes ou conventions décrits ci après.

- (1) Lorsque le poisson présente plusieurs types de lésions ou de parasites, ils doivent tous être codés sans hiérarchie. Ainsi, on codera les observations même les plus petites ou les plus simples. Il

n'y a pas de limite dans le nombre.

(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). Pour faciliter l'opération, les méthodes de qualification de l'importance sont précisées dans la grille de codage au regard de chaque type de lésion ou de parasite.

(4) Convention de notation pour absence d'yeux (et pour cette lésion uniquement) : 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 hirudinés ou Argulus, la codification de l'importance utilisera le nombre (N).

(8) Pour les parasites les plus petits, types point blanc ou Paragnathia, la codification de l'importance utilisera la surface atteinte (S).

(9) Le code Tête (T) s'utilise depuis le bout du museau jusqu'à l'insertion de la nageoire pectorale. Le pédoncule caudal (K) s'utilise depuis l'extrémité terminale de l'anguille jusqu'à l'anus (anus compris). Entre les deux (T et K), on utilise le code tronc (W).

Figure 30 : Extrait du guide pathologies sur l'anguille (Beaulaton et Penil., 2009)

## - Matériels et méthodes -

### 2.5.3.2 Parasitologie vis-à-vis d'*Anguillicoloides crassus* CAMPAGNE 2015-2016

L'étude parasitologique vis-à-vis d'*Anguillicoloides crassus* des anguilles du lac de Grand-Lieu a été réalisée sur les 102 individus prélevés. Des indices épidémiologiques (prévalence, intensité moyenne, abondance moyenne) ont été calculés selon Bush *et al.*, 1997 in Charrier *et al.*, 2010.

**Prévalence = nombre d'hôtes infestés x 100 / nombre d'hôtes examinés.**

**Intensité moyenne = nombre total de parasites trouvés dans l'échantillon / nombre d'hôtes infestés.**

**Abondance moyenne = nombre total de parasites trouvés dans l'échantillon / nombre total d'hôtes examinés**

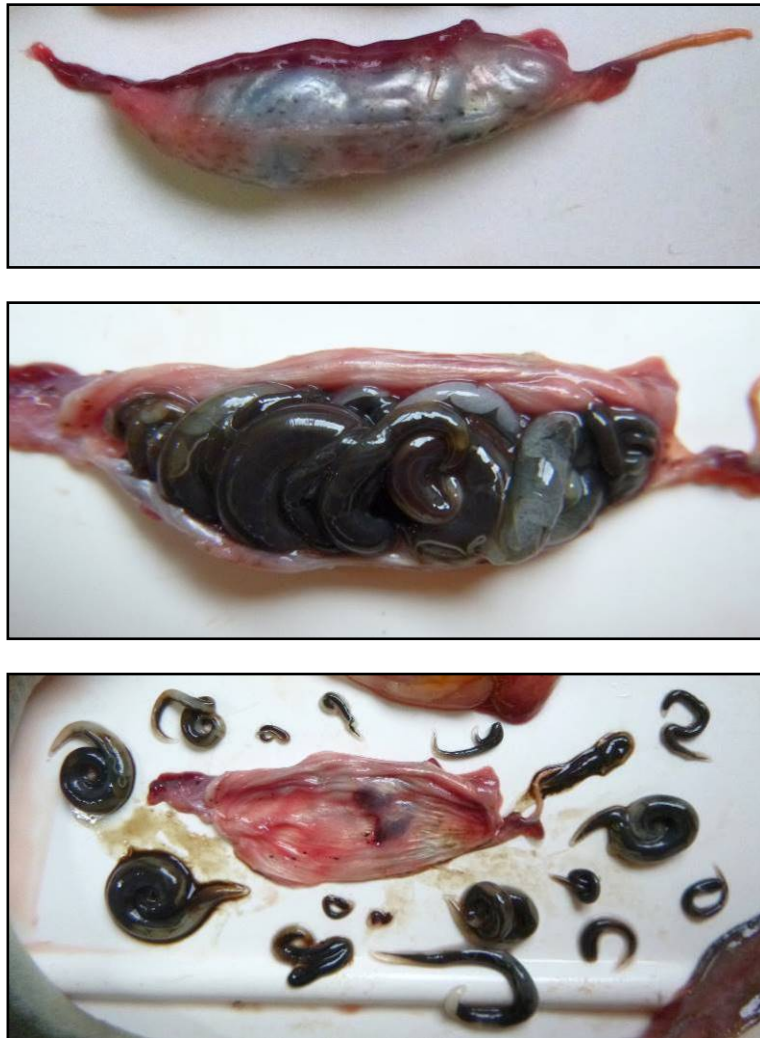


Figure 31 : Extraction de la vessie natatoire, dissection puis comptage des parasites dans la vessie natatoire sur une anguille argentée du lac de Grand Lieu (FISH PASS)

## - Matériels et méthodes -

En l'absence de parasite durant l'autopsie, il est possible d'observer des « traces » de parasitose passée. En effet, une vessie natatoire dégradée est signe d'un épisode passé de parasitose à *A. crassus* (Lefebvre *et al.*, 2002).

Tableau 3 : Notation des indices d'altération de la vessie natatoire (Lefebvre *et al.*, 2002)

Les indices d'altération de la vessie		
<b>L'opacité / transparence</b>	Vessie transparente	<b>0</b>
	Vessie nacrée	<b>1</b>
	Vessie opaque	<b>2</b>
<b>La pigmentation et les débris</b>	Vessie dépourvue d'exudat et de pigmentation des tissus conjonctifs	<b>0</b>
	Vessie présentant soit un exudat soit une pigmentation	<b>1</b>
	Vessie présentant à la fois un exudat et une pigmentation	<b>2</b>
<b>L'épaisseur de la vessie natatoire</b>	Epaisseur inférieure à 1mm	<b>0</b>
	Epaisseur comprise entre 1 et 3 mm	<b>1</b>
	Epaisseur supérieure à 3 mm	<b>2</b>

En effet ces trois critères, une fois cumulés, permettent d'attribuer une note à chacune des vessies disséquées allant de 0 à 6. On considère qu'une note de 0 équivaut à une vessie parfaitement intacte, n'ayant pas subi de pression parasitaire, une note comprise entre 1 et 3 indique que la vessie reste modérément dégradée, et enfin au-delà de la note de 4 la vessie est alors considérée comme sévèrement dégradée, remettant en doute ses capacités de fonctionnement au cours de la migration de l'anguille (GRISAM, 2006 in Amilhat, 2007)

Sur la base de cette méthode il est possible de hiérarchiser le niveau de dégradation de la vessie par un indice : **le SDI (Swimblader Dégénérative Index)**.

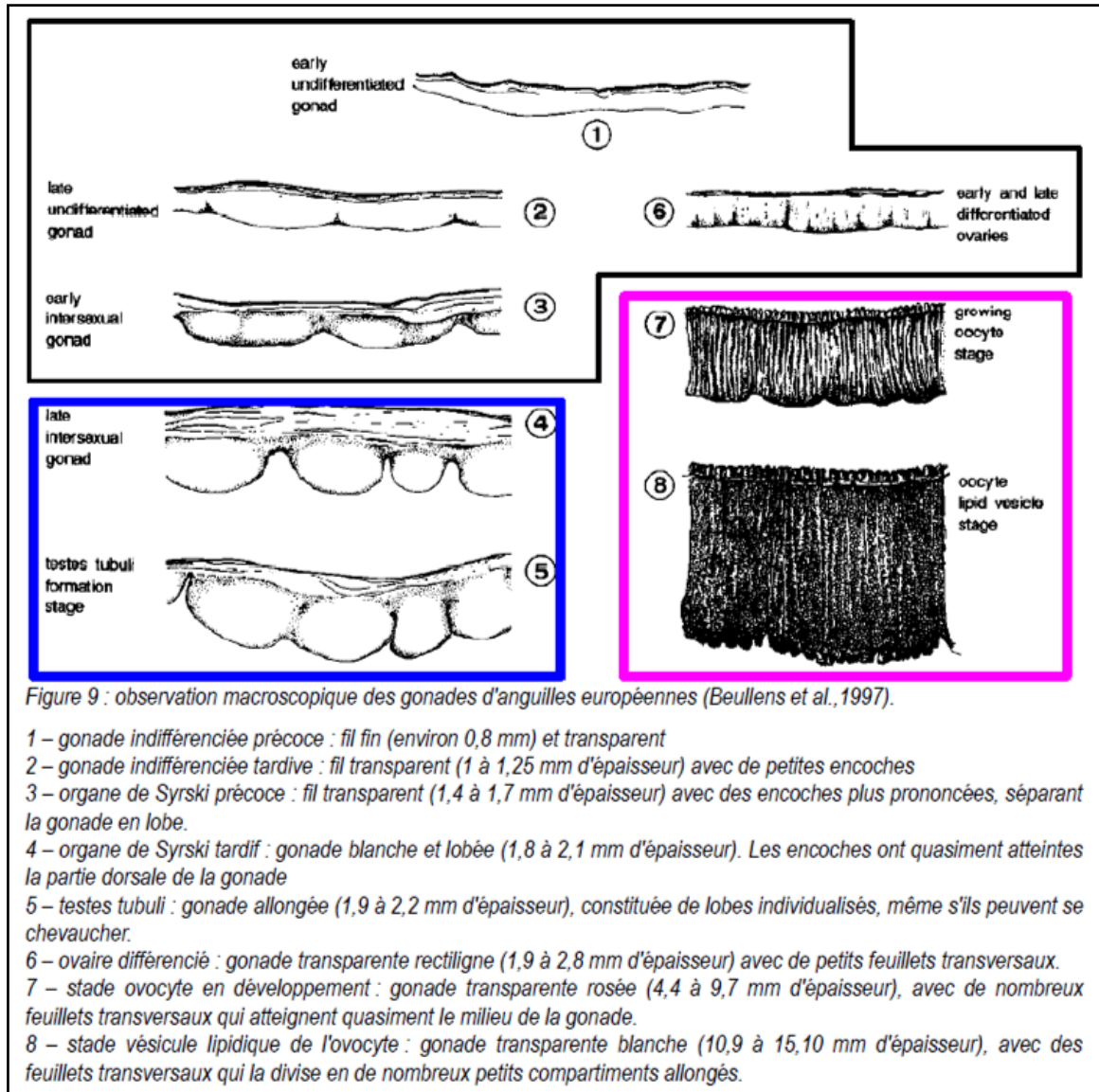
$$\text{SDI} = \sum \text{des scores des 3 métriques}$$

La prévalence du SDI (PSDI) est calculée en prenant en compte des individus avec un indice de dégénérescence de la vessie (SDI) supérieur ou égale à 2 (Amilhat, 2007)

$$\text{PSDI} = (\text{nombre d'hôtes avec SDI} > \text{ ou } = 2) * 100 / \text{nombre d'hôtes examinés}$$

**2.5.3.3 Sexage CAMPAGNE 2015-2016**

Le sexage et le stade de développement des gonades des individus argentés conservés pour analyse des otolithes et de la parasitologie interne sont réalisés par observation macroscopique des gonades selon les critères décrits par Beullens *et al.* (1997) et repris dans le guide « PROTOCOLES SPÉCIFIQUES ANGUILE POUR L'ONEMA » (Beaulaton et Penil 2009).



**Figure 32 : Observation macroscopique des gonades d'anguilles européennes (Beullens et al., 1997 in Beaulaton et Penil 2009)**

#### 2.5.3.4 Ageage des géniteurs CAMPAGNE 2015-2016

L'otolithométrie permet l'acquisition de données essentielles pour analyser la dynamique des populations. La connaissance des paramètres d'âge et de croissance permet de comprendre l'évolution de la population et par la suite de modéliser son fonctionnement. Un rétro-calcul a été réalisé dans le but d'obtenir une clé Taille-Age permettant d'obtenir l'âge en connaissant la taille de l'individu considéré.

##### **Les otolithes :**

Les otolithes sont des concrétions calcaires situées dans l'oreille interne des poissons. Ils participent d'une part à la transition des sons, d'autre part à l'équilibration et à la perception de la profondeur (Morris et Kittleman, 1967, Gauldie et Nelson, 1990). On distingue trois paires d'otolithes, logées dans les capsules otiques de chaque côté du crâne. Les sagitta sont les plus grandes ; elles sont contenues dans le sac endolymphatique, de même que les asterici, plus petites et parfois situées dans un diverticule externe de la matrice. Les lapillis, très petites, se trouvent dans l'atrium des canaux semi circulaires (Dahl, 1967). Généralement, l'estimation de l'âge et de la croissance des poissons est basée sur l'interprétation des sagitta, en raison de leur grande taille (Tsukamoto et Kajihara, 1987). La position des sagitta dans le sac endolymphatique varie selon les espèces : les otolithes sont soit posés en contact avec l'os crânien, et leur axe est alors décentré vers le bas, soit libres et leur axe de symétrie est alors centré (Gauldie et Nelson, 1990). L'anguille appartient à la première catégorie.

##### **L'extraction des otolithes :**

Après section du transverse du crâne aux ciseaux à dissection, l'encéphale est enlevé et les sagitta prélevées directement dans les capsules otiques à l'aide de pinces fines. Elles sont ensuite placées dans un bain d'eau de Javel diluée (50 %) durant 5 à 10 minutes pour dissoudre les membranes sacculaires. Un rinçage à l'eau distillée d'une dizaine de minutes précède le séchage par immersion dans un bain d'alcool à 70° durant 10 minutes. Ce protocole de préparation suit la procédure de Brothers (1987) et se conforme aux recommandations de Vollestad *et al.* (1987). Les otolithes sont ensuite stockés à sec dans des boîtes à micro puits de type « ELISA », à température ambiante.

##### **Inclusion des otolithes :**

L'une des sagitta est ensuite incluse dans de la résine époxy; cette résine présente de nombreux avantages : très bonne adhérence, transparence, absence de retrait. La face convexe de l'otolithe est déposée sur une lame de verre à l'intérieur de moules formés par des capsules de tube

## - Matériels et méthodes -

à essai découpées ; ces « moules » forment des plots aisément manipulables et sont réutilisables. L'inclusion des otolithes est une étape indispensable à leur manipulation.

### **Ponçage des otolithes :**

Après démoulage, les plots sont poncés pour dégager la surface sagittale de l'otolithe. Le ponçage de la face convexe est effectué manuellement sur des feuilles de papier abrasif à l'eau, de finesse croissante de 280 à 1200 grains par centimètre carré. Lorsque le centre de l'otolithe est atteint et que le nucléus est dégagé, la surface est polie à la poudre d'alumine pour affiner la préparation.

### **Lecture des otolithes :**

L'alternance des zones opaques et hyalines (ou transparentes) observées sur un otolithe entier ou sur sa surface poncée correspond à des différences de structure. En lumière réfléchie (éclairage par-dessus), les zones hypercalcifiées renvoient la lumière : elles apparaissent blanches, lumineuses et opaques ; les zones où la calcification est moins dense sont transparentes à la lumière et l'absorbent : elles sont donc plus sombres que les précédentes. On considère généralement que l'alternance zone opaque/zone hyaline correspond respectivement aux phases de croissance rapide et de croissance ralentie de l'anguille (Moriarty, 1983 ; Dekker, 1987). La zone opaque, ou zone de croissance est dénommée « zone » selon la terminologie adoptée lors du colloque « Tissus durs et âge individuel des vertébrés » de Blondy (Baglinière *et al.*, 1992). La zone hyaline, ou zone de croissance ralentie, recevra l'appellation d' « annulus ». En règle générale, on considère que l'ensemble formé par une zone et un annulus représente un cycle annuel. Généralement, on admet la présence d'une LAC par annulus, en rapport avec l'arrêt annuel de croissance du poisson ; leur dénombrement est utilisé pour estimer l'âge individuel du poisson.

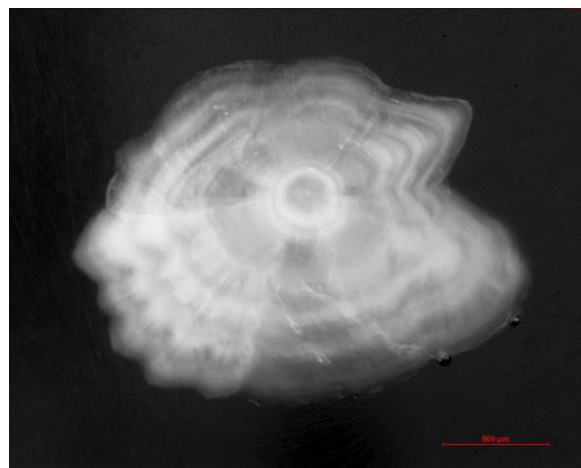


Figure 33 : Photo d'otolithe d'une anguille argentée du lac de Grand Lieu (FISH PASS)

## 2.6 Méthode CMR PIT-Tag

La méthode de capture-marquage-recapture (CMR) est une méthode d'inférence statistique, méthode qui consiste à déduire les caractéristiques générales inconnues d'une population à partir de celles d'un échantillon, supposé représentatif, issu de cette population (Figure 34). Les caractéristiques de l'échantillon, une fois connues, reflètent avec une certaine marge d'erreur celles de la population. Ainsi elle permet, par exemple, d'estimer la taille d'une population animale. C'est pour ces raisons que ce type de méthode est mise en œuvre compte tenu de la présence de la pêche et donc des possibilités de captures offertes par celle-ci.

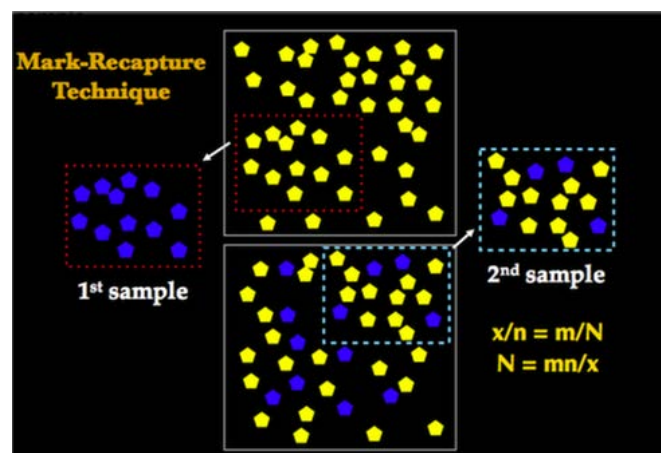


Figure 34 : Présentation schématique du principe de la méthode CMR (quizlet.com)

### 2.6.1 La technique de marquage aux PIT-Tags

Le PIT-tag (Passive Integrated Transponder-tag, Figure 36) est un petit transpondeur radio qui contient un code spécifique permettant d'allouer un code alphanumérique unique d'identification à chaque animal marqué. Ils sont « passifs » et donc ne nécessitent pas de batterie, ce qui implique une durée de vie quasi illimitée (dans le Frémur une anguille ainsi marquée a été recapturée 16 ans plus tard (Charrier *et al.*, 2010. Rapport Frémur)) et une taille réduite. Ces marques sont inactives tant qu'elles ne sont pas stimulées par le champ magnétique d'un lecteur (Figure 38). Lorsqu'elles sont activées, elles envoient un signal radio codé et normalisé de 13 caractères. Ce type de marquage a été utilisé sur de nombreuses espèces de poissons comme le saumon atlantique (*Salmo salar*; Roussel *et al.*, 2004), la truite commune (*Salmo trutta*; Cucherousset *et al.*, 2005), le brochet (*Esox lucius*; Cucherousset *et al.*, 2007) ou encore l'anguille (*Anguilla anguilla*; Charrier *et al.*, 2010). L'avantage de ce type de marque est qu'il permet d'individualiser et d'automatiser les recaptures (lecture de marque). De plus, le fait que les individus

## - Matériels et méthodes -

marqués ne soient pas identifiables à un examen visuel permet de limiter des biais quant aux taux de recapture.

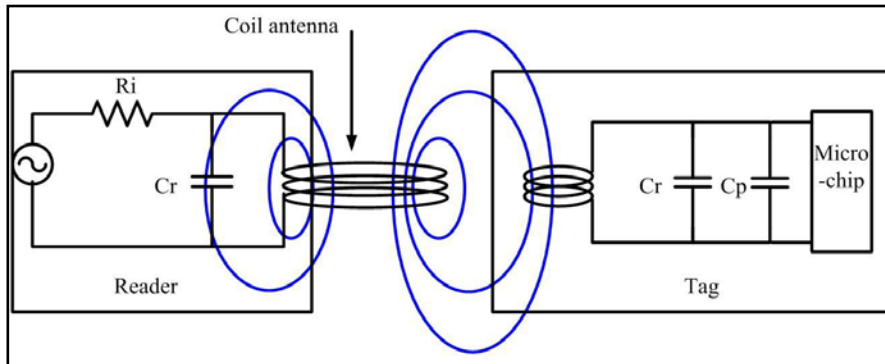


Figure 35 : Schéma de principe de communication électromagnétique entre le TAG et le lecteur (electronics.stackexchange.com)



Figure 36 : PIT TAG 12 mm et injection dans une anguille (FISH PASS)

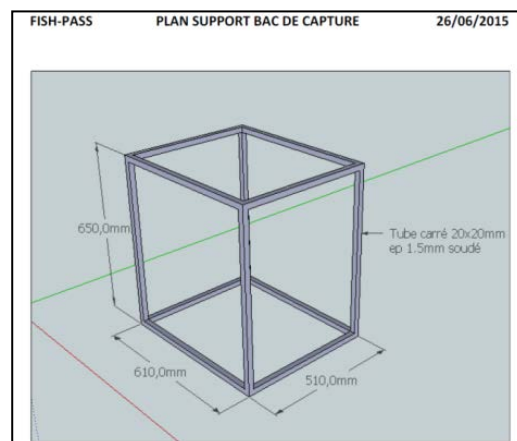


Figure 37 : Création d'une trémie sur mesure pour la lecture automatisée des anguilles marquées au PIT TAG (FISH PASS)



Figure 38 : Photographies représentant, à gauche le lecteur PIT-tag et à droite le dispositif mis en place sur les bateaux pour cette étude. (FISH PASS)

## 2.6.2 CMR (Capture Marquage Recapture)

### 2.6.2.1 Protocole de marquage réalisé au cours de la saison d'avalaison 2016/17

Le marquage des anguilles a été réalisé en quatre sessions pour des aspects logistiques d'une part (disposer de suffisamment de poissons en une fois aurait été compliqué) mais surtout pour suivre la dynamique migratoire sur toute la saison qui peut varier en fonction des conditions environnementales. La première avant l'ouverture de la pêche, le 30 septembre, la deuxième le 14 octobre, la troisième le 7 novembre la dernière le 28 novembre 2016. Pour le premier marquage (avant l'ouverture de la pêche le 1<sup>er</sup> Octobre 2016), une pêche dite scientifique a été mise en place afin de récolter des individus. Trois professionnels ont participé à cette dernière, il faut rappeler que les pêcheurs n'avaient pas le droit de conserver leur capture puisqu'il s'agissait d'une période durant laquelle la pêche n'était pas autorisée. En revanche, leur participation et l'utilisation de leurs engins furent rémunérées. Pour les trois autres sessions de marquage, les individus subissant le marquage étaient issus des captures de la pêcherie.

Pour chaque opération, 200 individus ont été marqués, ce qui représente un total de 800 individus. Lors du dernier marquage, un échantillon de 30 individus marqués a été sélectionné pour le test de mortalité et de perte de marques. L'ensemble de ces individus a été choisi de manière à ce que sa répartition des classes de taille soit la plus représentative possible par rapport à celle de la population du lac de Grand-Lieu échantillonnée par la pêcherie. Ces individus sont des anguilles considérées comme argentées. La sélection des anguilles argentées a été réalisée selon quatre critères évalués visuellement : robe argentée, diamètre de l'œil, allongement de la nageoire pectorale et pigmentation de la ligne latérale. Une biométrie précise a également été effectuée pour chaque individu marqué. Ainsi les mesures du poids, de la taille de l'anguille, du diamètre de l'œil et des longueurs des nageoires pectorales ont été relevées. Il faut également rappeler qu'une analyse

## - Matériels et méthodes -

des pathologies externes fût réalisée. Ceci dans le but d'analyser l'état sanitaire externe des anguilles argentées destinées à dévaler.

Chaque anguille a été marquée par un PIT-Tag de 12mm, diamètre 2mm, normé ISO 24631 (biocompatible). Les PIT-Tags ont été administrés à l'aide d'un trocart, à usage unique, dans la cavité viscérale des anguilles après avoir été endormies avec de l'eugénol. Après la pose de chaque marque, les individus sont testés au moyen d'un lecteur (Figure 39), du même type que celui des 7 pêcheurs.



Figure 39 : Lecteur enregistreur de PIT TAG et injection de PIT TAG (FISH PASS)

- Matériels et méthodes -



Figure 40 : Mesure de diamètre oculaire et de la pectorale (FISH PASS)

## - Matériels et méthodes -

Une fois marquées, les anguilles ont été relâchées dans le lac par lot. Pour chaque lot relâché, la date et les coordonnées GPS ont été notées, permettant ainsi d'évaluer le temps de résidence des individus recapturés.



Figure 41 : Séance de marquage au PIT TAG dans le cadre de la CMR (FISH PASS)



Figure 42 : Viviers de stockage des anguilles destinées au marquage (FISH PASS)

## - Matériels et méthodes -

### 2.6.2.2 Relâche des individus



Figure 43 : Relâche des individus marqués sur le plan d'eau avec un bateau mis à disposition par un pêcheur professionnel (FISH PASS)

Lors des quatre relâches, les individus ont été répartis équitablement sur 4 points du plan d'eau. Le cinquième point de relâche est situé au port d'été de Passay et concerne les 21 poissons marqués vivants issus du test de mortalité / perte de marque.

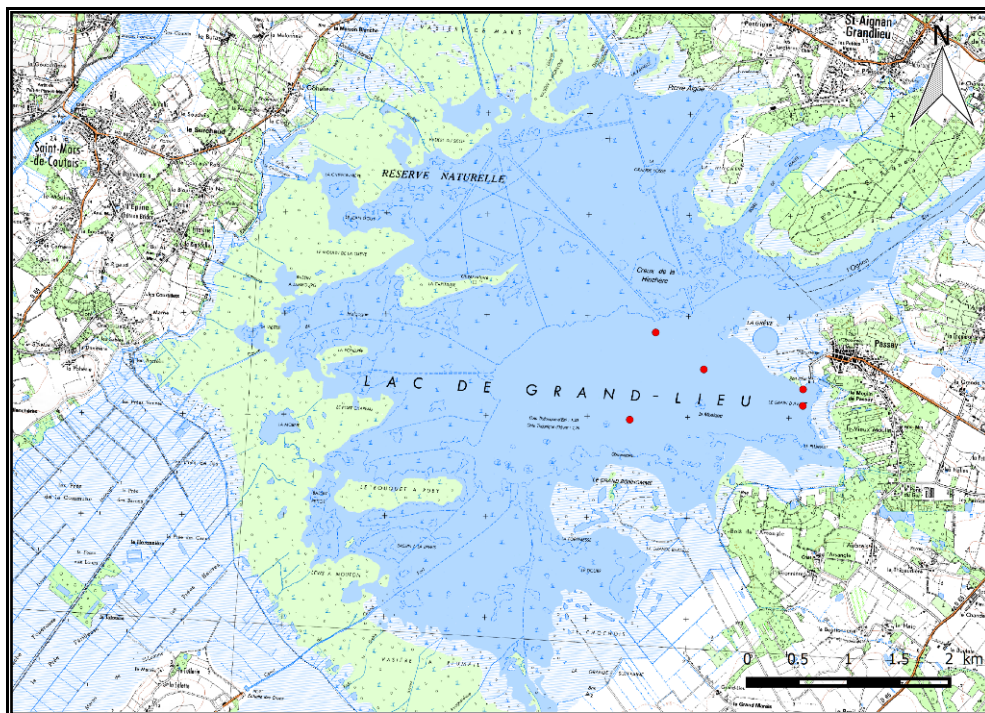


Figure 44 : Localisation des sites de remise à l'eau, figurée par des points rouges, des individus marqués par PIT TAGS (FISH PASS)

**Le déversement des individus marqués est intervenu immédiatement après le marquage**

### 2.6.2.3 *Test de perte de marque et de mortalité*

Un test post-marquage a été réalisé afin de quantifier l'effet du marquage sur la survie des individus et d'estimer d'éventuelles pertes de marque. Pour cela, 2 lots de 30 individus chacun ont été composés, 1 lot d'individus marqués, 1 autre d'individus non-marqués composant le lot témoin. Chaque lot est composé de 25 mâles et 5 femelles, ces valeurs sont censées être représentatives du sex-ratio (observé lors des captures expérimentales). Ces deux lots ont été placés dans des conditions de vie les plus proches possibles de celles des anguilles relâchées (température, qualité d'eau ...). En effet, ces dernières ont été stockées dans un vivier sur le lac durant 15 jours. Après cette durée, une biométrie a été effectuée sur l'ensemble des anguilles composant les deux lots : le but étant de comparer les résultats de mortalité entre les deux lots.

### 2.6.2.4 *La recapture*

Pour comptabiliser les recaptures de l'ensemble de la pêcherie, c'est-à-dire des 7 pêcheurs actifs sur le lac de Grand-Lieu, chaque professionnel a été équipé d'un dispositif de lecture des marques (PIT-tag, Figure 39). Dans un souci de respect des conditions et des habitudes de travail de chacun, ces lecteurs ont pu être adaptés. En effet, certains pêcheurs, disposant de viviers à leur domicile, préféraient avoir leur lecteur directement sur leurs viviers (l'objectif étant de limiter au maximum les manutentions propres à la mise en place de l'étude). Pour les autres, différentes modifications (pieds, traverses ...) ont pu être ajoutées afin de s'adapter à la « côme » de leur bateau (Figure 45). La « côme » étant un vivier faisant partie intégrante de la structure du bateau, qui communique avec l'eau du lac par un système de trous percés dans le fond de l'embarcation. Ce qui en fait un système ingénieux permettant de conserver le poisson capturé dans de bonnes conditions.



Figure 45 : Vivier et côme sur les bateaux des pêcheurs du lac (FISH PASS)

## - Matériels et méthodes -

Les parties « capture » et « recapture » ont été réalisées, pour des raisons techniques et logistiques, par la pêche en place sur le lac de Grand-Lieu. En effet, le savoir-faire (connaissance du placement des engins, techniques liées à la pêche à l'anguille ...) ainsi que les moyens techniques et humains des professionnels (nombre important de relèves, d'engins, de pêcheurs impliqués, entretien des engins, moyens nautiques pour mettre en œuvre la pose, la relève et le déplacement des engins) furent nécessaire au bon déroulement de cette étude.

**Une telle étude n'est pas envisageable sans la présence d'une pêcherie sur le site. De même, une telle pêcherie « scientifique » aurait eu un coût démesuré et aurait été difficile à assurer sur l'ensemble de la saison**

### 2.6.3 Estimation des taux d'échappement et d'exploitation sur les anguilles du lac de Grand-Lieu

Dans cette étude, l'opération de marquage/recapture s'est déroulée en plusieurs strates temporelles. Afin d'analyser ce type de données, le logiciel SPAS (Stratified Population Analysis System) (Arnason *et al.*, 1996) a été utilisé comme pour l'étude réalisée sur Bages-Sigean (Amilhat *et al.*, 2008), sur la Loire (Acou *et al.*, 2010) et sur l'étang de l'Or (Charrier *et al.*, 2010, Charrier *et al.*, 2012). La taille de la population peut ainsi être déterminée par l'estimateur groupé de Petersen sous certaines hypothèses : pas de perte de marques pendant la durée de l'étude (voir résultats des tests), probabilité de capture indépendante du marquage, probabilité de recapture des anguilles marquées supérieure à 0, population fermée. Cette dernière hypothèse est partiellement respectée, le vannage du lac étant resté fermé, dans la majeure partie de la durée de l'étude. Les captures totales de la pêcherie ont pu être obtenues par l'intermédiaire des fiches de pêche pour toute la durée de l'étude (d'octobre à mi-janvier). Afin d'évaluer la part d'anguilles argentées dans les captures totales, un pourcentage d'anguilles argentées (en biomasse) dans les captures des pêcheurs (avant tri des anguilles jaunes) a été mesuré lors de chaque biométrie. Une moyenne des pourcentages de chaque semaine a ainsi permis d'évaluer la biomasse d'anguilles argentées capturées chaque semaine. Ces captures en biomasse ont été converties « en nombre d'anguilles » en utilisant les poids moyens individuels calculés via les données de biométrie pour chaque semaine.

Le taux d'exploitation par la pêcherie a été calculé selon la formule :

**Le taux d'exploitation = nombre d'individus capturés / nombre d'individus estimés dans la population**

Le taux d'échappement à la pêcherie, quant à lui, a été calculé selon la formule :

**Taux d'échappement = 100 – Taux d'exploitation**

## 2.7 Suivi acoustique

Le période règlementaire qui fixe la période légale de pêche à l'anguille argentée **du 1er Octobre au 15 Janvier de chaque saison implique qu'un échappement est possible avant et après cette période si les conditions environnementales qui favorisent la migration d'avalaison sont favorables. Il est donc important de quantifier l'échappement hors période au droit de la pêcherie, mais également au droit de l'exutoire du lac.** Pour cela, un suivi indépendant de la pêcherie est nécessaire.

Un tel suivi par télémétrie acoustique a été réalisé au cours de la saison d'avalaison 2015/2016 et a porté sur 52 anguilles argentées femelles du Lac de Grand Lieu. Il a permis de déterminer les facteurs déclencheurs de la migration en milieu fermé (Trancart *et al.*, 2017), et mis en évidence l'influence fondamentale **de la gestion hydraulique du lac de Grand Lieu (vannage de Bouaye) sur le niveau d'échappement des anguilles argentées jusqu'à l'estuaire (Danet *et al.*, 2017).** En effet, l'échappement du lac, estimé à 35% pour cette saison 2015/16, a eu lieu au cours de très courtes **fenêtres temporelles et environnementales définies par la hauteur d'ouverture du vannage de Bouaye.** Cependant, une fois le vannage de Bouaye franchi, toutes les migrantes atteignaient rapidement l'estuaire de la Loire *via* les différents exutoires. Pour autant, près de 45% des candidates à la migration n'ont pas réussi à franchir cet obstacle fautes de bonnes conditions environnementales et de franchissabilité, et sont restées *a priori* bloquées dans le Lac. Le réseau déployé en 2015/2016 n'a pas permis de déterminer le devenir de ces anguilles. La seule certitude étant que ces individus n'avaient pas franchi le vannage de Bouaye ou atteint l'estuaire de la Loire par d'autres voies. En effet, l'essentiel des hydrophones a été placé sur le linéaire entre l'amont du vannage de Bouaye et l'estuaire de la Loire, tandis que le lac lui-même était peu couvert (Danet *et al.*, 2017). Faute de détection dans le lac, le devenir des 45 % d'anguilles marquées est resté inconnu. La principale hypothèse avancée était que ces individus bloqués dans le Lac ont retardé voire perdu leur comportement de dévalaison, et ont été soumis à des pressions de mortalité (par pêche, naturelle, prédation, aviaire, etc.) plus importantes (Danet *et al.*, 2017).

Le présent suivi acoustique mis en place pour cette saison 2016/2017 a pour objectif de consolider les résultats obtenus lors de l'étude précédente mais aussi de mieux comprendre le ou les comportements des anguilles argentées au sein du lac. Pour cela, la configuration du réseau d'hydrophones a été adaptée et surtout le réseau a été considérablement densifié par rapport au suivi 2015/2016, en particulier au sein du lac. A noter que pour ce suivi 2016/2017, le marquage a également porté sur des anguilles argentées mâles qui représentent une part importante de la production du lac.

## - Matériels et méthodes -

Ce suivi 2016/2017 a donc comme objectifs :

- 1) de consolider au cours d'une seconde année les estimations (i) du taux d'exploitation par la pêche, (ii) le taux d'échappement au lac, (iii) les résultats concernant les facteurs déclencheurs de la dévalaison
- 2) d'apporter des résultats originaux sur le comportement des anguilles argentées en milieu lacustre, grâce à la mise en place d'un réseau dense d'hydrophones dans le lac, pour en particulier, (i) étudier le devenir au sein du lac des individus qui n'auront pas réussi à s'échapper du Lac, (ii) améliorer les connaissances sur le comportement des anguilles argentées mâles et femelles en milieu lacustre, (iii) comprendre la ou les stratégies d'échappement des anguilles argentées du lac en fonction du sexe.

### *2.7.1 Principe de la méthode*

L'utilisation de la télémétrie acoustique permet d'estimer la position des individus marqués dans le temps et l'espace, et dans certains cas d'enregistrer des paramètres abiotiques (température, pressions, accélération, etc.) (Jourdan & Labach, 2013). Cette méthode repose sur la réception d'un signal acoustique émis par un émetteur (positionné sur ou dans l'animal) par un ou plusieurs récepteurs (ou hydrophones) positionnés dans la zone d'étude. Les signaux peuvent être radioélectriques ou acoustiques, c'est la technologie acoustique qui a été privilégiée dans cette étude.

Le suivi par télémétrie acoustique est en effet particulièrement adapté au suivi de la faune aquatique (Bergé, 2012; Trancart, 2011): les signaux acoustiques émis ont l'avantage de se propager rapidement et efficacement dans l'eau, quels que soient les niveaux de salinité. De plus, les récepteurs sont autonomes dans le sens qu'ils s'affranchissent de source d'alimentation externe grâce à des batteries qui permettent des périodes de suivis conséquentes (plusieurs mois). Pour toutes ces raisons, la télémétrie acoustique a été choisie pour le suivi des anguilles argentées du lac de Grand-Lieu.

### *2.7.2 Le marquage des anguilles argentées*

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 au cours de 3 campagnes de marquage (le 30 septembre 2017 pour les mâles et les 07 et 29 novembre 2017 pour les femelles) étalées sur la saison 2016/2017. A noter que chaque anguille marquée en

## - Matériels et méthodes -

acoustique a également été marquée au PIT-tag afin de quantifier un potentiel prélèvement par la pêcherie.

Chaque émetteur acoustique 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 de manière aléatoire. Chaque émetteur possède sa propre signature acoustique, qui est donc unique pour chaque individu.

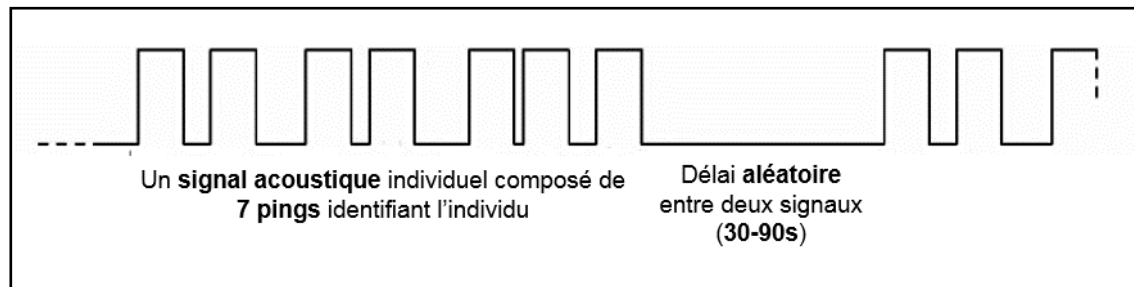


Figure 46 : Représentation schématique du signal émis par les tags acoustiques (Tiré de Mazel, 2017)

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

- 30 mâles marqués le 30 Septembre 2016 = fin théorique d'émission du signal le 30 mars 2017
- 24 femelles marquées le 07 Novembre 2016 = fin théorique d'émission du signal le 07 Janvier 2018
- 28 femelles marquées le 29 Novembre 2016 = fin théorique d'émission du signal le 29 Janvier 2018

Les batteries des hydrophones quant à eux ont une durée de vie de 13 mois, ce qui n'est donc pas limitant pour cette étude.

Lors de chaque campagne de marquage, les anguilles argentées ont été mesurées et pesées. 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

## - Matériels et méthodes -

d'argenture ont été mesurés afin de déterminer le stade de maturité de chaque anguille (Durif, 2003) (Tableau 4). Enfin, l'état de santé externe de chaque anguille argentée marquée au cours de l'étude a été évalué à l'aide d'une grille de notation conçue par l'ONEMA (2011) à partir des travaux Girard & Elie (2007).

**Tableau 4 : Stade de maturation des anguilles argentées marquées (méthode de Durif *et al.*, 2005) et mesure des variables morphologiques : longueur totale (LT), poids total (PT), diamètre oculaire (DO) et longueur pectorale (LP). Les Moyennes et écart-types associés sont représentés.**

Sexe	Stade	Degré d'argenture	n	LT (mm)	PT (g)	DO (mm)	LP (mm)
Femelle	Pré-migrante	FIII	17	724 ± 44	743 ± 131	8.5 ± 0.6	33.5 ± 3.3
	Migrante	FIV	15	774 ± 52	1026 ± 130	9.7 ± 0.4	37.6 ± 3.3
	Migrante	FV	20	693 ± 55	709 ± 145	9.4 ± 0.8	35.2 ± 3.0
	Total		52	721 ± 60	793 ± 193	9.1 ± 0.8	35.2 ± 3.5
Mâles		IInd	8	403 ± 17	118 ± 14	5.0 ± 0.4	20.8 ± 2.2
		MIII	22	395 ± 15	116 ± 8.6	6.0 ± 0.3	20.6 ± 1.6
	Total		30	397 ± 15	116 ± 10	5.7 ± 0.6	20.7 ± 1.7

Si deux émetteurs émettent en même temps, il peut y avoir une collision des signaux et ainsi empêcher l'hydrophone d'identifier l'émetteur, ce qui engendre une perte de données. C'est pour cela que les anguilles ont été relâchées en différents points du lac, afin de ne pas 'saturer' le réseau au moment de la relâche.

Contrairement à la saison précédente, aucun test post-opératoire n'a pu être réalisé cette année. En effet, les anguilles argentées, capturées à Grand Lieu et stabulées dans de l'eau du lac à la station marine de Dinard pour réaliser ce test, ont développé des nécroses importantes avant même d'avoir été marquées, entraînant parfois la mort, rendant impossible la poursuite de l'expérience. De plus, un test post-opératoire conduit par le bureau d'étude Fish-Pass, après l'implantation de marques PIT tags, a été réalisé en conditions *in situ* (anguilles stockées dans les viviers des pêcheurs) au sein même du lac et a conduit aux mêmes mortalités importantes (voir 3.2.5.2).

## - Matériels et méthodes -

Cependant lors de l'étude précédente menée en 2015, le test post-opératoire conduit dans l'eau d'une rivière proche du laboratoire (Frémur) a montré que le marquage des anguilles n'affectait 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.

### 2.7.3 *Le réseau d'hydrophones acoustiques mis en place*

85 hydrophones ont été déployés pour cette seconde saison contre 45 la saison précédente. Ils permettent d'enregistrer en continu les signaux acoustiques émis par un individu marqué à une position et un temps donnés (les caractéristiques techniques des hydrophones sont présentées en annexe). Trois systèmes de fixation des hydrophones ont été utilisés (présentation en annexe) en fonction des conditions environnementales et du risque de vandalisme (dans ce cas, un système invisible ou 'furtif' a été privilégié). Dans tous les cas, les systèmes permettent aux hydrophones de rester en position verticale et donc d'assurer un maximum de détections quelles que soient les conditions hydrologiques ou météorologiques rencontrées. Les coordonnées géographiques de chaque hydrophone ont été relevées grâce à un GPS.

En effet, l'aire de détection d'un hydrophone varie en fonction des conditions environnementales. La profondeur, la pluie, le vent, l'activité sur l'eau... sont autant de facteurs qui vont impacter la détection des émissions sonores par les hydrophones. Les hydrophones possèdent plusieurs aires de détection avec des probabilités de détections variables en fonction de la distance à l'hydrophone et des conditions environnementales (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

## - Matériels et méthodes -

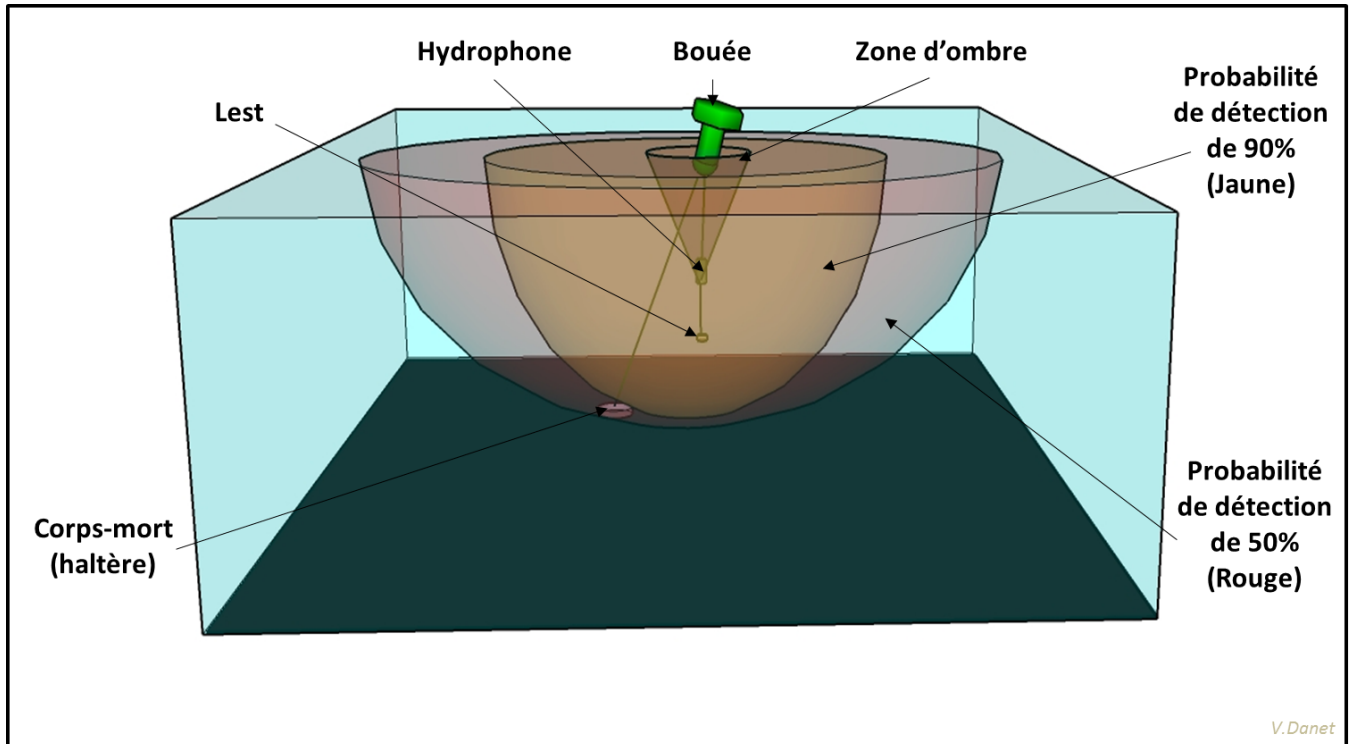


Figure 47 : Représentation schématique de la mise en place d'un hydrophone et de l'aire de détection associée

Les hydrophones ont été positionnés de manière à couvrir la plus grande surface possible du lac (distance moyenne entre deux hydrophones de 600m (min = 470m ; max = 1510 m), densité de 0.9 hydrophone par Km<sup>2</sup>). Au total, 80 hydrophones ont été installés sur le lac, ce qui représente, à notre connaissance, une des plus grandes densités d'hydrophones jamais déployée dans un système lacustre. Ce parc a été installé en plusieurs étapes. Tout d'abord, 58 hydrophones (modèle VEMCO VR2W) ont été installés les 20 et 21 septembre 2016. A la suite d'un premier test visant à estimer la surface couverte par les hydrophones, 22 hydrophones supplémentaires et compatibles ont été installés (modèle THELMA TBR700) le 28 octobre 2016. Ces nouveaux hydrophones ont complété un réseau déjà dense, permettant de couvrir la quasi-totalité du lac même si certaines zones du lac sont difficilement accessibles au vue de la densité de la végétation. Chaque hydrophone Thelma est équipé d'une sonde de température, laquelle est enregistrée toutes les deux heures. 5 capteurs de températures et 4 accéléromètres ont complété le dispositif. **Ce réseau complet tel que présenté dans la Figure 48 a été mis en place le 28 octobre 2016 et a opéré jusqu'au 27 mars 2017.** La convention de prêt des hydrophones auprès d'Ifremer prenant fin à cette date, nous avons dû retirer les 22 hydrophones THELMA installés le 28 octobre et donc par la suite tout le réseau, laissant uniquement les 11 hydrophones directement en amont du vannage de Bouaye et les 5 en aval. Ces

## - Matériels et méthodes -

16 hydrophones ont permis d'assurer le suivi de l'échappement des anguilles jusqu'au 22 août 2017, date de la fin de l'étude et du retrait de tous les hydrophones.

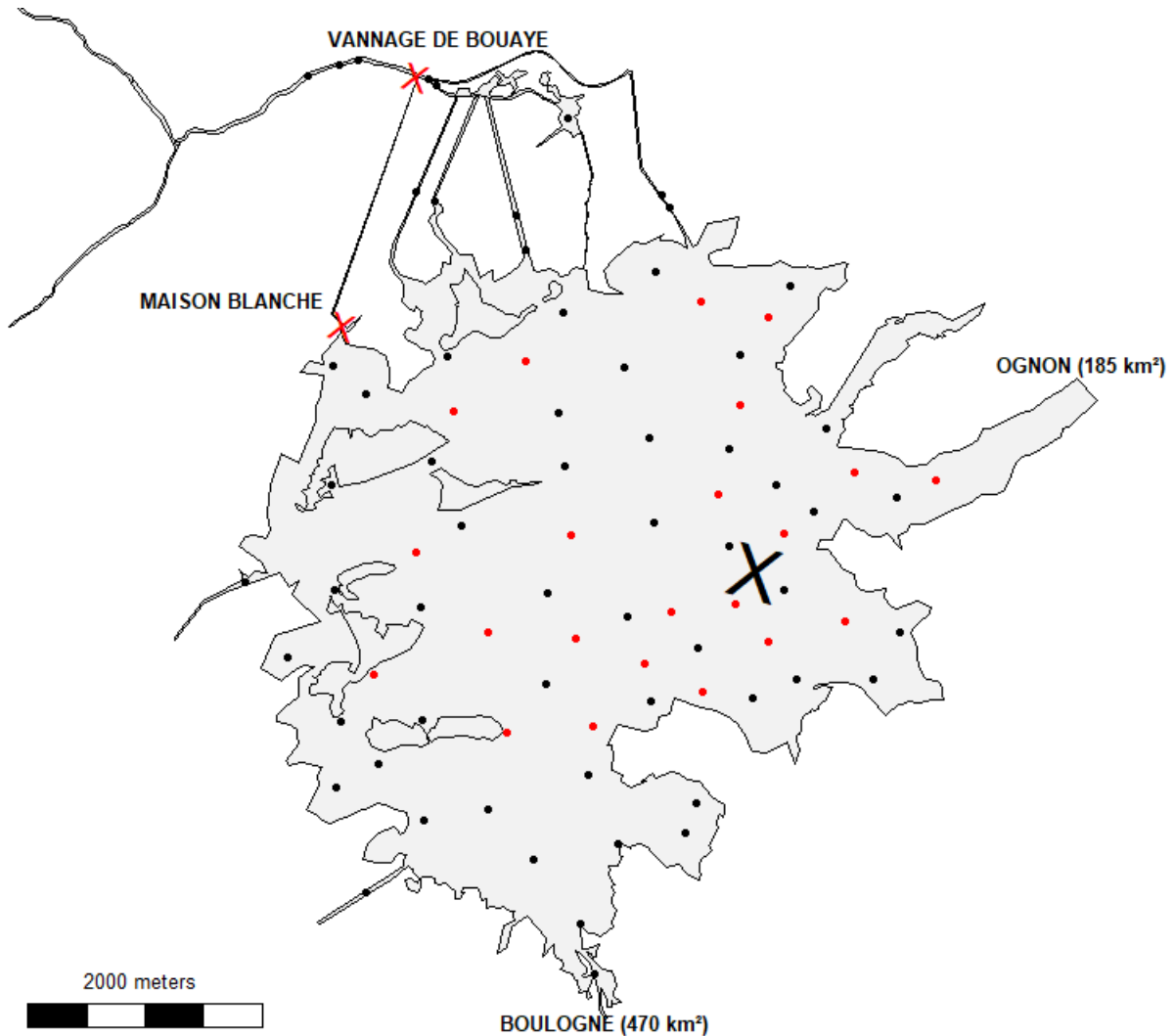


Figure 48 : Réseau complet mis en place entre le 28 Octobre 2016 et le 27 Mars 2017 dans le lac de Grand Lieu (point rouge = hydrophone Thelma ; point noir = hydrophone Vemco ; X = zone de relâche)

Afin d'estimer le taux d'échappement du lac, la même méthode que l'année précédente a été utilisée. Un réseau de 3 hydrophones à l'aval direct de l'exutoire (vannage de Bouaye) assure une étanchéité parfaite au passage des anguilles, y compris les individus susceptibles de dévaler par le passage de Maison Blanche. Deux hydrophones supplémentaires ont été installés en aval de l'Acheneau afin de s'assurer que toutes les anguilles ayant quittées le lac soient entendues lors de leur passage dans l'Acheneau. Le dispositif acoustique pour quantifier l'échappement s'arrête dans l'Acheneau car le suivi 2015/2016 a montré qu'une fois dans l'Acheneau, toutes les anguilles accédaient sans encombre à l'estuaire.

## - Matériels et méthodes -

Un préalable important pour les études acoustiques est de vérifier qu'une absence de détection sur un hydrophone correspond réellement à une absence de passage au niveau de cet hydrophone. Pour cela, des tests de 'buffer' ont été réalisés. Ils consistent à immerger un émetteur continu (1 émission toutes les 10 secondes) pendant 3 minutes à plusieurs distances de l'hydrophone (jusqu'à 500 m par incrément de 50 m, vers l'aval et l'amont). Le nombre de signaux captés par rapport à ceux émis théoriquement sur la période test de 3 minutes permet ainsi de déterminer l'aire de détection maximale de l'hydrophone. Cette année, ces tests ont été réalisés uniquement sur les 5 hydrophones de l'Acheneau afin de confirmer l'étanchéité de l'échappement, et se sont révélés tout aussi performant que l'année précédente (Figure 49). En effet, la probabilité qu'une anguille marquée soit entendue par un ou plusieurs des trois hydrophones disposés en aval du vannage de Bouaye est de 100% sur plus de 750 mètres de linéaire.

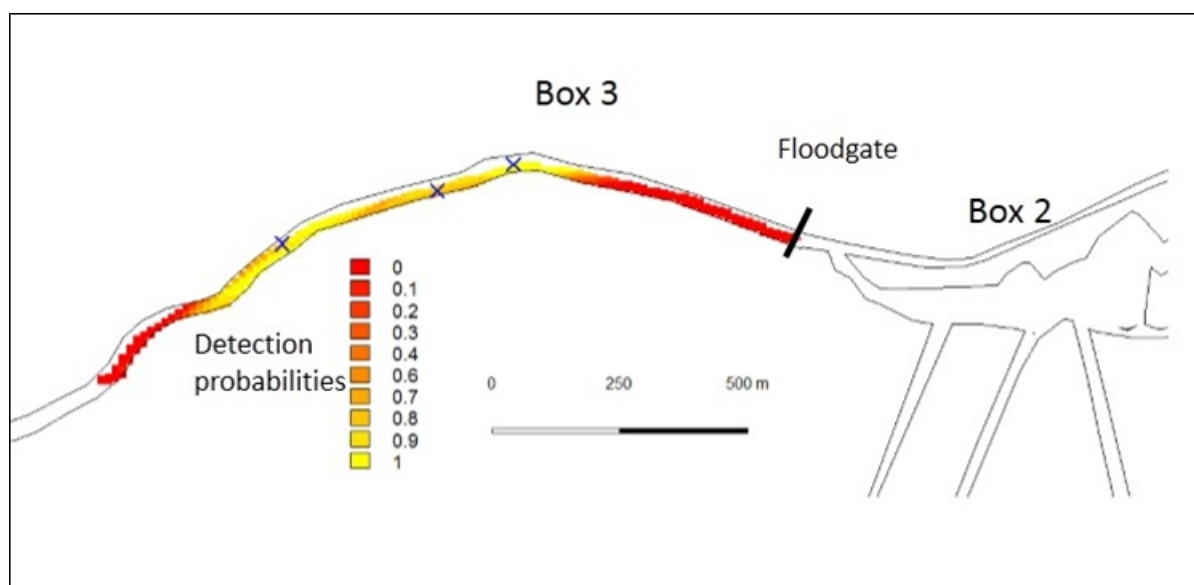


Figure 49 : Exemple du résultat des tests de buffer sur les 3 hydrophones directement en aval du vannage de Bouaye (croix bleu = hydrophone) (tiré de Trancart et al., 2017)

Le réseau acoustique complet au sein du lac est composé d'un total de 85 hydrophones. Au complet, le réseau a fonctionné entre le 28 octobre 2016 et le 27 mars 2017 soit au cours de 151 jours. Le suivi de l'échappement en aval du lac a été réalisé jusqu'au 22 août 2017. La probabilité de détecter des anguilles échappées (dans l'Acheneau) est proche de 100%.

### 2.7.4 Transformation des données de détection

Le réseau d'hydrophones a enregistré **445 290** détections au cours des 151 jours de mise en place correspondant à 82 anguilles différentes. La première étape commune à toutes les analyses réalisées a été la reconstruction des trajectoires *a posteriori* à partir de ces détections.

Les données collectées sont des données discrètes. Chaque signal acoustique est détecté à une date et une heure précise par un ou plusieurs hydrophones dont la position est connue. Une

## - Matériels et méthodes -

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 correspondant à une présence réelle de l'anguille, les détections ne remplissant pas certains critères ont été supprimées de la base de données.

Pour cela, toutes les données de détection ont été soumises au filtre suivant (Figure 50):

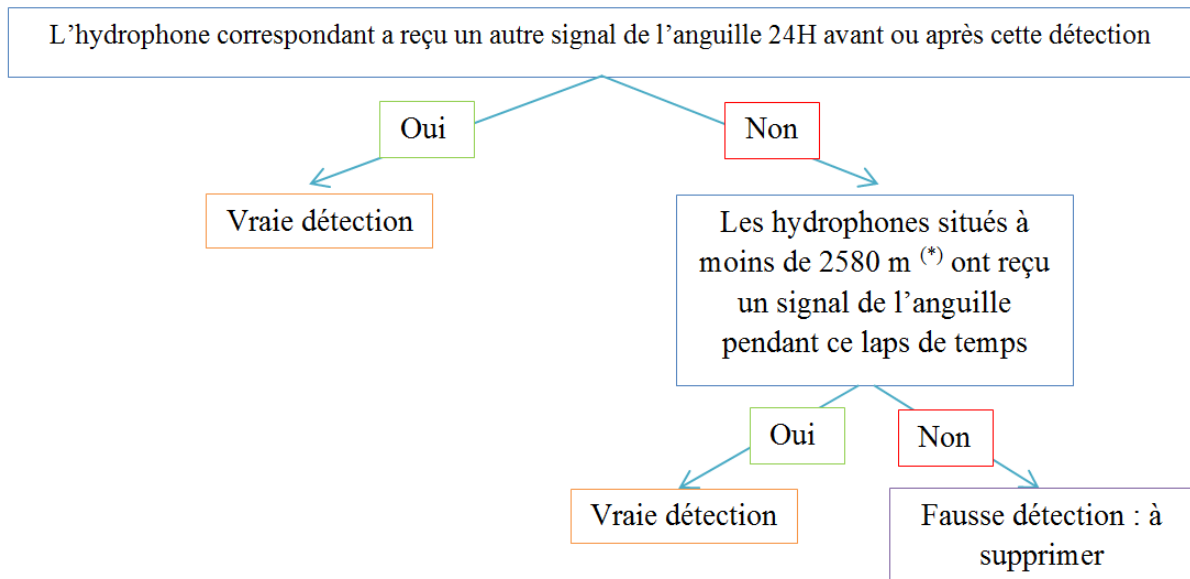


Figure 50 : Arbre de décision pour la suppression des fausses détections (tiré de Clairbaux, 2017)

(\*) 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 s'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 posteriori* des trajectoires.

Une fois la base de données filtrées (0.05 % des détections supprimées), la trajectoire des individus a été reconstruite selon la méthode suivante: chaque détection a été positionnée dans l'espace toutes les 20 minutes en moyennant le nombre de détections par hydrophone 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 51). En effet, on part de l'hypothèse que « plus une anguille marquée est proche d'un hydrophone, plus les signaux émis sont détectés un plus

## - Matériels et méthodes -

grand nombre de fois par l'hydrophone pendant un laps de temps donné ». Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2005).

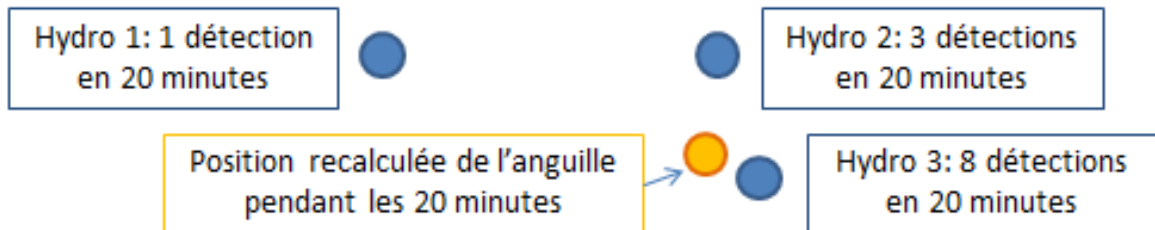


Figure 51 : Illustration de la première étape de reconstruction des trajectoires (tiré de Clairbaux, 2017)

En l'absence de détection sur ce pas de temps de 20 minutes, une interpolation des positions a été réalisée. La position est interpolée par régression linéaire grâce à ses positions recalculées (Figure 52). Ainsi, la position de chaque anguille est connue toutes les 20 minutes.



Figure 52 : Illustration de la deuxième étape de la reconstruction des trajectoires (tiré de Clairbaux, 2017)

Afin de valider cette méthode de reconstruction, un parcours en canoé simulant le déplacement d'une anguille sur une distance de 13 000 mètres, dont la trajectoire était connue grâce à un GPS, a été réalisé en immergeant un émetteur. Puis, après la relève des hydrophones, la trajectoire du bateau a été reconstruite en utilisant différentes méthodes d'interpolations. Ces méthodes consistaient en différentes régressions paramétrique (régression linéaire) et non-paramétriques (méthode des noyaux, validée en croix ou non ; méthode des polynômes locaux, et méthode « smoothpline ») comme 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

## - Matériels et méthodes -

ANOVA a ensuite été réalisé pour sélectionner la méthode engendrant l'écart moyen le plus faible (Figure 53).

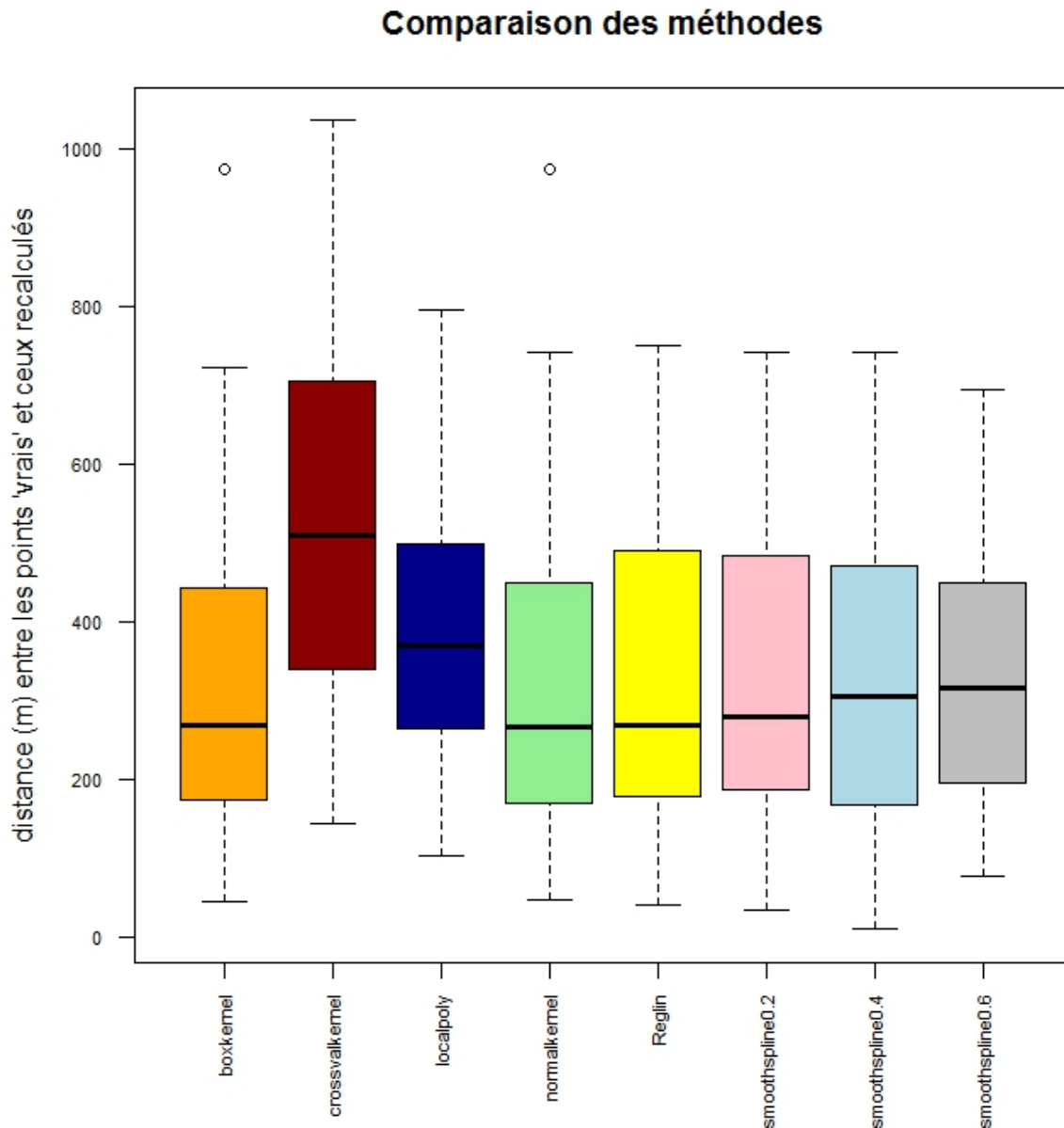


Figure 53 : Test ANOVA permettant de comparer les méthodes de reconstruction (tiré de Clairbaux, 2017)

Au vu du faible écart entre les méthodes, le choix s'est porté sur la régression linéaire (jaune) pour sa facilité de mise en place. L'écart moyen de cette méthode est de 330 m avec un écart type de 211 mètres. Il s'agit de la distance moyenne entre deux hydrophones. Cet écart s'explique par la présence d'une végétation dense et de faible profondeur dans de nombreuses zones du lac qui vont diminuer l'aire de détection des hydrophones.

**Grâce à la reconstruction des trajectoires basées sur des positions recalculées et interpolées (méthode linéaire), la position de chaque anguille dans le lac est connue sur un pas de temps de 20 minutes.**

#### *2.7.5 L'apport des reconstructions de trajectoires*

La reconstruction des trajectoires permet d'obtenir la position de chaque anguille dans le lac au cours du temps. Grâce à cela, la distance parcourue par jour, les zones et les durées prospectées, les changements de compartiments et de là les réponses comportementales aux stimuli environnementaux sont connues.

#### *2.7.6 Données environnementales*

De nombreuses données environnementales ont été récoltées afin de mieux comprendre le comportement des anguilles argentées. 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. Et les mesures de la température de l'eau toutes les 2 heures ont été fournies par les sondes thermiques disposées sur les hydrophones Thelma.

#### *2.7.7 Test des facteurs déclencheurs*

Au sein d'un lac de la taille de Grand Lieu, les variations de niveau d'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 (> 5 cm/jour) associée à l'ouverture du vannage ont joué un rôle prépondérant 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, l'analyse a été reconduite pour cette seconde année selon la méthode utilisée en 2015/16.

Le lac a été « découpé » en 4 zones : la zone centrale du lac (1), les canaux (2), le pied du vannage (3) et enfin l'Acheneau (4) (Figure 54). 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

## - Matériels et méthodes -

une autre et de modéliser le passage d'une zone à l'autre en fonction des différents facteurs environnementaux.

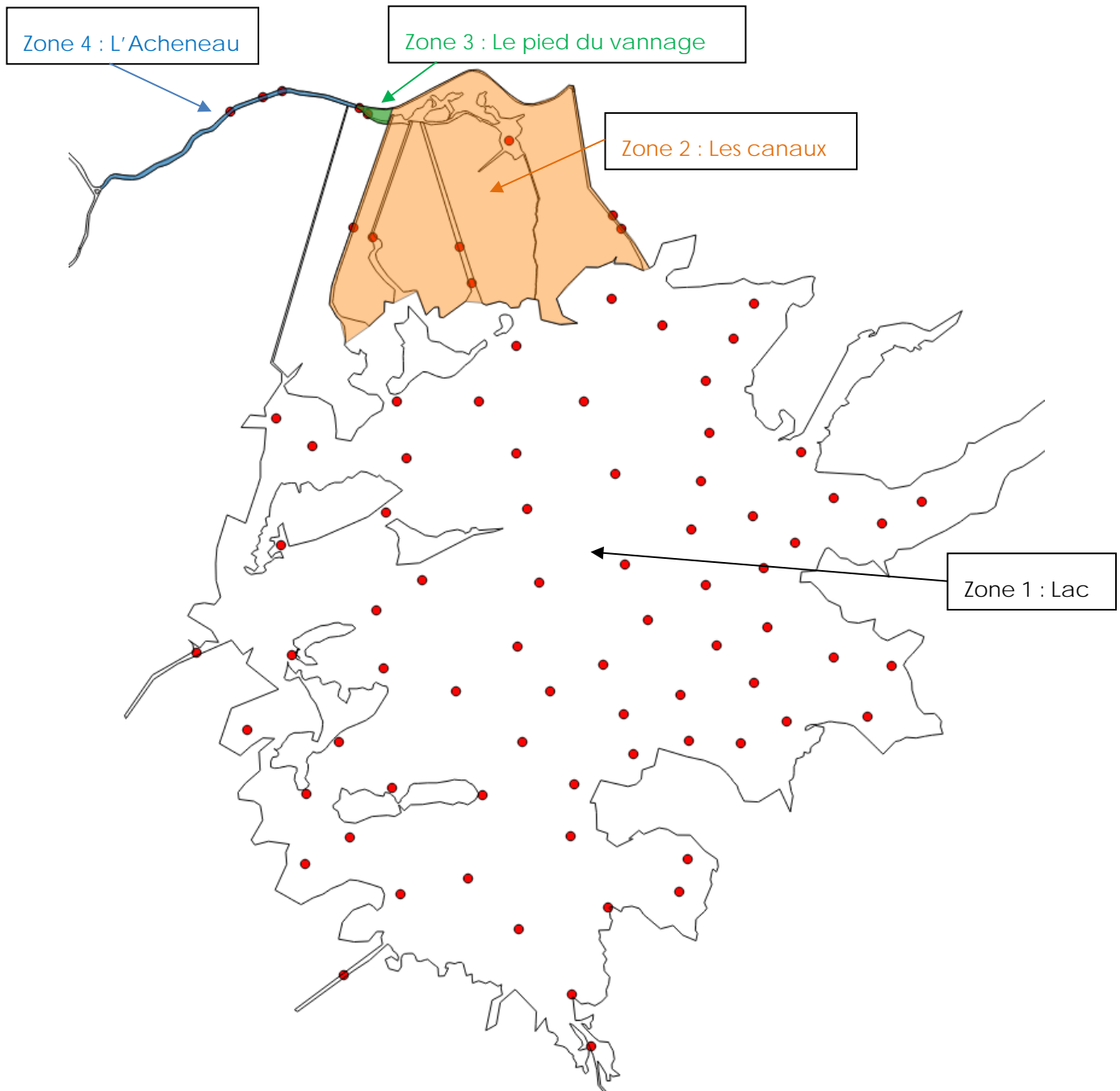


Figure 54 : Délimitation des zones au sein du lac de Grand Lieu utilisées pour l'étude des facteurs déclencheurs de la migration (point rouge = hydrophones) (d'après Clairbaux, 2017)

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 (hauteur d'eau du lac, hauteur cumulée des précipitations, température moyenne, pression atmosphérique moyenne en mer, vitesse et orientation du vent) a été étudié grâce aux Boosted Regression Trees

## - Matériels et méthodes -

(Elith, Leathwick, & Hastie, 2008). 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 favorisant :

- le passage de la zone centrale du lac (1) aux canaux (2)
- le passage des canaux (2) au vannage (3)
- 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.

### 2.7.8 *Le devenir des anguilles marquées*

Lors de la saison 2015/2016, l'échappement des anguilles argentées femelles marquées était de 35 % et le taux d'exploitation par la pêche professionnelle était de 20 %. Malheureusement, le réseau mis en place lors de cette étude n'a pas permis de connaître le devenir des 45 % d'anguilles marquées qui n'avait pas été détectée.

Pour cette seconde saison l'objectif est d'estimer une nouvelle fois :

- Le taux d'échappement au lac (%). Un test de l'efficacité de détection par les hydrophones situés en aval du lac a été réalisé. Ce test à montrer la même efficacité, pour les 5 hydrophones situés en aval, que lors de la saison 2015/2016 (voir rapport Mazel *et al.*, 2017). Ce résultat permet de s'assurer que les anguilles qui ne sont pas détectées par ces hydrophones ne sont donc pas sorties du lac. Le taux d'échappement (%) au lac est donc basé sur la proportion d'anguilles qui a été détectée par les hydrophones situés en aval du lac par rapport au nombre total d'anguilles marquées. Le taux d'échappement est estimé par sexe et globalement (car problème de durée de vie des émetteurs des mâles au moment de

## - Matériels et méthodes -

l'échappement). De ce fait la comparaison interannuelle entre la saison 2015/2016 et la saison 2016/2017 ne portera que sur les femelles.

- Le taux d'exploitation (%). Il est défini comme la proportion d'anguilles marquées en acoustique capturées par la pêche sur le nombre d'anguilles marquées par la méthode acoustique. Chaque pêcheur a été muni d'un lecteur PIT tag à bord du bateau. Les anguilles argentées marquées, étant munies d'un PIT tag en plus de l'émetteur acoustique, vont alors être détectées par le lecteur lors de sa capture. Le taux d'exploitation est estimé par sexe et globalement au vue de la durée de vie des émetteurs implantés dans les mâles. De plus, une comparaison entre le taux d'exploitation des anguilles marquées pour la CMR et celles marquées pour l'acoustique peut être faite afin de rendre l'estimation plus robuste.

Une comparaison interannuelle peut ainsi être faite pour les anguilles argentées femelles.

- Le taux d'anguilles au statut inconnu (%) :

$$\text{Taux d'inconnues} = 100 - (\text{taux d'échappement} + \text{taux d'exploitation})$$

Que deviennent ces individus qui ne se sont ni échappés ni prélevés par la pêche ? Sont-ils encore dans le lac ou ont-ils remontés les affluents ? Sont-ils vivants ou morts ? Peuvent-ils retarder leur migration d'une saison pour contribuer à termes au pool de reproducteur en décalant leur migration d'une saison ?

Pour tenter de répondre à ces questions, plusieurs analyses sont réalisées :

- Cinétique du taux de disparition dans le lac : Le réseau d'hydrophone mis en place permet de suivre les anguilles dans le lac au cours du temps. Cependant, la détectabilité des individus évolue au cours du temps, elle est dépendante de la durée de vie des émetteurs mais aussi du comportement des individus. Il arrive que certaines anguilles ne soient plus captées par les hydrophones soit parce qu'elles sont sorties du réseau (après avoir remontée les affluents au-delà du réseau d'hydrophones par exemple) ou plus détectées au sein même du réseau (plus dans le champ de détection des hydrophones car sédentaire au fond d'une cache où le signal ne passe pas ou sortie du système par prélèvements ou par prédation).

## **- Matériels et méthodes -**

- L'analyse des dernières détections : Elle permet de caractériser les positions et les dates où les anguilles disparaissent. Ont-elles disparues en limite de réseau ? Au niveau d'une zone de pêche ? En limite de durée de vie des émetteurs ?
- Comparaison des taux de recaptures interannuelles : Evaluer le taux de recapture par la pêche de 2016/2017 des anguilles marquées en 2015/2016 lors du suivi CMR et acoustique. L'objectif étant de définir si les anguilles qui ne migrent pas la première année sont capables de migrer l'année suivante.
- Comparaison des taux de recaptures interannuelles : Evaluer le taux de recapture par la pêche de 2016/2017 des anguilles marquées en 2015/2016.

### 3. Résultats

#### 3.1 Suivi de la pêche et biométrie

Lors des suivis de la pêche, plusieurs données ont pu être récoltées : la durée de pêche, la géolocalisation des engins et les quantités capturées par engins d'une part. Les données de taille, de poids et de stade de chaque individu du lot échantillonné lors de la sortie avec les professionnels d'autre part.

##### 3.1.1 Suivi de la pêche

Le suivi de la pêche s'est effectué sur une durée de 3 mois et demi (ensemble de la période de la pêche légale), ce qui a permis de suivre l'activité des 7 professionnels du lac de Grand-Lieu. Durant cette période, 33 jours de suivi de la pêche dont 24 jours avec une biométrie après la pêche ont pu être comptabilisés. Cette biométrie a permis d'analyser 1645 individus issus des captures de la pêche (Tableau 5).



Figure 55 : Suivi embarqué lors de la relève des engins sur le lac de Grand Lieu (FISH PASS)

## - Résultats -

Tableau 5 : Récapitulatif des jours de suivi, de biométrie et du nombre d'individus passés en biométrie. Les différentes couleurs sont chacune assignées à un pêcheur professionnel du lac de Grand-Lieu

	Jours de suivi	semaine	biométrie totale	nombre de jaune	nombre d'argentées	nombre de jours
suivi expérimental	13/09/2016		86	59	27	6 jours
	15/09/2016	37	99	52	47	
	19/09/2016		91	53	38	
	22/09/2016	38	76	37	39	
	26/09/2016		64	33	31	
	29/09/2016	39	71	41	30	
suivi de la pêche	03/10/2016					33 jours de suivis dont 24 jours de biométrie
	04/10/2016	40	65	29	36	
	05/10/2016		60	36	24	
	07/10/2016					
	11/10/2016		72	50	22	
	12/10/2016	41	57	34	23	
	14/10/2016					
	17/10/2016		56	45	11	
	19/10/2016	42	57	38	19	
	20/10/2016					
	24/10/2016		51	26	25	
	25/10/2016	43				
	26/10/2016		70	30	40	
	28/10/2016		69	27	42	
	31/10/2016					
	03/11/2016	44				
	04/11/2016		41	8	33	
	07/11/2016	45	92	55	37	
	14/11/2016					
	17/11/2016	46	108	58	50	
	18/11/2016					
	21/11/2016					
	23/11/2016	47	108	28	80	
	25/11/2016					
28/11/2016	48	52	17	35		
05/12/2016	49					
16/12/2016	50	12	0	12		
19/12/2016	51	36	12	24		
26/12/2016	52	120	37	83		
06/01/2017	1	4	0	4		
09/01/2017		8	2	6		
12/01/2017	2	20	9	11		

### 3.1.1.1 Le tonnage

En considérant l'ensemble des données récoltées via les suivis et les fiches de « pêche », il est possible d'obtenir le tonnage de capture en anguilles argentées sur le lac de Grand-Lieu pour la période considérée (du 1<sup>er</sup> octobre 2016 au 15 janvier 2017). Le graphique ci-dessous (Figure 56) montre l'évolution du tonnage capturé de l'ensemble de la pêche du lac. L'évolution de ce tonnage semble progressive sur la première partie de la saison, même si elle est marquée par une forte augmentation correspondant à une période où les conditions climatiques étaient plus favorables aux mouvements des anguilles (pluviométrie et vent plus importants...). Cette période correspond aux semaines 46 et 47 de 2016.

**Le tonnage d'anguilles argentées capturées par la pêche professionnelle, sur le lac de Grand-Lieu, pour la saison 2016/2017 atteint 3896 Kg**

**- Résultats -**

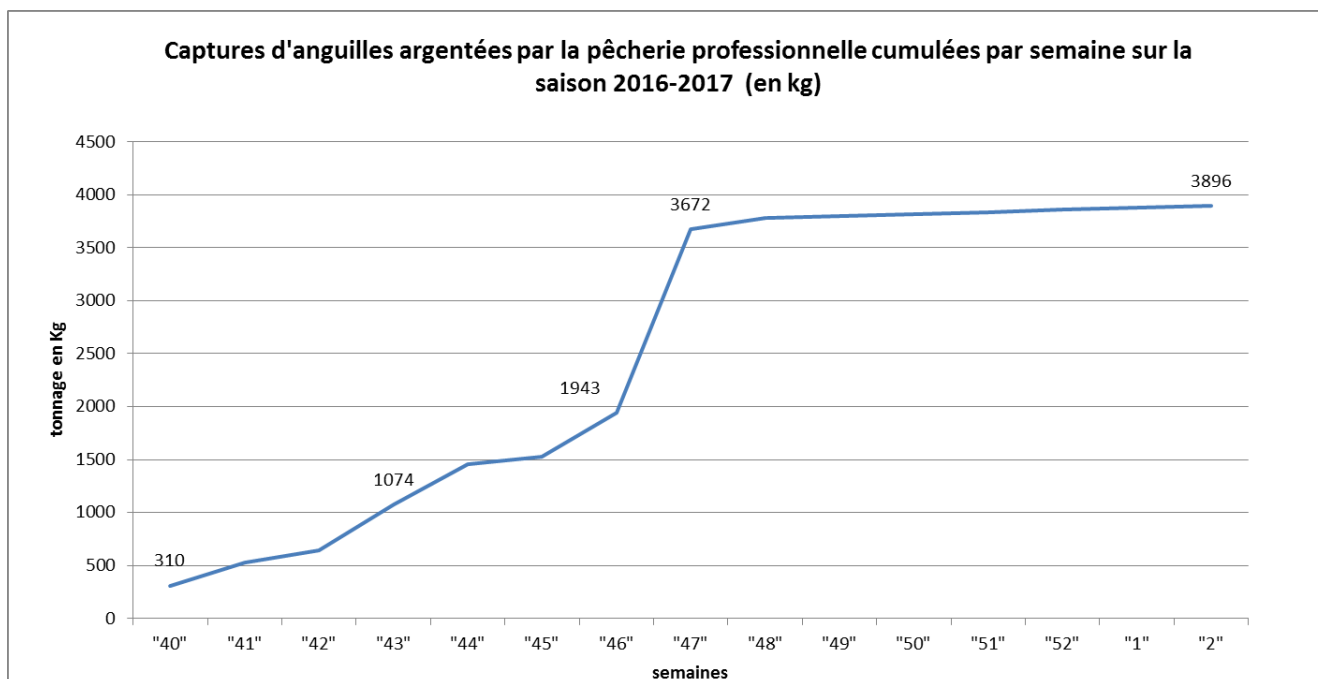


Figure 56 : Cinétique des captures cumulées d'anguilles argentées par la pêche professionnelle. D'après les données récoltées via les fiches de suivi et les suivis terrain

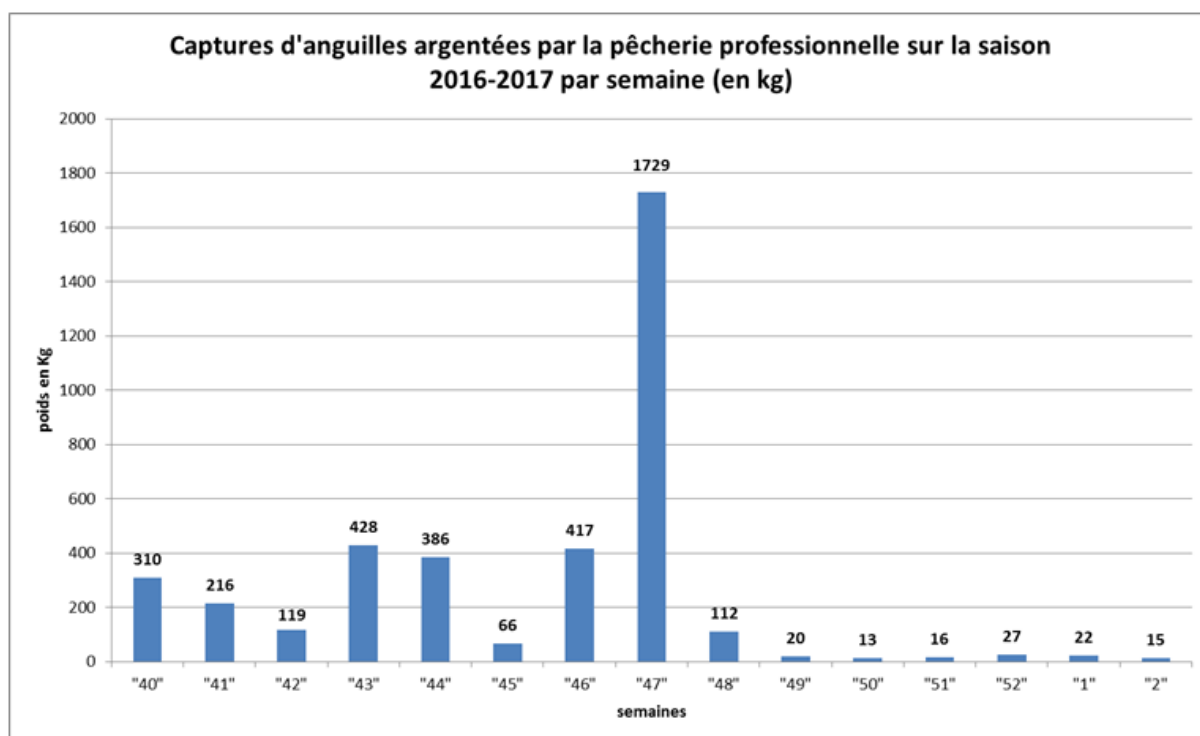


Figure 57 : Evolution des captures d'anguilles argentées par semaine. D'après les données récoltées via les fiches de suivi et les suivis terrain

## - Résultats -

### 3.1.1.2 Localisation des engins au cours de la saison de pêche (données récoltées lors des suivis terrain uniquement)

Comme le montre la Figure 58, la structuration spatiale des engins évolue au cours de la saison de pêche. En effet, il faut remarquer un changement dans la position géographique des engins pour la plupart des professionnels. En début de période (engins matérialisés par des cercles), les pêcheurs du lac de Grand-Lieu privilégient les zones centrales du lac (niveaux d'eau bas). Alors que plus tard dans la saison (engins matérialisés par des carrés), en attente de la crue, ils se réorientent vers les bords et les zones où les anguilles sont susceptibles de transiter lors de la dévalaison.

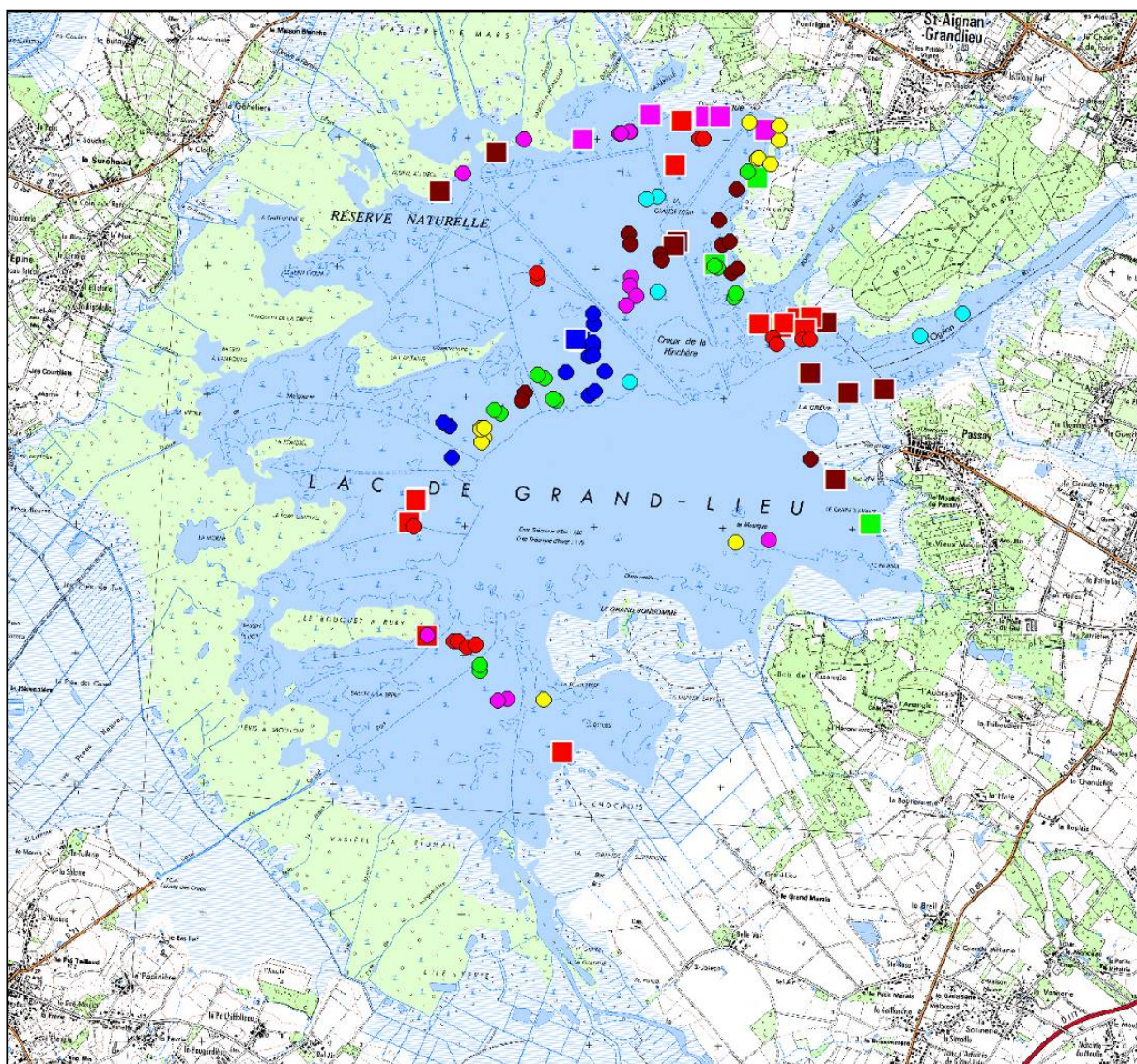


Figure 58 : Localisation spatiale des verveux en fonction de la période (données récoltées lors du suivi des pêcheurs professionnels). Les cercles représentent les verveux posés lors du début de saison alors que les carrés correspondent aux verveux posés en fin de saison.

### 3.1.1.3 Effort de pêche

L'effort de pêche, c'est-à-dire le nombre d'engins en pêche sur une période donnée, quant à lui est relativement régulier jusqu'à la semaine 48 avec une baisse singulière jusqu'à la fermeture de la pêche et le retrait des engins. En effet, comme le montre la Figure 59, entre 66 et 81 engins sont posés sur le plan d'eau jusqu'à la semaine 48, et à partir de la semaine 49, entre 5 et 10 engins sont retirés chaque semaine. Cette baisse importante de l'effort de pêche est liée à la forte baisse des captures, ainsi les pêcheurs préfèrent retirer des engins car leur entretien est trop important par rapport aux captures réalisées.

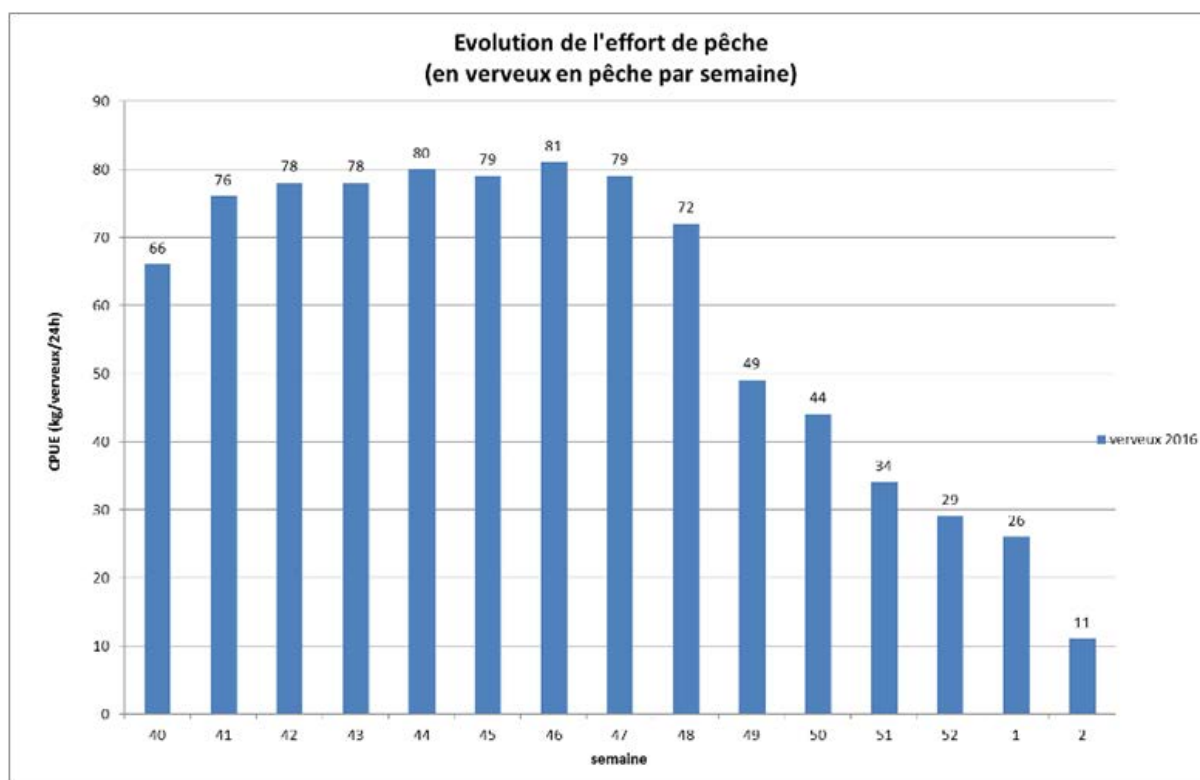


Figure 59 : Evolution des efforts de pêche par semaine sur la durée de la saison de pêche à l'anguille argentée. D'après les données issues des fiches de suivi et des suivis terrain.

La collecte des durées de pose, du nombre d'engins relevés et même du nombre de poches relevées à chaque sortie de pêches, a permis d'obtenir une évolution précise de l'effort de pêche sur la période octobre / janvier.

### 3.1.1.4 CPUE

Il est possible de construire un graphique montrant l'évolution de la capture par unité d'effort (CPUE), ce graphique est présenté en Figure 60, il faut noter la présence de forts écarts. En

## - Résultats -

effet, la capture par unité d'effort (CPUE) varie de 40 grammes / verveux / 24 h à la semaine 50 à plus de 3.13 kg / verveux / 24 h à la semaine 47.

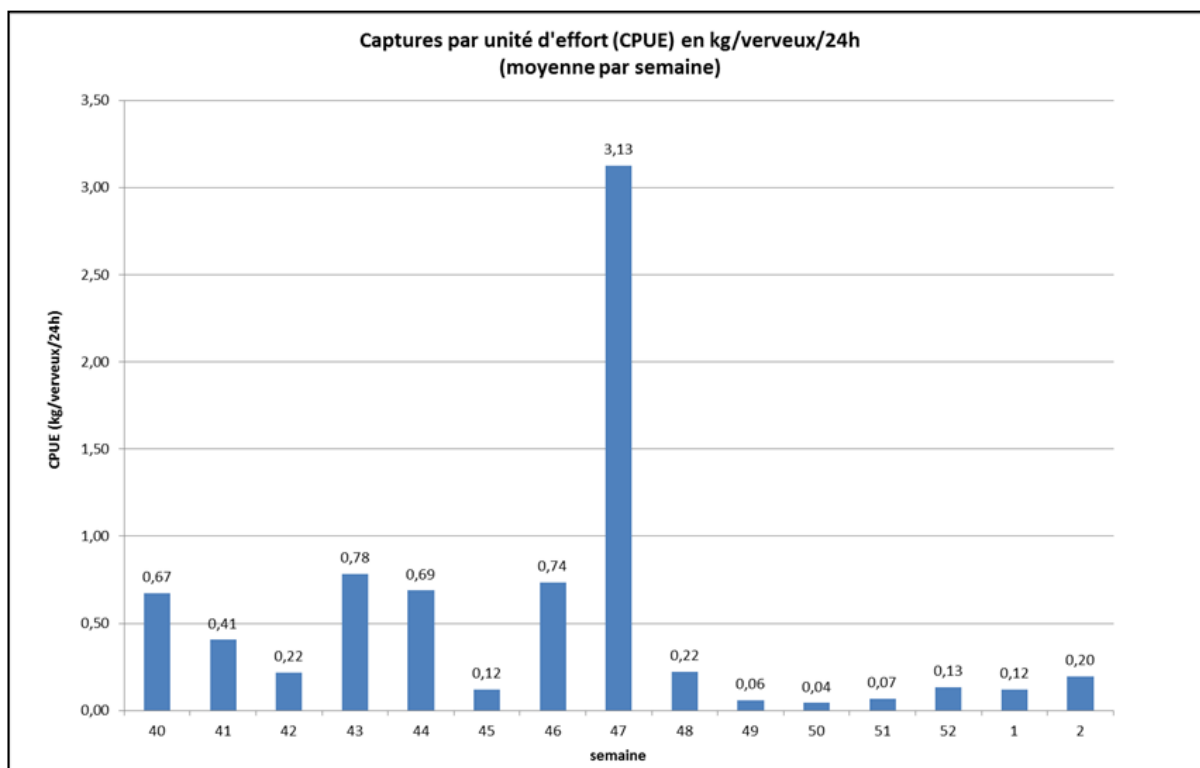


Figure 60 : Evolution des CPUE (moyennes) par semaine. D'après les données issues des fiches de suivi et des suivis terrain.



Figure 61 : Relève d'un verveux sur le lac de Grand Lieu (V MAZEL)

## - Résultats -

### 3.1.2 Biométrie : Caractéristiques de la fraction exploitée

La biométrie a été réalisée (par le SMIDAP / FISH-PASS) sur un échantillon minimum de 50 individus issus des captures d'anguilles du jour de la relève. Néanmoins, le nombre d'individus disponibles pour ces biométries est devenu de plus en faible au cours de la saison. En effet, durant les 5 dernières semaines de pêche seulement une (semaine 52) présente un nombre d'individus supérieur à 50 (120). Cette biométrie est faite avant le tri réalisé par les pêcheurs professionnels. Ainsi, les anguilles jaunes ont été relâchées sur le plan d'eau.

#### 3.1.2.1 Taux d'argenture

Comme le montre la Figure 62, le taux d'argenture varie au cours du temps. Des taux d'argenture de 100% ont été observés semaine 50 et semaine 1. Le nombre d'individus disponibles pour ces biométries étant très faible 4 et 12, le taux d'argenture n'est alors pas robuste. Globalement on remarque que ces taux sont plutôt faibles jusqu'à la semaine 46 et plus élevés en fin de saison. Ainsi, entre les semaines 37 et 46, les taux d'argenture ne dépassaient pas les 50 %, hormis semaine 43 et 44 (54 et 68 %). Toutefois dès la semaine 47 les taux dépassent largement les 60 % avec un pic à 74 % d'argenture semaine 47.

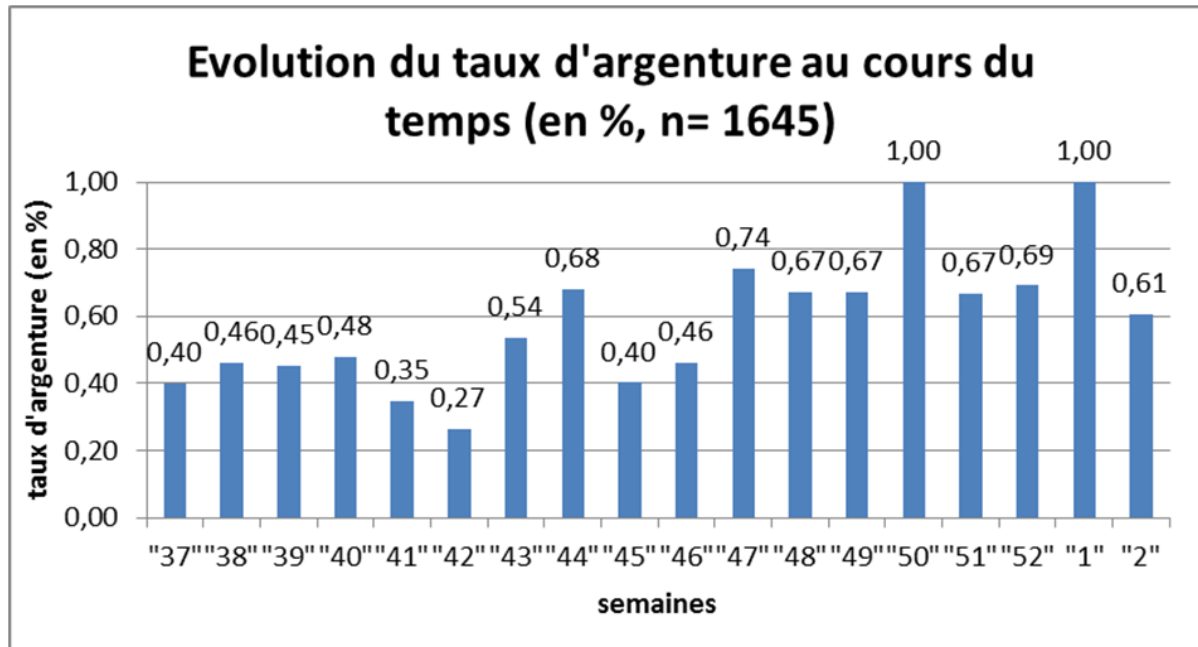


Figure 62 : Evolution du taux d'argenture moyen par semaine au cours de la période d'étude. D'après les données récoltées lors des biométries.

## - Résultats -



Figure 63 : Anguilles jaune et argentée de même taille (V MAZEL).

### 3.1.2.2 Sex-ratio

La proportion moyenne de mâles observés sur la durée de l'étude est de 92.62 %, 772 mâles ont été comptabilisés pour 57 femelles (N = 829). La plus forte proportion de mâles (98.36 %) est relevée lors de la semaine 39, celle de femelles (29.73 %) au niveau de la semaine 45. La Figure 64 montre l'évolution de la proportion de mâles et de femelles au cours du temps. Il faut noter que la proportion de femelles connaît deux pics, aux semaines 1 et 45 (25 et 30 %).

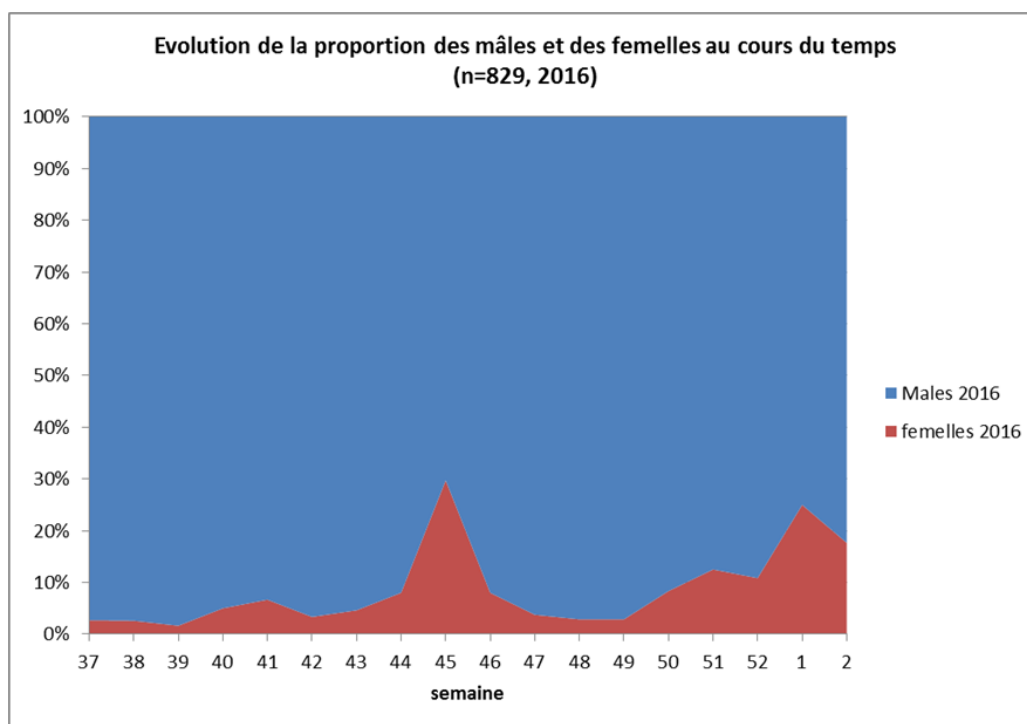


Figure 64 : Evolution des proportions des anguilles argentées des deux sexes au cours du temps. D'après les données récoltées lors des biométries.

## - Résultats -

### 3.1.2.3 Taille et classes de taille

Les relevés des différents paramètres morphologiques, lors des biométries ont permis de calculer la taille moyenne des anguilles capturées en fonction de leur stade ainsi que de leur sexe :

- Taille moyenne des anguilles jaunes : 372 mm (N = 816 ;  $\sigma = 72,79$  ; Min-Max = 280-716).
- Taille moyenne des anguilles argentées (tout sexe confondu) : 387 mm (N = 829 ;  $\sigma = 81$  ; Min-Max = 298-772).
- Taille moyenne des mâles argentés 367 mm (N = 772 ;  $\sigma = 21,47$  ; Min-Max = 298-441)
- Taille moyenne des femelles argentés 662 mm (N = 57 ;  $\sigma = 85,53$  ; Min-Max = 451-857)

**Tableau 6** Caractéristiques des individus passés en biométrie  
(La semaine 49 correspond à une semaine sans biométrie)

Semaines	Poids					Taille				Sexe	
	NB AG	Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	Min	Max	N Males	N femelles
37	74	102,76	62,22	67	615	374,20	39,10	335	657	72	2
38	77	101,38	97,25	52	932	368,49	48,27	320	744	75	2
39	61	92,48	17,77	56	136	368,15	28,37	324	488	60	1
40	60	115,28	105,49	58	756	383,48	61,95	318	685	57	3
41	45	132,91	147,41	74	750	392,29	80,79	333	722	42	3
42	30	91,73	31,58	60	235	366,30	33,64	320	505	29	1
43	65	117,37	128,75	60	845	382,51	75,81	333	779	62	3
44	75	145,13	200,43	49	1302	397,65	98,29	307	804	69	6
45	37	223,70	221,42	63	721	452,59	137,11	320	721	26	11
46	50	133,04	173,68	59	883	391,82	100,87	325	802	46	4
47	80	124,86	191,99	48	1517	385,21	81,28	298	867	77	3
48	35	91,83	30,02	57	231	371,83	36,47	323	519	34	1
49	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na	na
50	12	151,83	212,47	69	825	405,42	111,30	344	753	11	1
51	24	151,29	187,89	62	662	399,71	111,27	318	690	21	3
52	83	129,43	145,21	56	815	395,46	90,26	329	737	74	9
1	4	221,00	285,44	45	647	425,00	155,46	300	650	3	1
2	17	172,59	205,92	60	745	414,06	120,82	335	683	14	3
Total Général	829	124,68	145,65	45	1517	387,27	80,68	298	867	772	57

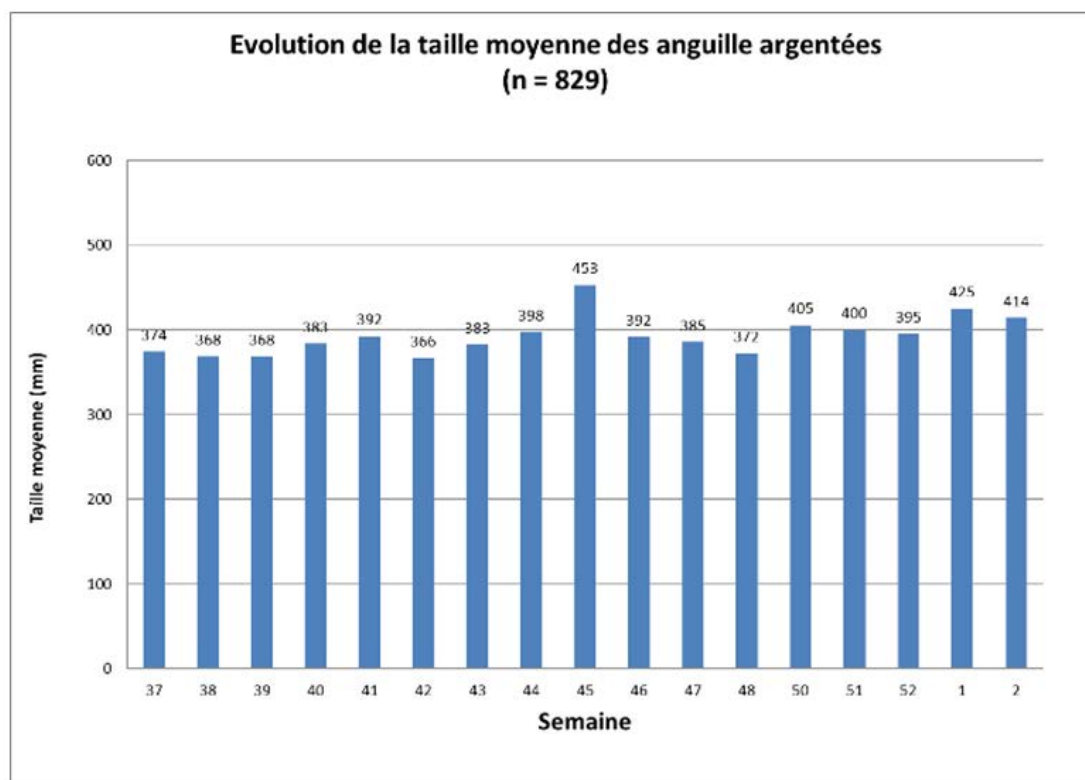
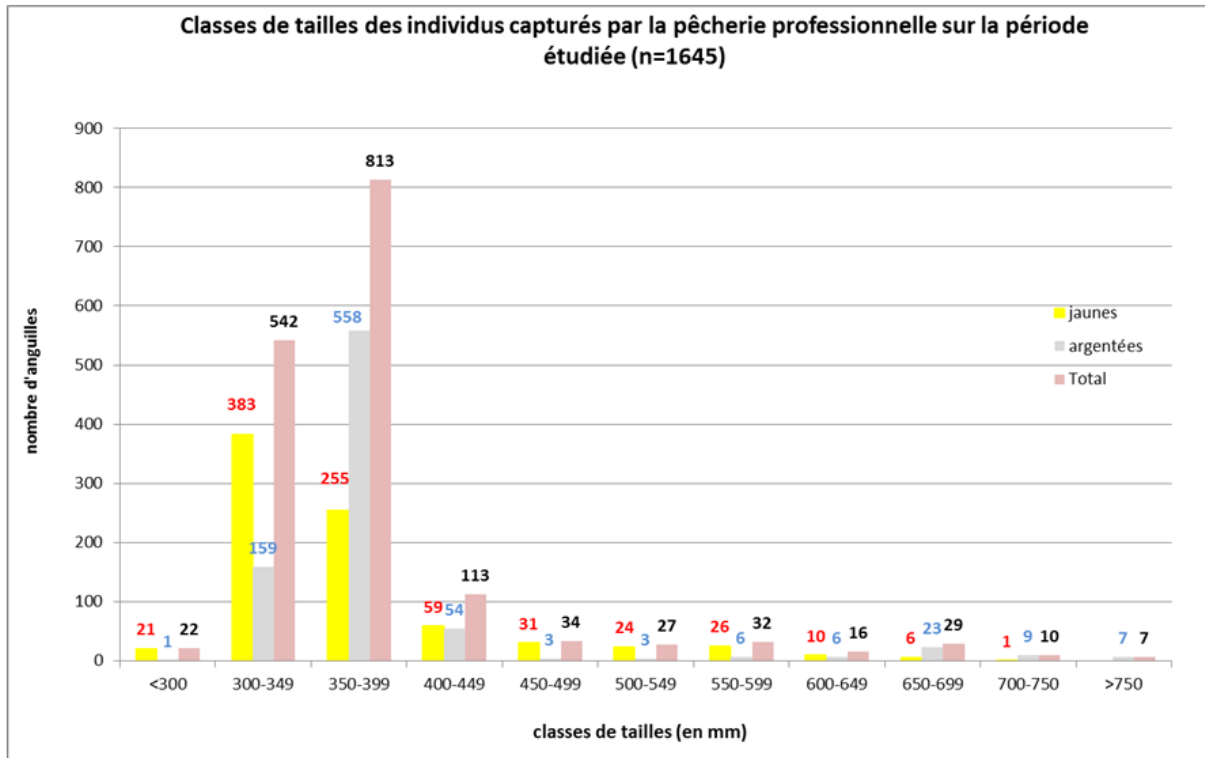


Figure 65 : Evolution de la taille moyenne des anguilles argentées.

**- Résultats -**



**Figure 66 : Répartition des anguilles étudiées en classes de taille en fonction de leur stade. D'après les données récoltées lors des biométries.**

La présence de deux modes peut être remarquée pour les anguilles argentées (Figure 66). Ainsi 93.12 % des anguilles argentées échantillonnées (N = 829) mesurent moins de 450 mm et appartiennent au premier mode. L'autre partie appartient à un mode distinct. Ces deux modes caractérisent le dimorphisme sexuel chez l'anguille. Il est possible de déduire le sexe de l'individu considéré. Ainsi, un individu étant argenté et mesurant plus de 450 mm sera considéré comme une femelle. Comme cela a déjà été montré dans la littérature (Vollestad *et al.*, 1986 ; Acou *et al.*, 2003), les mâles s'argentent en moyenne à des tailles beaucoup plus faibles (407.8 mm ;  $\sigma = 25.4$ , min-max : 348-460 mm) que les femelles (783 mm ;  $\sigma = 97.2$ , 470-1138 mm). De plus, les données issues de l'étude des gonades, réalisée en 2015, sur 102 individus montrent que la taille des femelles argentées matures est comprise entre 607 et 880 mm (N = 50) alors que celle des mâles est comprise entre 318 et 401 mm (N = 52). L'étude du possible recouvrement (classes de tailles comprises entre 450 mm et 600 mm) entre les mâles et les femelles argentés n'a pu être réalisée en 2015 car les individus argentés collectés par la pêche des classes de tailles [450-500], [500-550] et [550-600] ne représentaient respectivement que 0.1 %, 0.4 % et 1.5 % des individus échantillonnés au cours de toute la saison et cette gamme de taille n'était pas disponible au moment de la conservation des individus pour la biométrie spécialisée. En 2016, lors de la deuxième campagne ces mêmes classes de taille ne représentaient que 0.4% [450-499], 0.4% [500-549] et 0.7% [550-599] (Figure 67).

## - Résultats -

D'après les données récoltées (taille, poids et stade) lors des biométries et les données compilées issues des fiches de suivi, il a été possible d'obtenir la proportion (Figure 67), en poids d'anguilles argentées capturées par la pêcheur durant la saison 2016/2017, que représente chaque classe de taille. Ce graphique est intéressant dans une optique de gestion de la pêche et d'évaluation de la maille optimale des engins pour réduire les captures d'anguilles jaunes (ne plus avoir à trier trop d'anguilles jaunes).

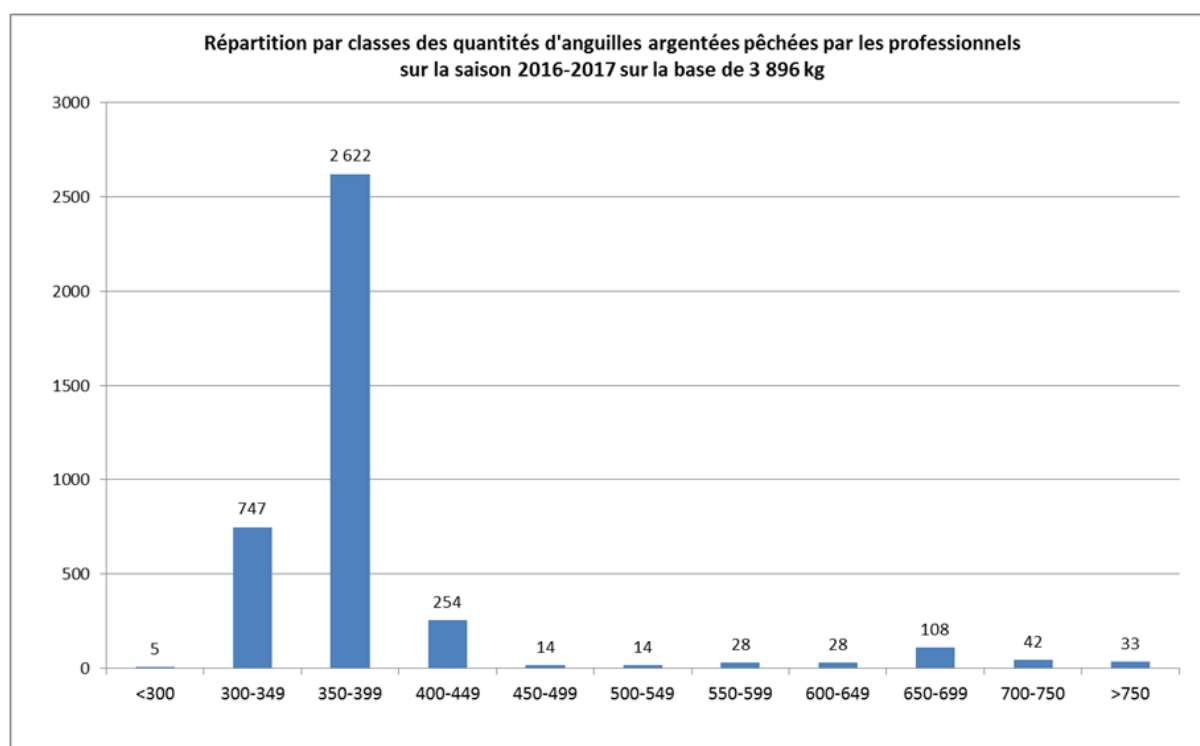


Figure 67 : Répartition des quantités d'anguilles argentées pêchées en fonction des classes de taille

### 3.1.2.4 Relation Taille/Poids

Les données de taille et de poids de l'échantillon ont permis d'établir la relation : Poids = f(Taille) (Figure 68). La relation est la suivante :  $P = aL^b$  où P est le poids (g), L la taille (cm), a et b sont des coefficients. D'où d'après les données :  $P = 1,21 \cdot 10^{-6} L^{3,0663}$ . Où  $a = 1,21 \cdot 10^{-6}$  (en cm) et  $b = 3,066$ . Avec un  $R^2 = 0,9643$ .

## - Résultats -

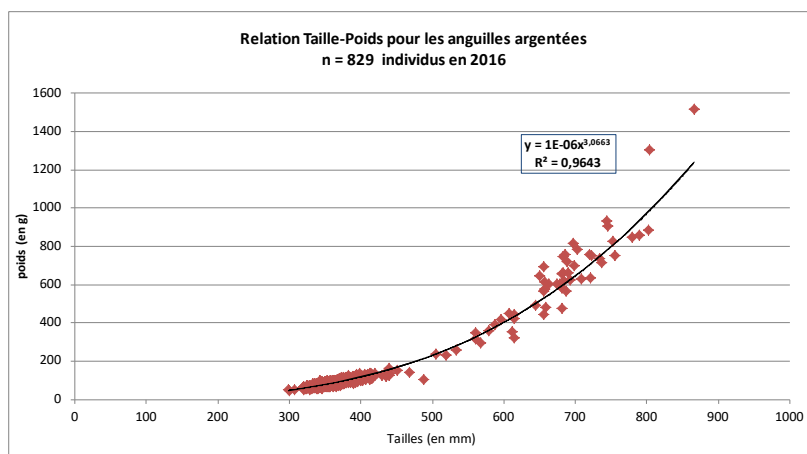


Figure 68 : Graphique représentant la relation taille-poids pour les anguilles argentées

Cette relation Taille-Poids a également été réalisée en fonction des deux sexes. Pour les femelles l'équation ainsi obtenue est :  $P = 3,21 \cdot 10^{-8} L^{3,628}$ . Où  $a = 3,21 \cdot 10^{-3}$  (en cm) et  $b = 3,628$ . Avec un  $R^2 = 0,9181$  et pour les mâles :  $P = 8,75 \cdot 10^{-8} L^{2,732}$ . Où  $a = 8,75 \cdot 10^{-8}$  (en cm) et  $b = 2,732$ . Avec un  $R^2 = 0,7738$ . Les deux figures correspondantes sont présentées ci-dessous (Figure 69 et Figure 70).

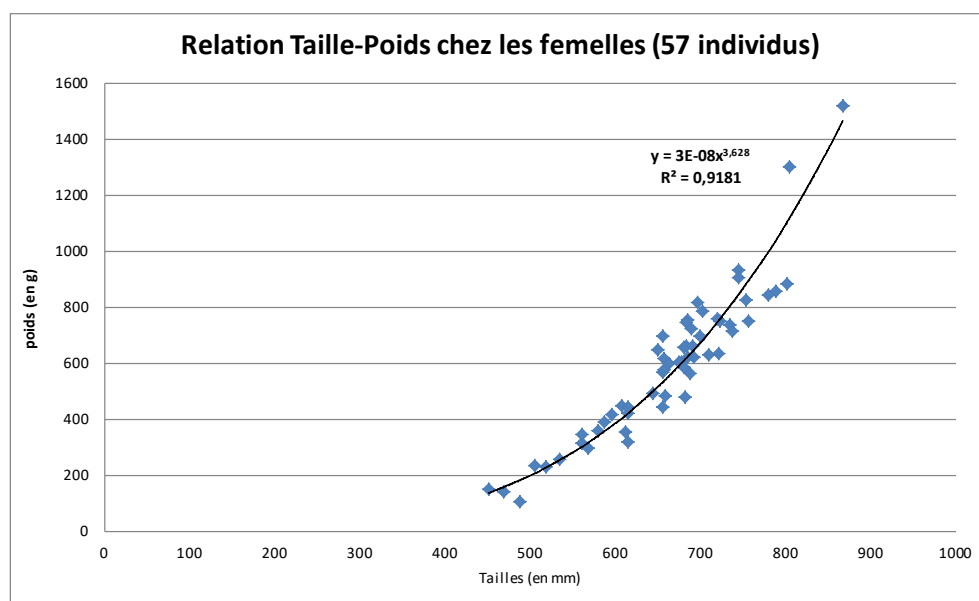


Figure 69 : Graphique représentant la relation taille-poids pour les femelles

## - Résultats -

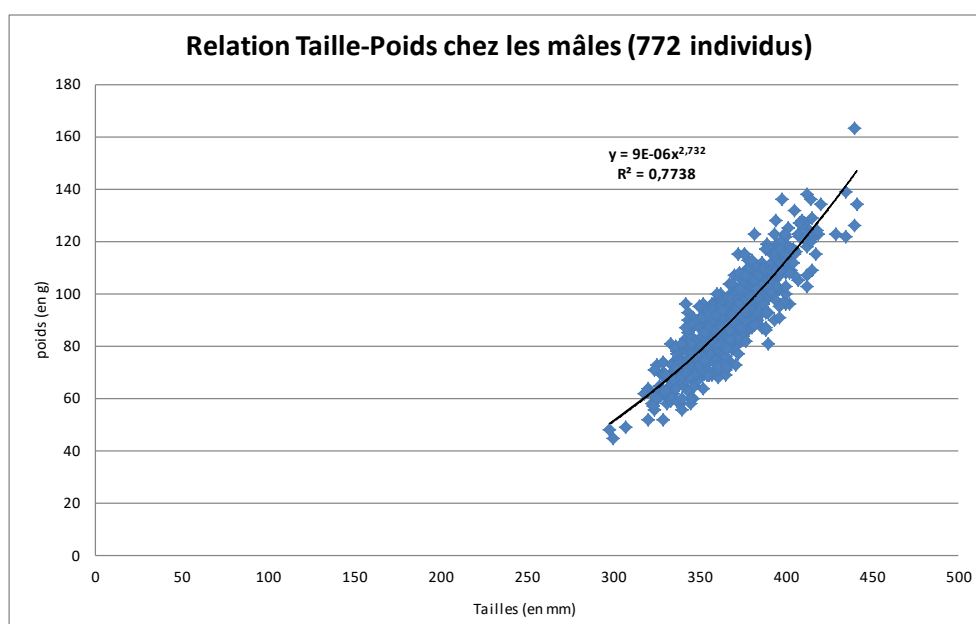


Figure 70 : Graphique représentant la relation taille-poids pour les mâles

### 3.1.3 Biométrie spécialisée : qualité des géniteurs produits

#### 3.1.3.1 Qualité externe des géniteurs

Les résultats de l'étude de la qualité externe sur les individus destinés au marquage (N = 800) montrent d'après la Figure 71, qu'une majorité d'anguilles argentées du lac de Grand-Lieu présente des lésions (93 % ; N = 744). Trois types de pathologies sont principalement observés : nombreuses érosions (ERxx), des masses et grosseurs (AGxx), essentiellement localisées sur les nageoires et des points noirs (PXxx) (Figure 72). Ces 3 pathologies représentent respectivement 72,8 % (582 ind), 37,4 % (299 ind) et 31,3 % (250 ind) des cas (Figure 72). En revanche, ces lésions sont pour la plupart, d'importance mineure (1 ou 2). En effet, parmi l'ensemble des lésions observées (N= 1314) 97 % (N = 1279) présentent des lésions externes d'importance mineure (XXX1, XXX2) (Figure 73).

L'indice pathologique général calculé selon la méthode d'Elie et Girard (2014) est de 1.96. D'après la grille d'interprétation la condition de la population d'anguilles argentée du lac de Grand-Lieu est considérée comme « mauvaise ».

Tableau 7 : Tableau des correspondances des principales abréviations utilisées lors de l'étude des lésions externes

Sain	Érosion	Grosseur	Altération de la couleur	Hémorragie	Parasite	Ulcère	Absence d'organe
OOCO	ER	AG	AC	HE	PX	UL	AO

**- Résultats -**

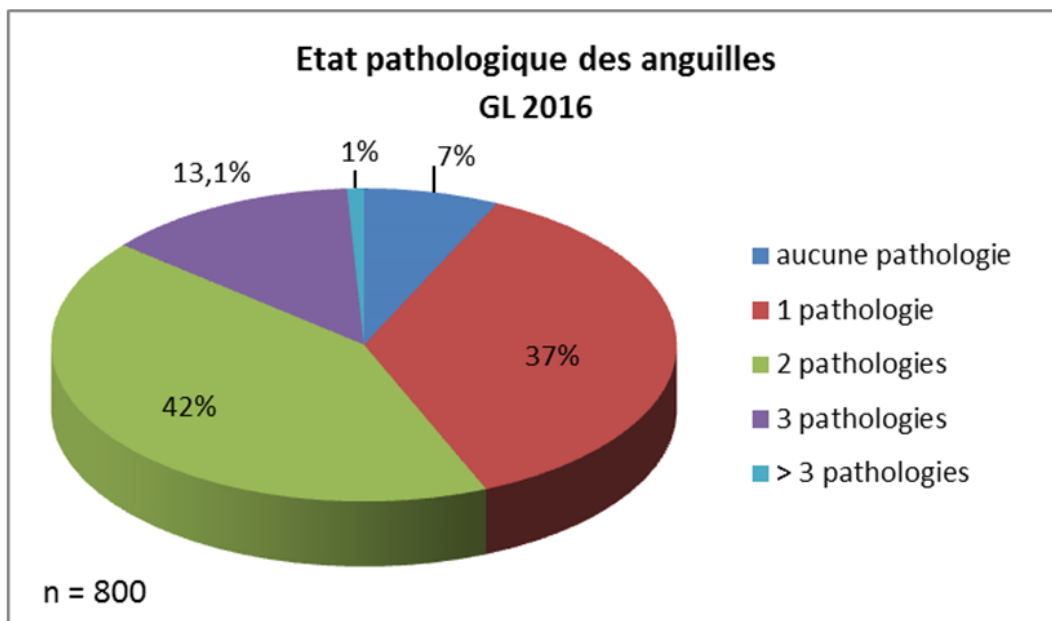


Figure 71 : Qualité des géniteurs vis-à-vis des lésions externes

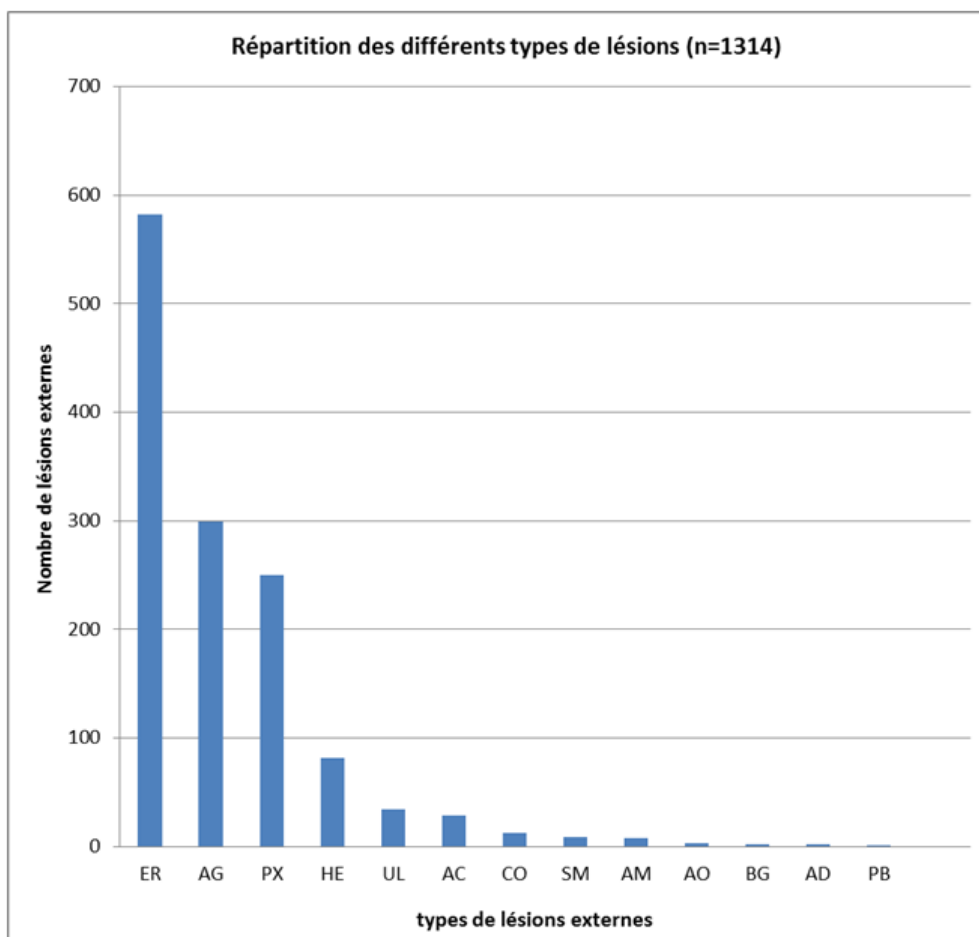


Figure 72 : Répartition des types de lésions externes

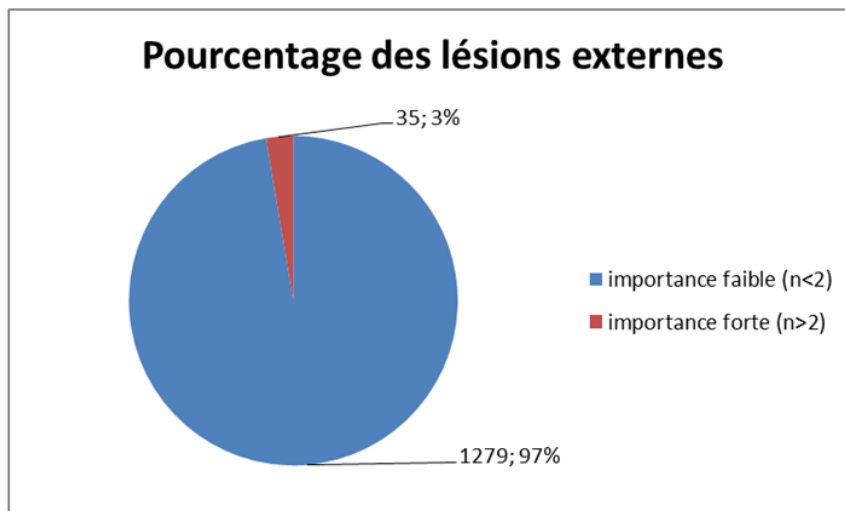


Figure 73 : Répartition des niveaux d'importance des lésions externes



Figure 74 : Photo de « kystes » dans les nageoires (CODAGE AGNX) (FISH PASS)

## - Résultats -

### 3.1.3.2 Caractéristiques des individus conservés pour la parasitologie interne CAMPAGNE 2015-2016

Les caractéristiques des individus ayant fait l'objet d'une biométrie spécialisée sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 8). D'après le tableau 8, la taille des individus était comprise entre 318 mm et 401 mm pour les mâles et entre 607 mm et 880 mm pour les femelles. Les tailles moyennes étant de 360,12 mm pour les mâles et de 727,74 mm pour les femelles. Les tailles moyennes étant de 360,12 mm pour les mâles et de 727,74 mm pour les femelles.

Tableau 8 : Caractéristiques des individus conservés pour la parasitologie (N=102)

		Longueur (en mm)	Poids (en g)	Vessie natatoire			Parasites (en nb)
				Opacité	Epaisseur	Pigmentation	
moyenne	M	360,12	87,56	1,50	1,13	1,35	4,69
	F	727,74	756,44	1,02	0,68	0,96	7,58
	T	540,32	415,44	1,26	0,91	1,16	6,11
Min	M	318	63	0	0	0	0
	F	607	369	0	0	0	0
	T	318	63	0	0	0	0
Max	M	401	115	2	2	2	21
	F	880	1230	2	2	2	94
	T	880	1230	2	2	2	94
Ecart type	M	19,57	12,37	0,58	0,63	0,71	5,37
	F	58,52	212,82	0,68	0,65	0,73	15,39
	T	189,64	367,38	0,67	0,68	0,74	11,47

### 3.1.3.3 Qualité interne des géniteurs vis-à-vis de *A. crassus* CAMPAGNE 2015-2016

Pour ce qui est des pathologies internes, les anguilles du lac de Grand-Lieu sont pour la plupart parasitées par *A. crassus* (prévalence 74 % ; N = 102, Figure 76). La charge parasitaire est élevée (24 % possèdent plus de 10 parasites/individu ; N = 75, Figure 77) et l'intensité moyenne est de 6.31 avec un maximum atteignant 94 parasites retrouvés sur une femelle de 638 g. L'abondance moyenne est de 6.11.



Figure 75 : Vessie natatoire en cours de dissection contenant des parasites (FISH PASS)

## - Résultats -

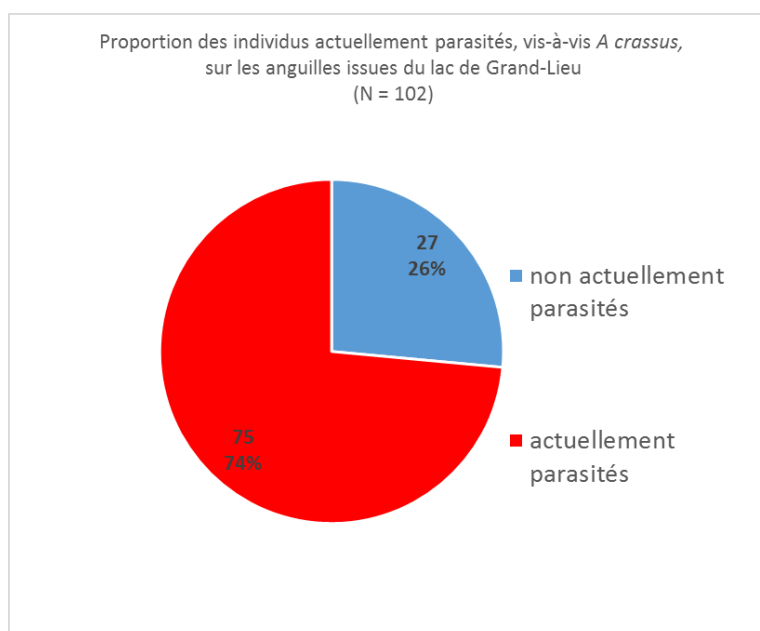


Figure 76 : Qualité des géniteurs vis-à-vis du parasitisme par *A. crassus*

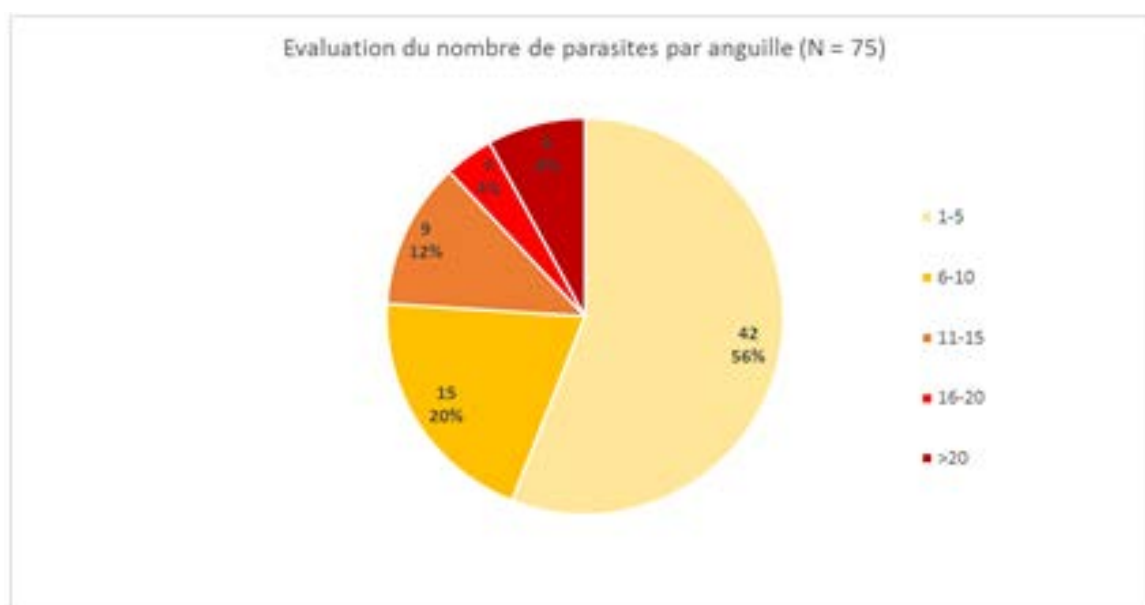


Figure 77 : Evaluation de la charge parasitaire des individus actuellement parasités (sacrifiés en janvier 2016)

Une part des individus ne possédait pas de parasites lors de l'autopsie mais en ont possédés par le passé. De ce fait, seul 3 % (N = 102) des individus sont réellement sains vis-à-vis d'*A. crassus* (Figure 78). Ainsi les caractéristiques de la vessie natatoire montrent un effet de la présence passée du parasite, cette dernière est endommagée.

**- Résultats -**

Tableau 9 : Fréquence des SDI sur les individus analysés

Nombre	%	SDI
7	6,86%	0
12	11,76%	1
14	13,73%	2
18	17,65%	3
22	21,57%	4
16	15,69%	5
13	12,75%	6

**PSDI : 81,37**

**Les individus sains sont dissociés des individus lésés à partir du moment où ils ne présentent pas de parasite au moment de l'autopsie et que leur SDI est de 0.**

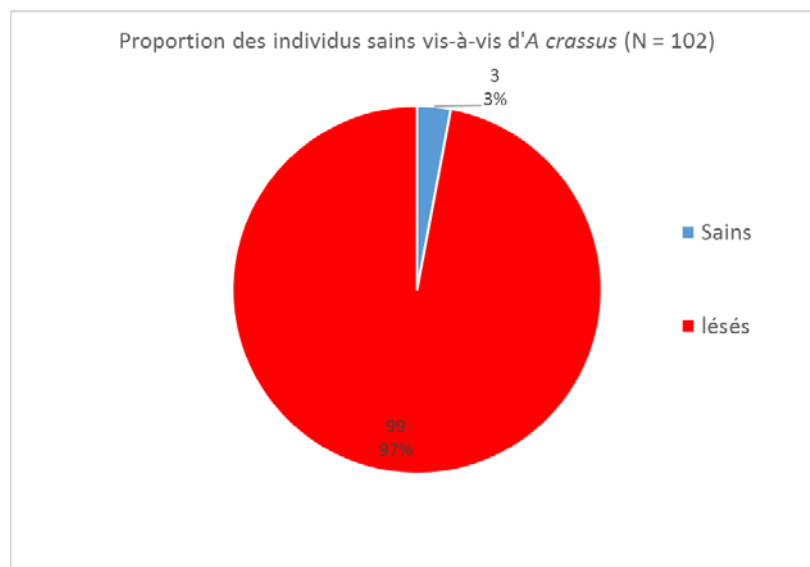


Figure 78 : Proportion des individus parasités ou ayant été parasités par *A. crassus* et présentant des lésions internes

## - Résultats -

### 3.1.3.4 Clé taille / âge CAMPAGNE 2015-2016

L'âgeage montre que la majeure partie des mâles est âgée de 3 ans (75 % ; N = 52) alors que les femelles sont âgées de 5 à 9 ans (Figure 79).

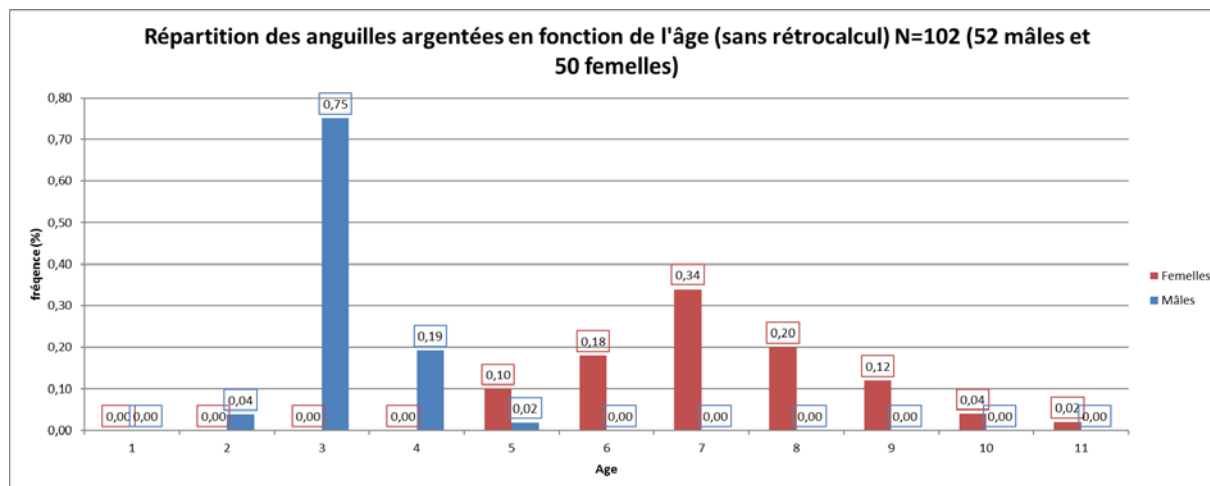


Figure 79 : Répartition des anguilles argentées en fonction de l'âge (sans rétro-calcul)

Le rétro-calcul, d'après la formule de Frazer Lee (1920) et Panfili *et al.*, (2002) permet d'obtenir une clé Taille/Âge présentée dans le tableau suivant (Tableau 10).

$$Li = b + (Lc - b) (Si / Sc)$$

Où :

- Li : Taille à l'âge i (en mm)
- b : Ordonnée à l'origine de la régression  $Lc = d Sc + b$  réalisée sur l'ensemble de l'échantillon (N = 102)
- Lc : Taille à la capture (en mm)
- Si : Rayon de l'annuli à l'âge i (en mm)
- Sc : Rayon total de l'otolithe (en mm)

**Etape 1** : Réaliser la régression  $Lc = d Sc + b$

Avec

Lc : taille à la capture (mm)

Sc : rayon total de l'otolithe (mm)

**- Résultats -**

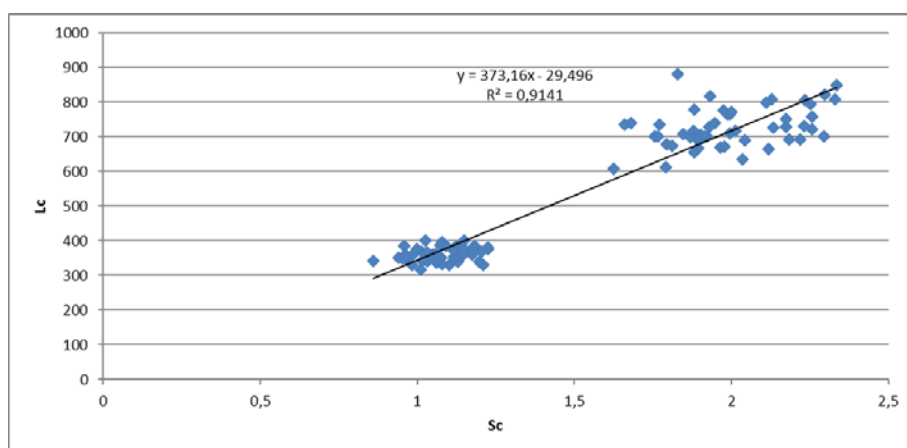


Figure 80 : Relation longueur total de l'individu-rayon total de l'otolithe pour les 102 individus

La régression obtenue est :

$Lc = 373.16 Sc - 29.496$

D'où :  $b = - 29.496$

**Etape 2** : Calcul des Li via la formule de Frazer Lee.

$b = - 29.496$  d'où  $Li = - 29,496 + (Lc + 29,496) (Si / Sc)$

Tableau 10 : clé taille / âge

Age (ans)	[<-1]	[1-2]	[2-3]	[3-4]	[4-5]	[5-6]	[6-7]	[7-8]	[8-9]	[9->]
Taille (mm)	[<129]	[129-237]	[237-352]	[352-452]	[452-563]	[563-634]	[634-690]	[690-724]	[724-766]	[>766]

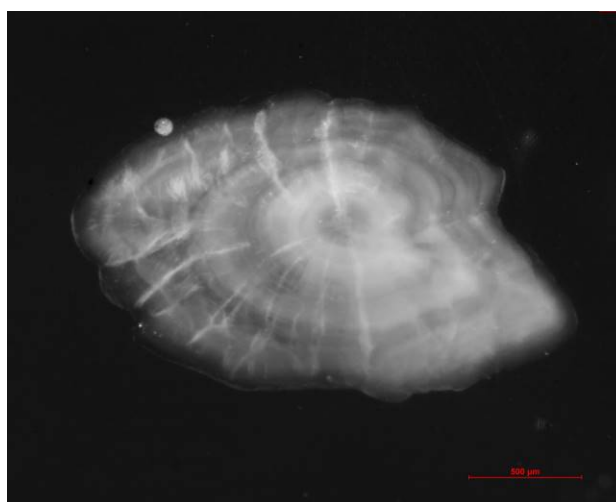


Figure 81 : Otolithe d'une anguille argentée de Grand Lieu (FISH PASS)

## - Résultats -

### 3.1.4 Sexage CAMPAGNE 2015-2016

Sur les 102 individus conservés pour la biométrie « spécialisée » 52 sont des mâles et 50 sont des femelles. Dans cet échantillon, issu de la pêche professionnelle, il n'y a pas de recouvrement de la cohorte des mâles et de la cohorte des femelles. La taille des mâles argentés est ainsi comprise entre 318 et 401 mm et celle des femelles argentées est comprise entre 607 et 880 mm. Sur les 52 mâles analysés, 51 présentent un stade de développement des gonades au « stade 5 » et un individu est au « stade 4 » et 100 % des femelles présentent un stade de développement des gonades au « stade 8 ». **La limite de 450 mm pour discriminer les mâles des femelles est confirmée.**

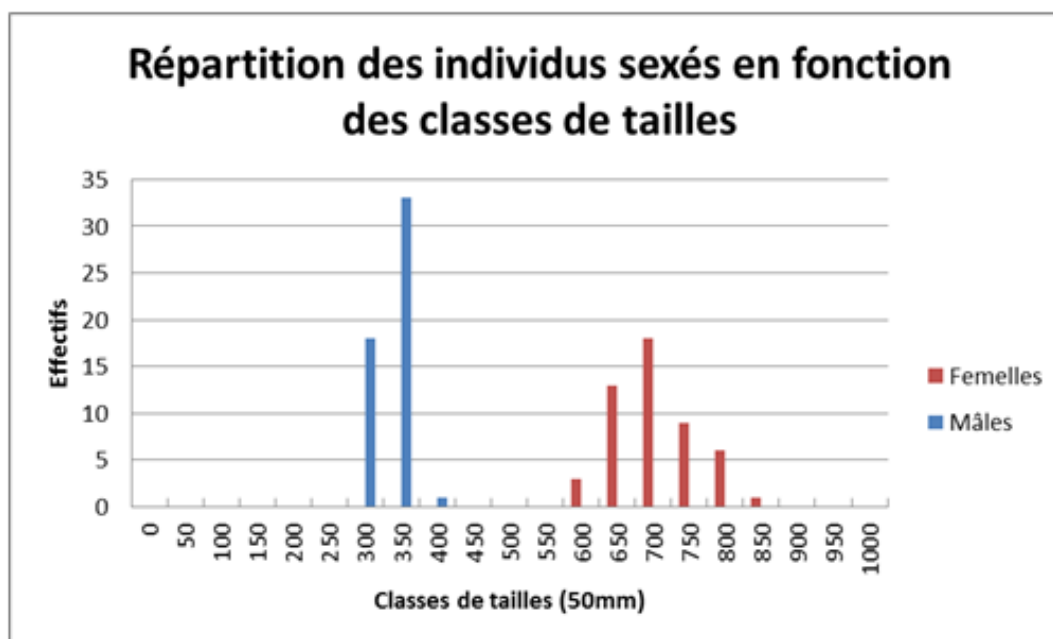


Figure 82 : Répartition des individus sexés (N=102)

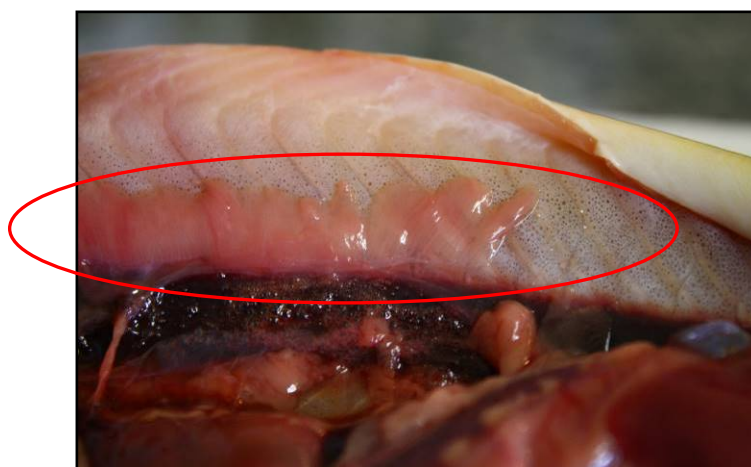


Figure 83 : Gonade d'anguille femelle (FISH PASS)

## - Résultats -

### 3.1.5 Comparaison pêche saison 2015-2016 et 2016-2017

#### 3.1.5.1 Les tonnages

Jusqu'à la huitième semaine de pêche qui correspond à la dernière semaine de novembre, le tonnage d'anguilles argentées capturées était proche du tonnage de 2015 cependant celui-ci n'a plus évolué sur la fin de saison. Cette stagnation est liée à une baisse de l'activité des anguilles et par la suite, à un retrait progressif mais important des moyens de capture. Ainsi sur la saison complète, le tonnage de 2016 ne représente que 55% du tonnage réalisé en 2015.

Les captures par semaine permettent de voir que la pêche est réalisée sous forme de pics. En 2015, trois pics de capture sont nettement visibles (un en début de saison, un en milieu de saison et un en fin de saison), alors qu'en 2016 un seul pic bien marqué est visible (milieu de saison). Cette variation interannuelle est fortement liée aux conditions environnementales qui définissent des périodes d'activité.

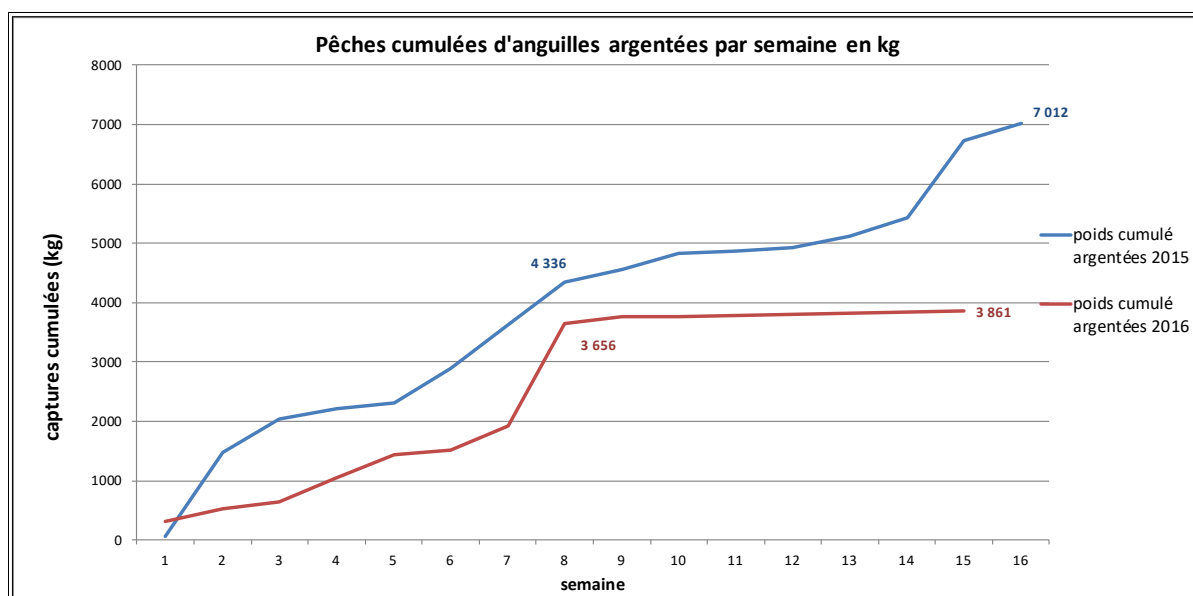


Figure 84 : Cinétique des captures cumulées d'anguilles argentées par la pêche professionnelle

## - Résultats -

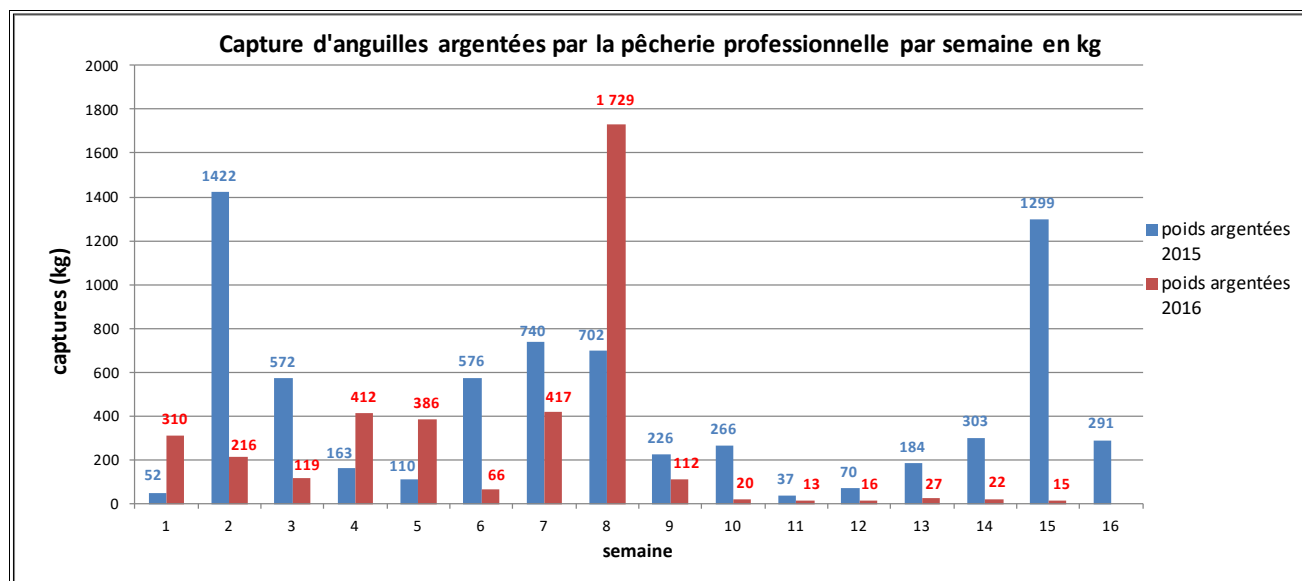


Figure 85 : comparaison de l'évolution des captures d'anguilles argentées par semaine entre 2015 et 2016

### 3.1.5.2 Efforts de pêche

Il est intéressant de voir que sur les 8 premières semaines de pêche « complète » (semaines 2 à 9) l'effort de pêche est très proche entre les deux années (80 engins en moyenne pour 2015 et 78 en moyenne pour 2016). Bien que la dynamique de capture soit différente entre les deux années (nombre de pics sur cette période), le tonnage réalisé est relativement comparable (15% de différence seulement entre les deux années). A partir du début du mois de décembre l'effort de pêche a été fortement réduit.

## - Résultats -

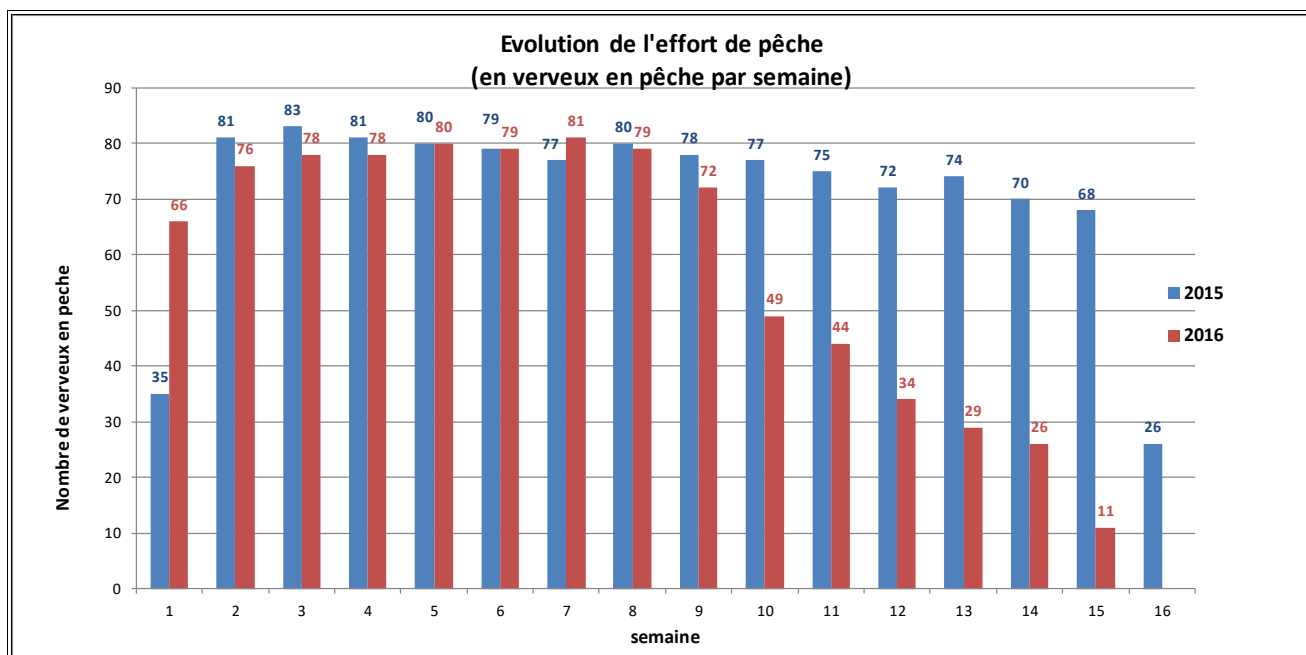


Figure 86 : comparaison de l'évolution des efforts de pêche (2015 et 2016) par semaine sur la durée de la saison de pêche à l'anguille argentée

### 3.1.5.3 CPUE

Les captures par unité d'effort permettent de se soustraire aux variations de l'effort de pêche, ainsi il est possible de dire que la stagnation du tonnage pour l'année 2016 sur la fin de saison est bien liée à une absence d'activité des anguilles (absence de conditions favorables) et non uniquement à la baisse de l'effort de pêche. Le dernier pic d'activité présent en 2015 sur les dernières semaines n'est pas observable en 2016.

## - Résultats -

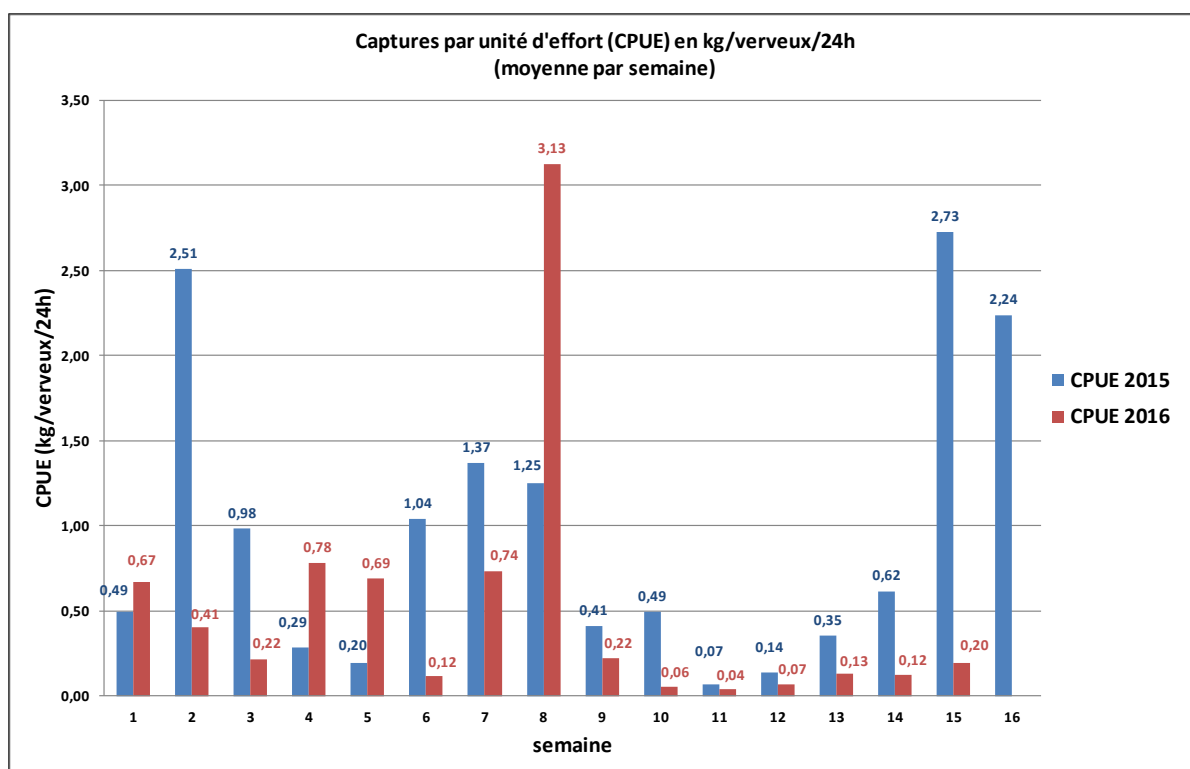


Figure 87 : comparaison des CPUE (moyennes) par semaine entre 2015 et 2016 pour l'anguille argentée

### 3.1.5.4 Taux d'argenteure

Le taux d'argenteure varie au cours de la saison avec généralement des augmentations marquées lors des fenêtres environnementales favorables à la dévalaison (quand les individus argentés se mettent en mouvement). En 2015 comme en 2016 les plus faibles valeurs oscillent autour des 30% d'anguilles argentées dans les captures et peuvent atteindre 90 à 100% sur les pics d'activité.

## - Résultats -

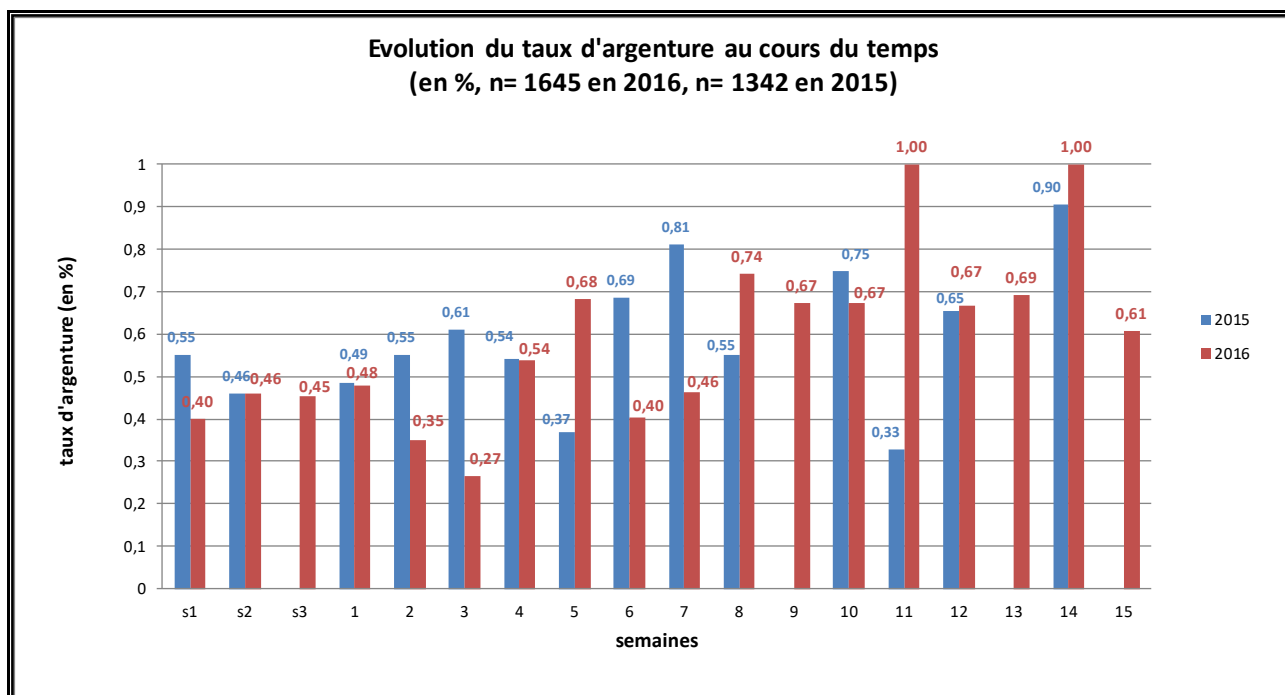


Figure 88 : comparaison des taux d'argentures moyen par semaine au cours de la période d'étude

### 3.1.5.5 Sex ratio

La proportion de femelles dans les captures semble également liée aux pics de migration. Ainsi pour 2015, les femelles sont présentes en plus forte proportion sur 3 pics bien marqués et en 2016 sur le pic de mi- saison et sur les 15 derniers jours malgré les faibles tonnages capturés.

## - Résultats -

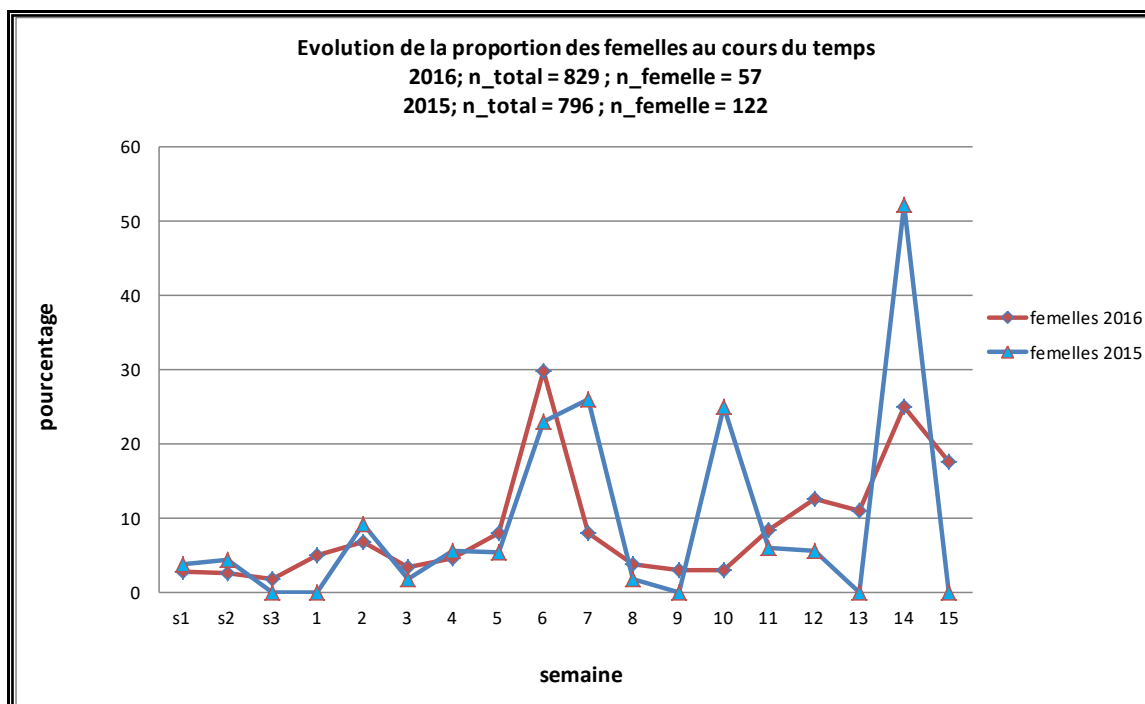


Figure 89 : comparaison des proportions de femelles au cours de la saison de pêche entre 2015 et 2016

### 3.1.5.6 Taille et classes de taille

Globalement la répartition des individus argentés mesurés est identique entre les deux années (très grande majorité de mâles), la seule différence observable est une proportion plus faible de femelles de grande taille (individus supérieurs à 700mm). Concernant les captures par classe de taille à l'échelle de la pêcherie, en 2016 les captures ont été plus faibles sur l'ensemble des classes de tailles. A titre d'exemple en 2015, 1066 kg de femelles capturées contre 253 kg en 2016.

## - Résultats -

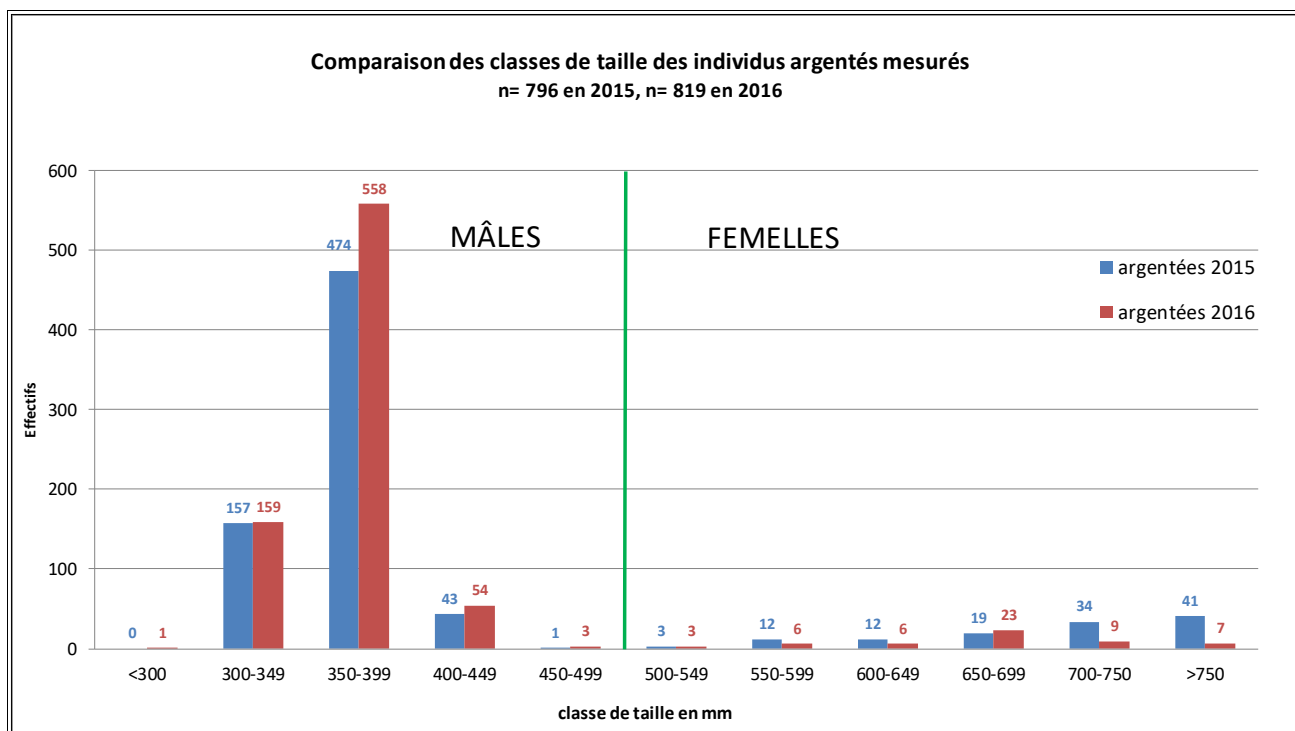


Figure 90 : comparaison des classes de taille des individus argentés mesurés entre 2015 et 2016

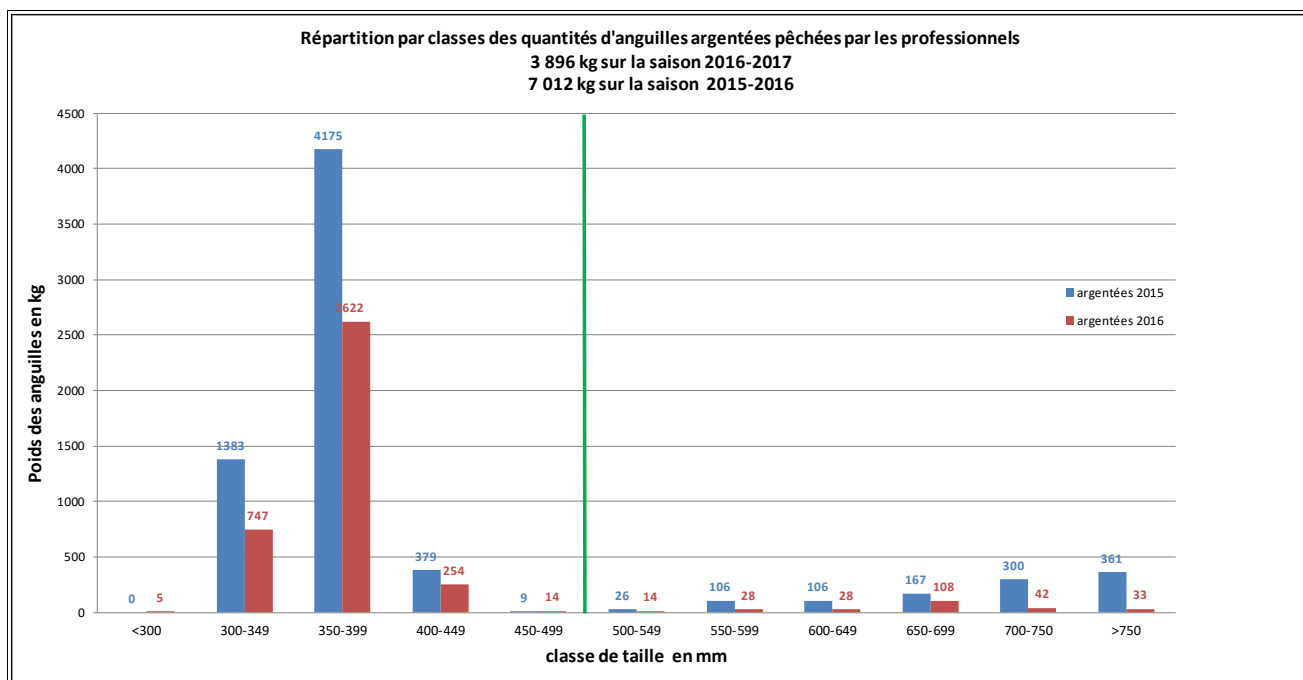


Figure 91 : comparaison des classes de taille des individus argentés pêchés entre 2015 et 2016

## - Résultats -

### 3.1.5.7 Relation taille poids

Les relations taille-poids entre les deux années sont très proches ce qui signifie qu'il n'y a pas de changement notable entre les deux années et donc que les individus d'une taille donnée ont un poids identique dans le cas présent d'une année à l'autre. Une différence sur ce type de paramètre pourrait indiquer des problèmes trophiques.

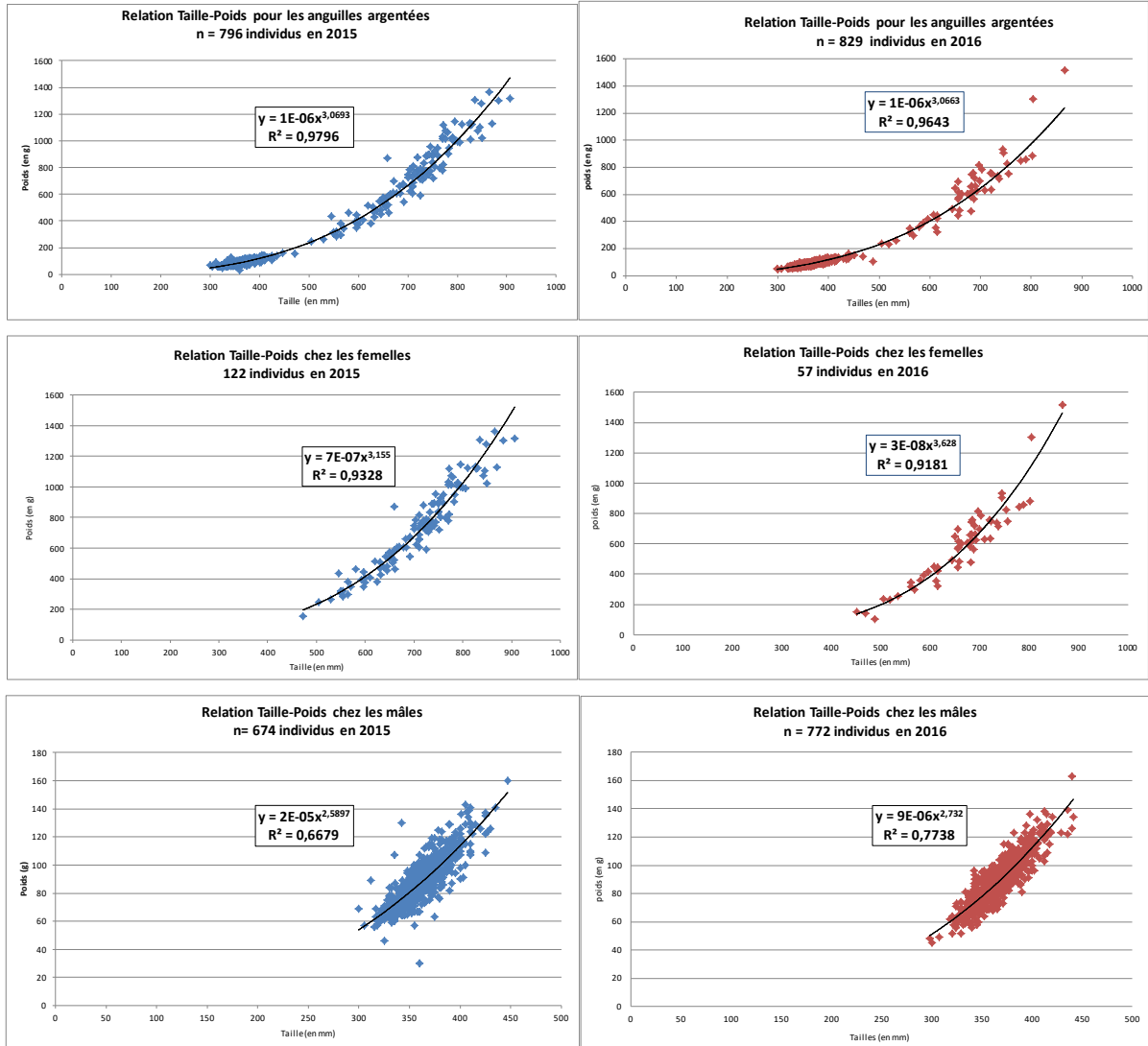


Figure 92 : comparaison des relations taille/poids pour les individus argentés, mâles et femelles entre les années 2015 et 2016 (en bleu 2015 et rouge 2016)

**- Résultats -**

**3.1.5.8 Qualité externe des géniteurs (pathologie externe)**

L'état pathologique externe des anguilles entre les deux années est relativement proche avec un indice pathologique de 1.23 qui représente un état de santé « dégradé » en 2015 et un indice pathologique de 1.96 qui représente un état de santé « mauvais » en 2016. Cela est visible également à partir du pourcentage d'individus sains, 19% en 2015 et seulement 7% en 2016. La principale différence provient du nombre d'érosions cutanées observées (qui peuvent être liées à la méthode de capture et aux conditions météorologiques rencontrées en 2016 (températures plus élevées) qui pourraient expliquer que les anguilles capturées dans les engins cherchent plus à sortir des engins. A noter également une prévalence plus importante de parasites en 2016 (codage PX).

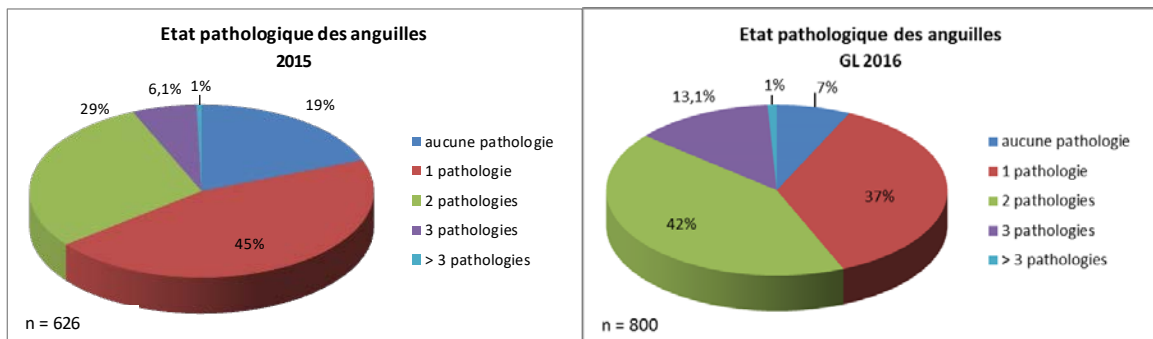


Figure 93 : Comparaison de la Qualité des géniteurs vis-à-vis des lésions externes (biométrie réalisé sur les individus destinés aux marquages)

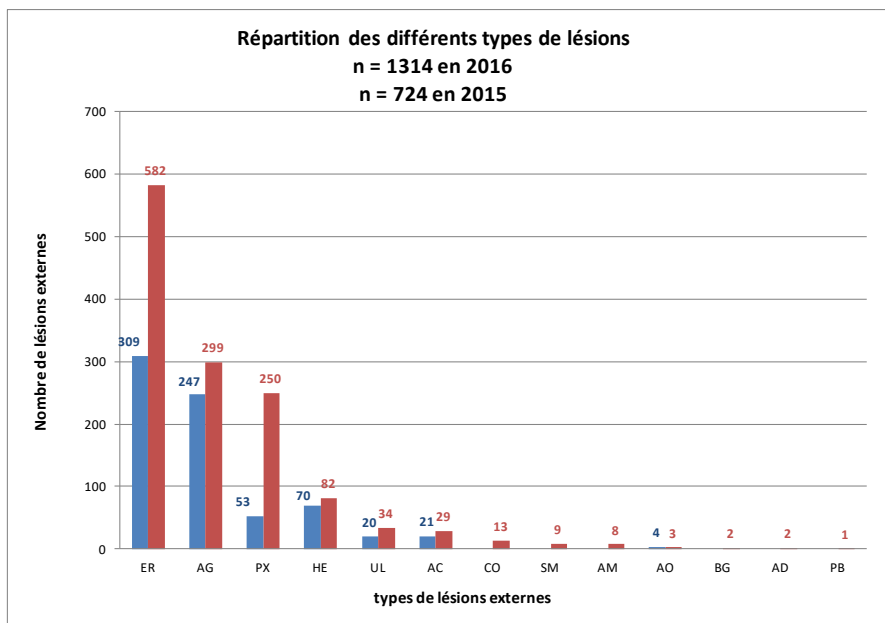


Figure 94 : Comparaison des différents types de lésions observées entre 2015 et 2016

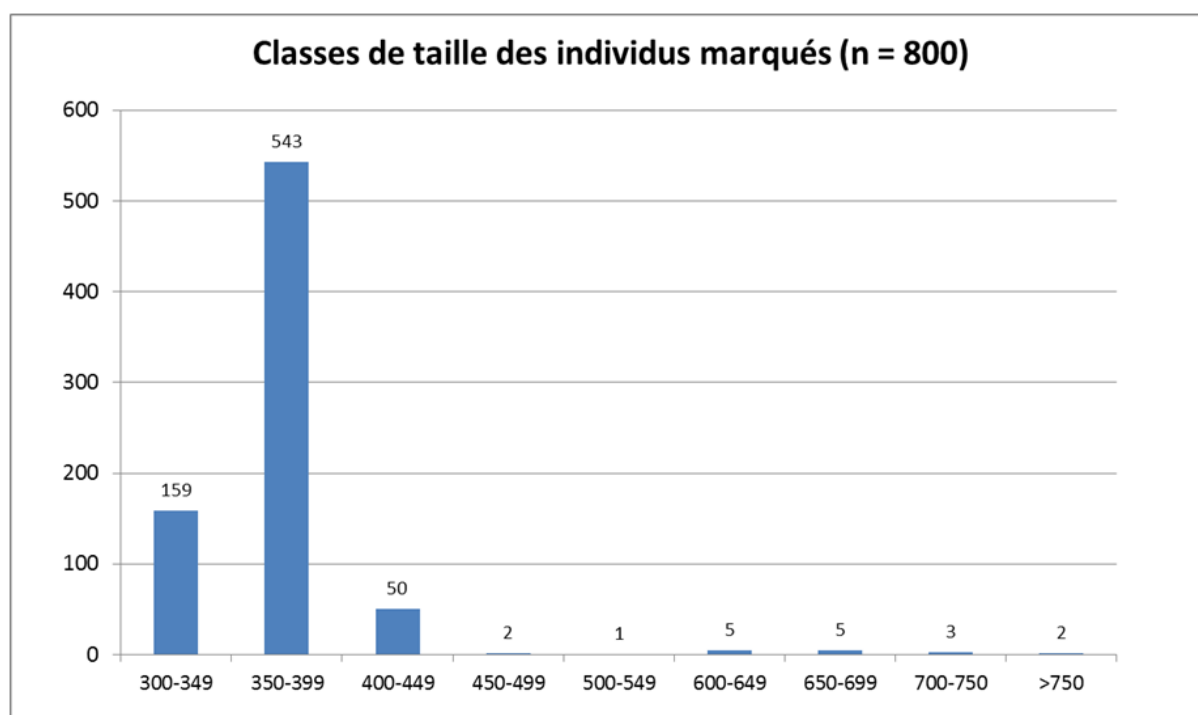
## 3.2 Capture Marquage Recapture aux PIT-Tags

### 3.2.1 Caractéristiques des individus marqués

Lors de la campagne de CMR, 791 anguilles argentées ont été marquées d'un tag unique (PIT-tag). Ces anguilles ont subi une biométrie où la taille, le poids, le taux d'argenture et une analyse des pathologies externes selon le protocole de Beaulaton et Penil ont été relevés. Ainsi la taille et le poids moyen de ces individus étaient respectivement de 375.34 mm (N = 791 ;  $\alpha$  = 59.80) et 105.42 g (N = 791 ;  $\alpha$  = 111.13). Les tailles sont comprises dans l'intervalle [min = 294 ; max = 780] (Tableau 11). La structure en taille des individus marqués montre deux modes, le premier dont le sommet se situe à environ 375 mm caractérise la fraction « mâle » de l'échantillon, et le deuxième dont le sommet se situe aux alentours de 650 mm caractérise la fraction « femelle » de l'échantillon (Figure 95).

**Tableau 11 : Caractéristiques des individus marqués aux PIT-tags et relâchés (les individus vivant à l'issu du test de mortalité et perte de marque ont également été relâchés (N=21))**

Marquage	N total	N mâles	N femelles	Taille				Poids			
				Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
1	200,00	196	4	371,34	47,07	312	700	98,35	70,66	56	649
2	200,00	199	1	364,29	21,75	318	453	89,10	17,39	57	168
3	200,00	194	6	375,49	56,20	317	738	104,38	99,38	54	937
4	170,00	163	7	381,38	64,31	303	758	108,85	112,53	49	870
Test +15J	21,00	16	5	468,29	193,33	325	858	310,33	427,14	64	1276
<b>Total Général</b>	<b>791</b>	<b>768</b>	<b>23</b>	<b>375,34</b>	<b>59,80</b>	<b>303</b>	<b>858</b>	<b>105,42</b>	<b>111,13</b>	<b>49</b>	<b>1276</b>



**Figure 95 : Répartition des individus marqués en classes de taille**

## - Résultats -

L'échantillon se caractérise, en termes de genre, par la présence de 23 femelles pour 768 mâles ce qui fait une proportion de femelles de moins de 3 %. Dans le cadre de cette étude, il est possible d'y ajouter les 52 femelles et les 30 mâles marqués dans le cadre du suivi acoustique par le MNHN. Ainsi, il a été relâché 75 femelles pour 798 mâles soit une proportion de femelles de 8.6 %. Cette proportion est représentative de la fraction exploitée. En effet, la proportion de femelle fut en moyenne de 7 % (N = 829 ; min = 1.6 % ; max = 29.7 %). Ce calcul est basé sur les 829 individus argentés ayant subi une biométrie.

### 3.2.2 Test de perte de marque et de mortalité

Tout d'abord, sur les 30 anguilles marquées, aucune perte de marque n'a été observée après les 15 jours de test *in situ*. Pour ce qui est de la mortalité, 10 anguilles du lot « témoin » et 9 anguilles du lot « marqué » ont été retrouvées mortes. Il a été conclu, à la vue de ces résultats, qu'il n'y avait pas d'effet significatif du marquage sur la survie des individus marqués

→ Test Fisher ( $N_{\text{échantillon}} < 30$ )

$H_0$  : témoin = marqué

$H_1$  : témoin  $\neq$  marqué

$P_{\text{valeur}} > 5\%$  donc non rejet de  $H_0$

Tableau 12 : Comparaisons des caractéristiques morphologiques des individus issus du lot « marqué » et du lot « témoin »

Type	Nombre			Taille (mm)				Poids (g)			
	Total	Mâles	Femelles	Moyenne	Ecart-type	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Marqués	30	25	5	435,30	168,95	323	858	241,37	370,67	62	1276
Témoins	30	25	5	433,80	126,13	328	758	193,83	224,87	64	810
Total général	60	50	10	434,55	147,81	323	858	217,60	304,90	62	1276

Les tests de perte de marque et de mortalité ont été réalisés en plaçant chacun des lots dans une couve à l'intérieur des viviers des pêcheurs professionnels disposés sur le plan d'eau pour se placer dans les conditions les plus proches possibles du milieu étudié (température, qualité d'eau, ...)

Ce type de test met en lumière un problème de mortalité des anguilles sur le plan d'eau, sans doute lié à la qualité d'eau elle-même (température, taux d'oxygène, ...). Les paramètres pouvant avoir une incidence sur la mortalité sont sans doute à mettre en relation avec les niveaux d'eau historiquement très bas cette année.

- Résultats -



Figure 96 : Couve utilisée par les pêcheurs professionnels pour stocker les anguilles sur le lac de Grand Lieu (FISH PASS)



Figure 97 : Photographies des anguilles morte durant le test de rétention de marque (A gauche : présence d'une infection, A droite présence d'une nécrose au point d'insertion) (FISH PASS)

## - Résultats -

### 3.2.3 Partie recapture

Sur toute la durée de la saison de pêche professionnelle, 98 anguilles ont été recapturées.

**Sur la base de 98 recaptures sur les 791 individus déversés marqués, le taux de recapture observé pour cette saison 2016/2017 est de 12.4 %.** Les recaptures se sont effectuées de manière assez hétérogène. En effet, l'essentiel des recaptures a eu lieu au cours des semaines 46 et 47, toutefois quelques recaptures ont eu lieu tout au long de la saison de pêche. La cinétique des recaptures est présentée dans la Figure 98. Il faut noter que seulement 2 recaptures proviennent de la quatrième session de marquage. A partir de ce marquage, les captures des pêcheurs ont nettement diminué. Hormis le 4<sup>ème</sup> lot, chaque marquage compte au moins 28 recaptures. En effet, les lots 1, 2 et 3 comptabilisent 37, 31, 28 recaptures. Les recaptures ont été assez ponctuelles pour l'ensemble des lots.

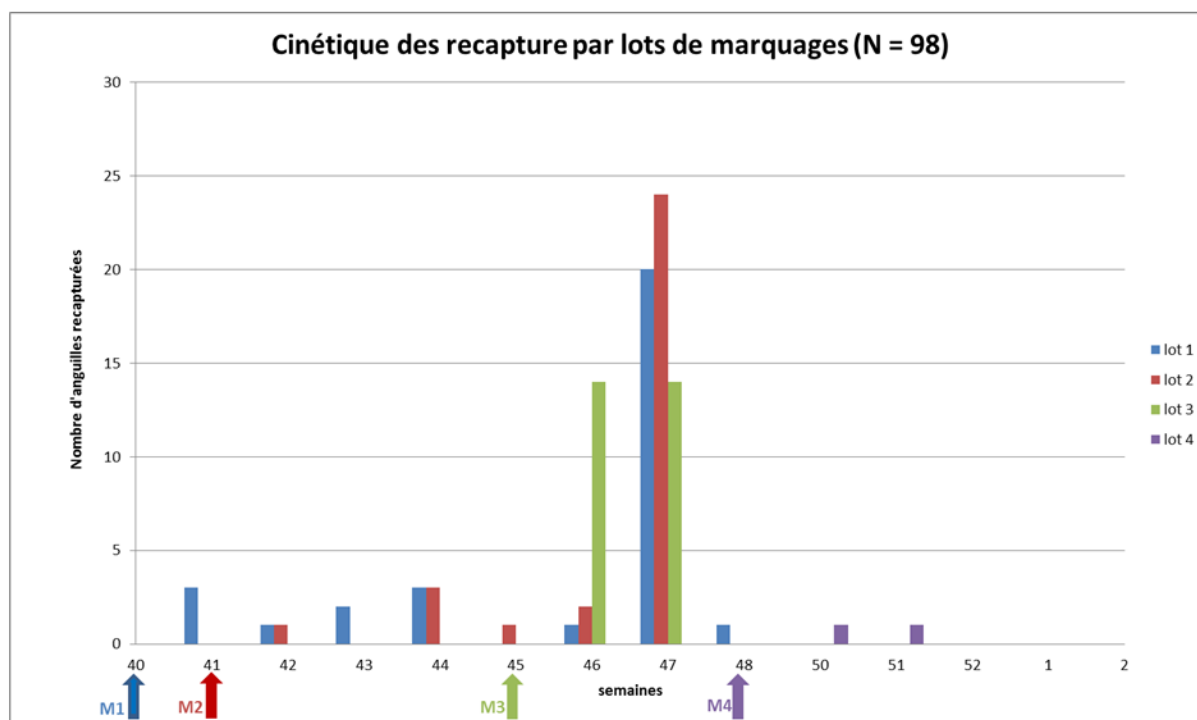


Figure 98 : Représentation de la cinétique des recaptures des anguilles marquées aux PIT-tags lors des quatre séances de marquage (M1 à M4)

## - Résultats -

### 3.2.4 Estimation des taux d'échappement et d'exploitation sur les anguilles du lac de Grand-Lieu

Parmi les 791 anguilles marquées, 98 ont été recapturées (12.39 %) entre le 1<sup>er</sup> octobre 2016 et le 15 janvier 2017 (Tableau 13). Les captures totales d'anguilles de la pêche sur cette période ont été de 3896 kg. Ce qui représente environ 30735 individus (Tableau 13).

Tableau 13 : Tableau de synthèse des captures par sexe sur la saison de pêche 2016-2017

Semaine (Num)	Poids TOT PECHE (g)	Poids moy MALES (g)	Poids moy FEMELLES (g)	% MALES (g)	% FEMELLES (g)	Poids MALES PECHE (g)	Poids FEMELLES PECHE (g)	NB MALES PECHE	NB FEMELLES PECHE	NB TOT PECHE
37	0	94,97	383,00	0,90	0,10	0	0	0	0	0
38	0	89,77	536,50	0,86	0,14	0	0	0	0	0
39	0	92,28	104,00	0,98	0,02	0	0	0	0	0
40	310483	92,84	541,67	0,77	0,23	237442	72941	2559	6	2559
41	215955	94,50	670,67	0,66	0,34	143308	72647	1516	108	1625
42	118907	86,79	235,00	0,91	0,09	108754	10154	1253	43	1296
43	428353	103,71	666,33	0,76	0,24	326766	101587	3151	152	3303
44	385657	92,91	745,67	0,59	0,41	227143	158514	2445	213	2657
45	66067	89,23	541,55	0,28	0,72	18518	47549	208	88	295
46	412774	84,28	693,75	0,58	0,42	243201	174073	2886	251	3136
47	1720809	90,10	1017,00	0,69	0,31	1200963	528126	13329	519	13848
48	111706	87,74	231,00	0,93	0,07	103677	8029	1182	35	1216
49	19598	87,74	231,00	0,93	0,07	18189	1409	207	6	213
50	13200	90,64	825,00	0,55	0,45	7223	5977	80	7	87
51	15717	82,10	635,67	0,47	0,53	7462	8255	91	13	104
52	26928	84,07	502,44	0,58	0,42	15594	11335	185	23	208
1	22050	79,00	647,00	0,27	0,73	5912	16138	75	25	100
2	15036	83,43	588,67	0,40	0,60	5986	9050	72	15	87
<b>TOTAL</b>	<b>3896020</b>					<b>2670237</b>	<b>1225784</b>	<b>29237</b>	<b>1490</b>	<b>30735</b>

Tableau 14 : Récapitulatif des recaptures hebdomadaires d'individus marqués aux PIT-tags selon leurs lots de marquage. Table d'entrée du logiciel SPAS calculant une estimation de l'abondance en anguille argentée et le taux d'exploitation

Marquage	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	Semaines	
1	200	6	3	1	2	3	0	1	20	1	0	0	0	0	0	37	
2	200	0	0	1	0	3	1	2	24	0	0	0	0	0	0	31	
3	200	0	0	0	0	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	28	
4	191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	
<b>Total</b>	<b>791</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>58</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>98</b>	
Nombre anguille prélevées		2559	1625	1296	3303	2657	295	3136	13848	1216	213	87	104	208	100	87	<b>30735</b>
Taux recapture	<b>0,12</b>																

D'après les recaptures des individus marqués, la cinétique de ces dernières et la cinétique des captures d'anguilles argentées par la pêche (en nombre), il est possible, grâce au logiciel SPAS, sous certaines hypothèses (pas de perte de marques pendant la durée de l'étude, probabilité de capture indépendante du marquage, probabilité de recapture des anguilles marquées supérieure à 0, population fermée) d'estimer la taille de la population du lac de Grand-Lieu. Cette estimation est réalisée via l'estimateur groupé de Petersen.

**Il est obtenu une estimation de la production en anguilles argentées sur le lac de Grand-Lieu de 245879 individus pour la saison 2016/2017**

**( $\alpha = 5\%$  ; [200872 - 290886])**

## - Résultats -

L'abondance des anguilles argentées produites dans le lac représente 245879 individus (Tableau 15), soit environ 30 656 kg (7.86 kg/ha) : calcul basé sur un poids moyen de 124,68 g et sur une surface de 3900 ha.

**Le taux d'exploitation est évalué à 12,5 % (0.98 kg/ha), ce qui permet d'estimer un échappement de 87.5 % (6.88 kg/ha) des anguilles argentées par rapport à la production sur la saison 2016/2017**

**Tableau 15 : Synthèse des résultats obtenus grâce au logiciel SPAS**

	N	Erreur standard	Taux d'exploitation (%)	Taux d'échappement (%)
Estimateur groupé de Pétersen	245879 [200872-290886]	22963	12,5 [10,6-15,3]	87,5 [84,7-89,4]

Aux vues des résultats de recaptures, de l'effort de pêche en nette diminution à compter de la date d'exécution du quatrième marquage entraînant une faible probabilité de recaptures des anguilles marquées lors de cette session, la quatrième session de marquage a été exclue de l'analyse (seulement 2 recaptures parmi 191) et une nouvelle estimation a été réalisée.

**Tableau 16 : Récapitulatif des recaptures hebdomadaires d'individus marqués aux PIT-tag selon leurs lots de marquage. Table d'entrée du logiciel SPAS calculant une estimation de l'abondance en anguille argentée et le taux d'exploitation. (Marquage 4 exclus)**

Marquage		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	Semaines
1	200	6	3	1	2	3	0	1	20	1	0	0	0	0	0	0	37
2	200	0	0	1	0	3	1	2	24	0	0	0	0	0	0	0	31
3	200	0	0	0	0	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0	28
<b>Total</b>	<b>600</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>17</b>	<b>58</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>96</b>
Nombre anguille prélevées		2559	1625	1296	3303	2657	295	3136	13848	1216	213	87	104	208	100	87	30735
Taux recapture	<b>0.16</b>																

**Il est obtenu une estimation de la production en anguilles argentées sur le lac de Grand-Lieu de 190429 individus pour la saison 2016/2017. (Marquage 4 exclus)**

**( $\alpha = 5\%$  ; [155957 - 224902])**

L'abondance des anguilles argentées produites dans le lac, représente 190429 individus (Tableau 17), soit environ 23 743 kg (6.14 kg/ha) : calcul basé sur un poids moyen de 124,68 g et sur une surface de 3900 ha.

**Le taux d'exploitation est évalué à 16,14 % (0.99 kg/ha), ce qui permet d'estimer un échappement de 83,86 % (5,15 kg/ha) des anguilles argentées par rapport à la production sur la saison 2016/2017**

## - Résultats -

**Tableau 17 : Synthèse des résultats obtenus pour la saison 2016/17 grâce au logiciel SPAS**

	N	Erreur standard	Taux d'exploitation (%)	Taux d'échappement (%)
Estimateur groupé de Pétersen	190429,26 [155956,93-224901,59]	17587,92	16,14 [13,67-19,71]	83,86 [80,29-86,33]

### 3.2.5 Comparaison saison 2015-2016 et 2016-2017

#### 3.2.5.1 Caractéristiques des individus marqués

En 2015, comme en 2016, les classes de tailles correspondant aux individus femelles (450 mm et plus) sont très faiblement marquées car très peu présentes dans les captures. Sur les deux campagnes de suivi c'est la classe de tailles [350-399] qui est largement majoritaire.

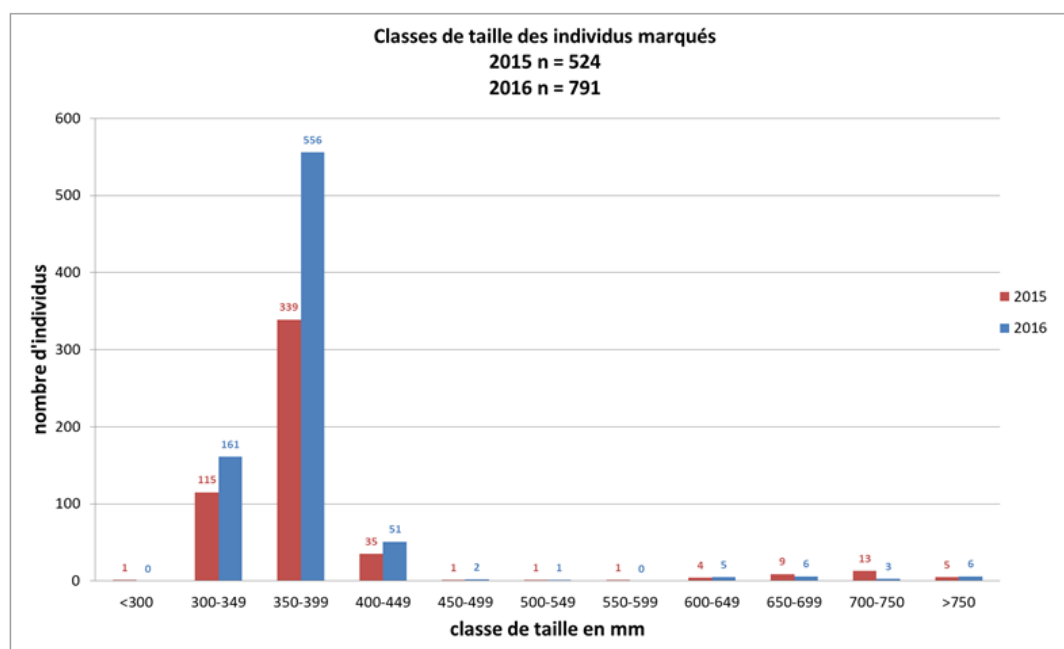


Figure 99 : Comparaison des classes de tailles des individus marqués au PIT TAG entre 2015 et 2016

#### 3.2.5.2 Test de pertes de marque et de mortalité

Lors des deux années un test de perte de marque et de mortalité à 15 jours a été réalisé, il n'y a pas eu de perte de marque dans les deux cas. La mortalité observée tient sans doute à la médiocre qualité de l'eau dans laquelle les anguilles ont été stockées (milieu relativement dégradé avec une forte suspicion d'anoxie et des anguilles conservées qui ne peuvent donc pas fuir la zone). Dans tous les cas il n'y a pas de différence significative en les lots témoins et les lots marqués.

**Tableau 18 : Comparaison des tests de perte de marque et de mortalité (PIT TAG) entre 2015 et 2016**

	Nb marquées	Nb non marquées	Nb mortes marquées	Nb mortes non marquées	Perte de marque
2015	30	30	3	2	0
2016	30	30	9	10	0

## - Résultats -

### 3.2.5.3 Taux d'échappement / Taux d'exploitation

Les deux opérations de CMR ont permis l'évaluation du niveau de production, d'exploitation et d'échappement en anguilles argentées. Bien que les valeurs pour 2016 soient légèrement plus faibles (estimation corrigée) celles-ci restent dans l'intervalle des valeurs obtenues en 2015.

- 2015-2016

	N	Erreur standard	Taux d'exploitation (%)	Taux d'échappement (%)
Estimateur groupé de Petersen	213387 [177310 - 249463]	18406	20,2 [17,3 - 24,3]	79,8 [75,7 - 82,7]

- 2016-2017

	N	Erreur standard	Taux d'exploitation (%)	Taux d'échappement (%)
Estimateur groupé de Pétersen	245879 [200872-290886]	22963	12,5 [10,6-15,3]	87,5 [84,7-89,4]

- 2016-2017 « corrigée »

	N	Erreur standard	Taux d'exploitation (%)	Taux d'échappement (%)
Estimateur groupé de Pétersen	190429,26 [155956,93-224901,59]	17587,92	16,14 [13,67-19,71]	83,86 [80,29-86,33]

## 3.3 Suivi acoustique

### 3.3.1 Le taux d'échappement

Un réseau dense de 3 hydrophones très proches les uns des autres à l'aval du vannage de Bouaye (au sein de l'Acheneau), permet d'assurer la détection de chaque anguille (voir Figure 49). Ces 3 hydrophones n'ont été retirés du réseau que le 28 août 2017.

A la fin du suivi seulement 14 anguilles ont réussi à quitter le lac, soit seulement 17 % des anguilles marquées (sur 82 au total). Parmi elles, 12 femelles (soit 23%) et seulement 2 mâles (6.7%). Si l'on pondère par la répartition des sexes observées de la population d'anguille argentée du lac, soit 7 % de femelles pour 93 % de mâles, le taux d'échappement des anguilles argentées du lac s'élève en réalité à 7,84 %.

Sur une population totale estimée à 190 000 individus, seulement 15 000 anguilles argentées réussissent à quitter le lac.

#### 3.3.1.1 Les voies empruntées et les impacts de la gestion du vannage

## - Résultats -

- *Le vannage de Bouaye*

Parmi les 14 anguilles qui ont quitté le lac, 4 d'entre elles ont franchi le vannage de Bouaye par surverse. En effet, à partir du 28 février 2017, il y a eu une surverse sur la vanne centrale. Cette vanne était alors 10 cm sous le niveau des autres vannes engendrant alors un écoulement d'eau du lac vers l'Acheneau par surverse. Lors de cette surverse du 28 février jusqu'à l'ouverture des vannes le 6 mars, 2 anguilles ont franchi le vannage par cette vanne.

Ensuite, une ouverture de vanne de 50cm a permis le passage de 6 anguilles du 07 au 10 mars. La vanne a été refermée ensuite du 11 au 14 mars pour garder un maximum d'eau dans le lac, ce qui a poussé 2 autres anguilles à franchir le vannage à nouveau par surverse sur la vanne centrale.

Les vannes ont ensuite été ré-ouvertes progressivement jusqu'au 22 mai. Durant cette période d'ouverture, seulement 2 anguilles ont franchi les vannes pour quitter le lac le 24 mars puis le 02 avril respectivement.

- *Le seuil de Maison Blanche*

Deux anguilles sont sorties du lac de Grand-Lieu en empruntant le seuil de Maison Blanche au cours des nuits du 10 au 11 et du 11 au 12 mars. Cet échappement intervient après l'appel d'eau créé pendant 4 jours par l'ouverture de 50 cm du vannage de Bouaye suivie par la fermeture de cette dernière. Le seuil de Maison Blanche était alors la seule voie possible d'échappement.

**Au cours la saison 2016/2017, 3 voies d'échappement différentes ont été observées : sous la vanne centrale (57 %) ou par surverse (29 %) du vannage de Bouaye et par surverse du seuil de Maison Blanche (14 %). A noter que 30 % (6/20) des individus qui se sont présentés devant le vannage de Bouaye n'ont pas réussi à franchir l'ouvrage.**

- *Impact de la gestion des vannes sur l'échappement*

La Figure 100 résume la relation entre la gestion du vannage de Bouaye et l'échappement des anguilles argentées. On retrouve les deux premières anguilles sorties par surverse avant l'ouverture des vannes au moment où le niveau d'eau du lac commence à augmenter (04 et 05/03/17). Ensuite, lors de la première ouverture des vannes, 6 anguilles vont en profiter pour quitter le lac. Puis, à nouveau 2 anguilles vont passer par surverse. Un peu plus tard, 2 anguilles s'échapperont du lac par le seuil de Maison Blanche. Une réouverture massive des vannes à partir du 15/03/17 dont l'objectif est de faire baisser le niveau d'eau du lac n'engendrera que 2 échappements supplémentaires par le vannage, puis plus aucun échappement ne sera observé au cours de cette étude.

**- Résultats -**

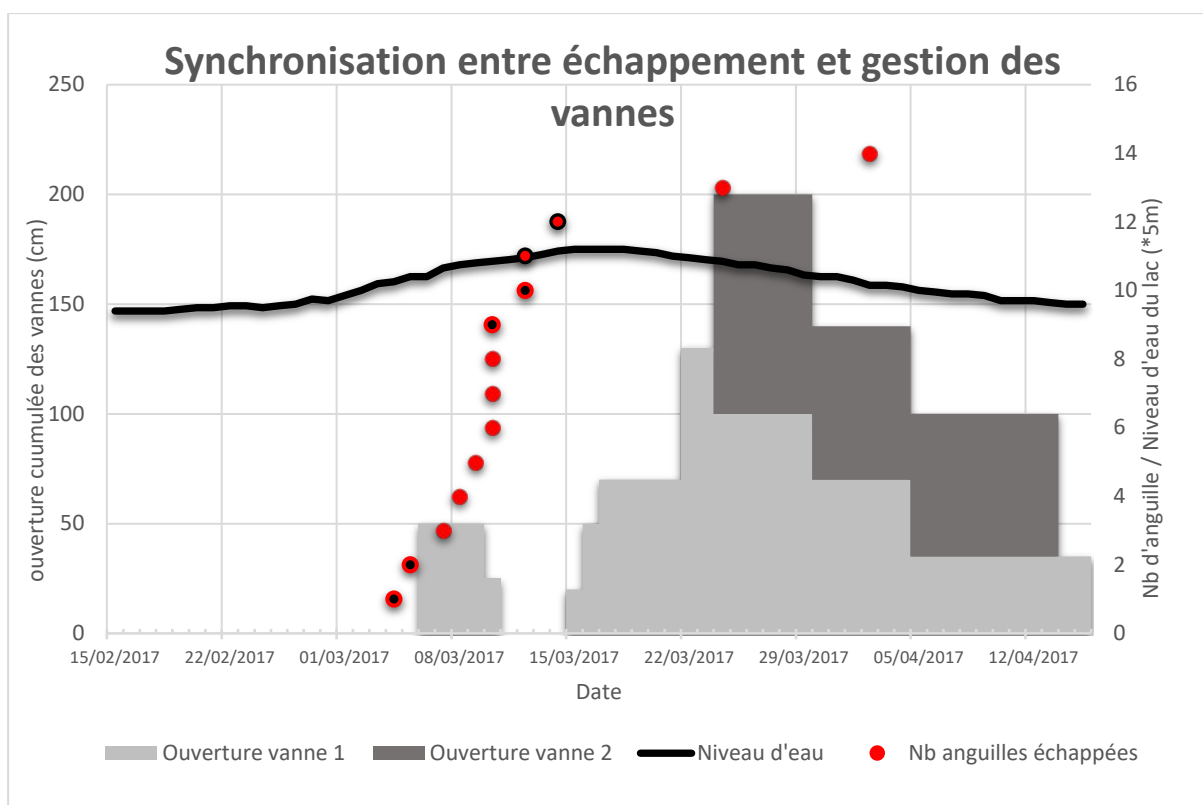


Figure 100 : Synchronisation entre échappement au lac et gestion des vannes (3 voies de passages : centre noir = surverse ; centre rouge = maison blanche ; rouge plein = sous les vannes)

L'échappement a principalement lieu en phase montante du niveau d'eau du lac (86%) alors que l'ouverture cumulée des vannes est encore faible (50 cm). L'ouverture massive (200 cm) semble inefficace car trop tardive. Il semble fondamental qu'une ouverture significative des vannes soit synchronisée avec l'augmentation des niveaux d'eau pour permettre à un maximum d'anguilles argentées de s'échapper.

## - Résultats -

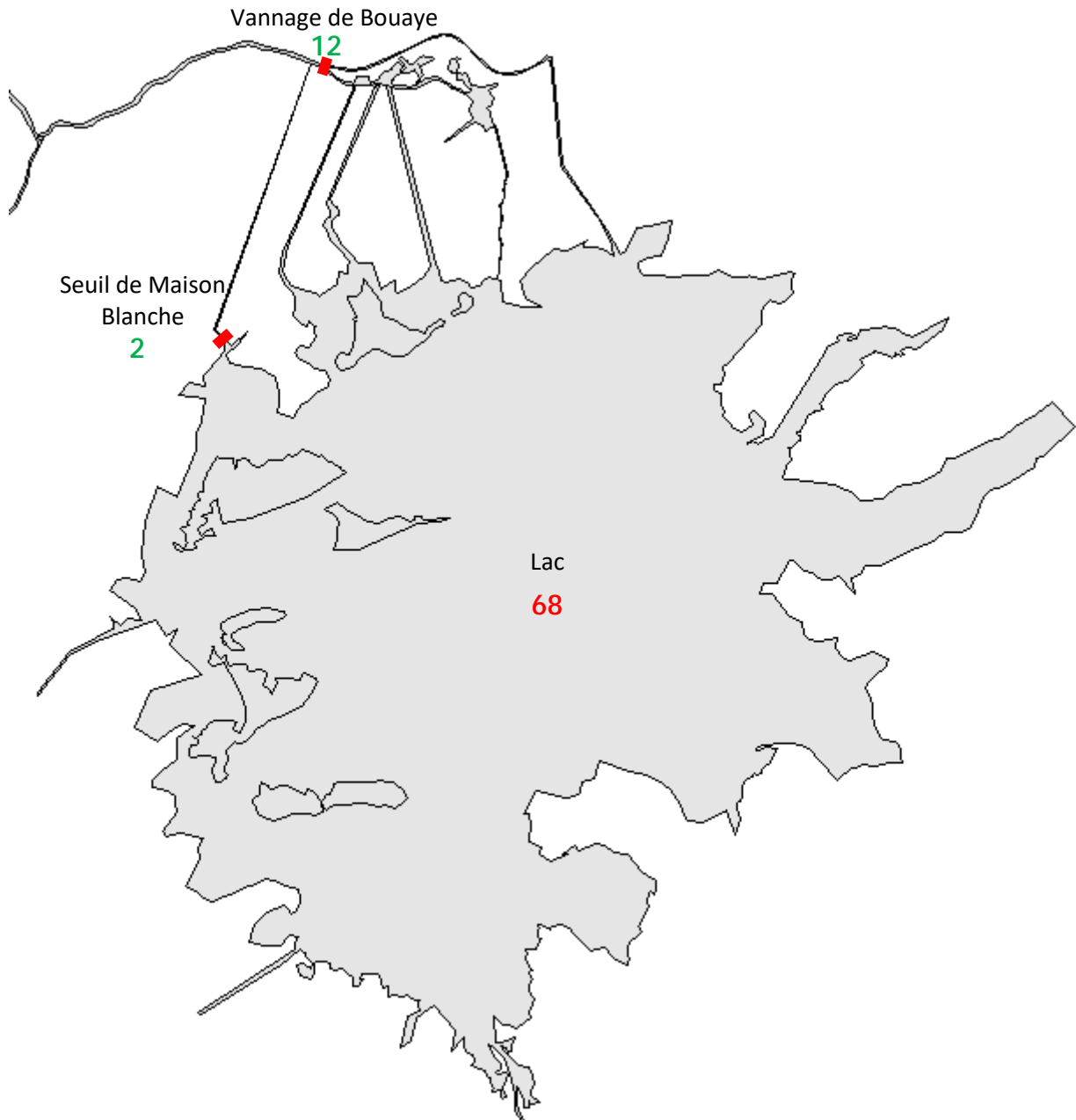


Figure 101 : Nb anguilles ayant quitté le lac (vert) et étant resté dans le lac (rouge)

### 3.3.1.2 Les facteurs déclencheurs de la migration

3 modèles ont été réalisés afin d'obtenir pour chacun les variables environnementales qui favorisent le passage d'une zone à l'autre. Au total, 3 modèles ont été réalisés pour modéliser les passages du lac vers les canaux, des canaux vers le pied du vannage et du vannage vers l'Acheneau. La température de l'air et de l'eau, la pression, la vitesse et la direction du vent, le niveau d'eau du lac et son delta journalier, ainsi que l'ouverture des vannes du vannage de Bouaye ont été testés dans ces modèles.

- Modèle 1 : passage entre la zone centrale du lac et les différents canaux

## - Résultats -

Le modèle 1 vise à modéliser le passage de la zone centrale du lac aux différents canaux en fonction des paramètres environnementaux. Ce modèle explique 85,9 % (soit une 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. Parmi les variables environnementales sélectionnées, 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 102). Ainsi, d'après ce modèle, un niveau d'eau du lac 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.

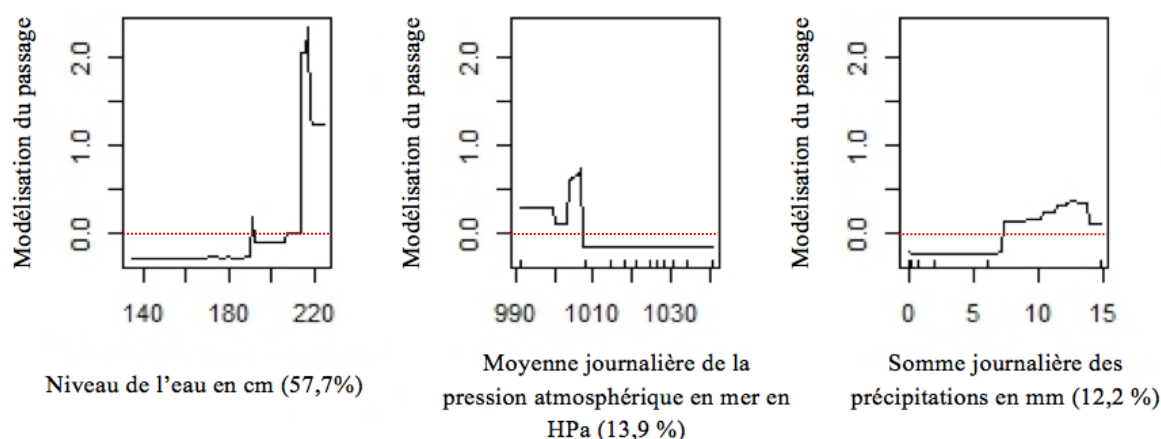


Figure 102 : Résultats des BRT pour la modélisation du passage de la zone 1 à la zone 2. (Pour chaque variable :  $y > 0$  = variable favorable au passage ;  $y < 0$  = variable non favorable au passage) (tiré de Clairbaux, 2017)

- Modèle 2 : passage entre les canaux et le pied du vannage

Le lien entre le passage des canaux au vannage et les facteurs environnementaux a été étudié dans le second modèle. Il explique 88,7 % de ce passage et a une corrélation de 21% et un score à l'AUC de 0,809. Le niveau de l'eau et la pression atmosphérique contribuent respectivement à 54,6% et 21,9% de la prédiction du passage considéré (Figure 103). Un niveau d'eau supérieur à 210 cm et une pression atmosphérique inférieure à 1000 HPa sont deux facteurs qui favorisent significativement le passage des anguilles argentées entre les canaux et le vannage de Bouaye.

## - Résultats -

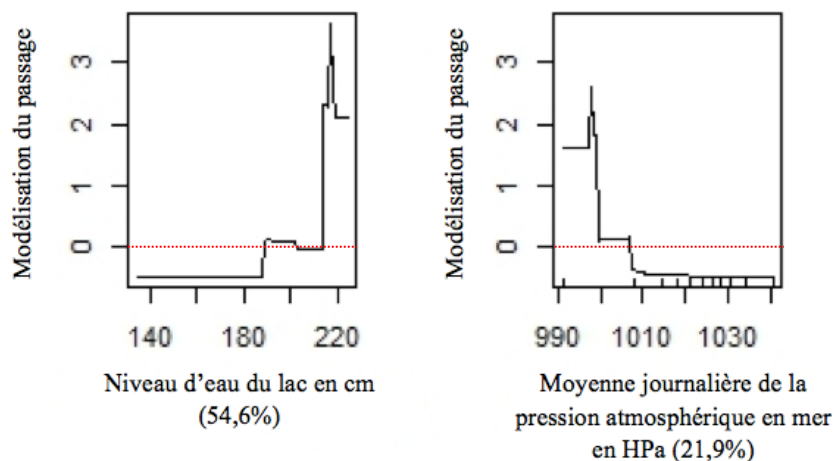


Figure 103 : Résultats BRT pour la modélisation du passage de la zone 2 à la zone 3. (Pour chaque variable :  $y > 0$  = variable favorable au passage :  $y < 0$  = variable non favorable au passage) (tiré de Clairbaux, 2017)

- Modèle 3 : passage entre le pied du vannage et l'Acheneau

Enfin, les facteurs environnementaux entraînant le franchissement du vannage par les anguilles argentées ont été abordés lors d'un dernier modèle. Le modèle explique 96% de ce dernier passage. La corrélation est de 34% et l'AUC de 0,919. Le niveau de l'eau et la vitesse du vent contribuent respectivement à 62,9% et 19,1% du modèle (Figure 104). Les conditions entraînant le franchissement du vannage sont un niveau d'eau supérieur à 200 cm et un vent dont la vitesse serait inférieure à 3 m/s.

A noter que l'ouverture cumulée des vannes n'explique pas la probabilité de passage vers l'Acheneau, probablement parce qu'une part importante de l'échappement est réalisée par surverse quand les vannes sont fermées et/ou faiblement ouvertes.

## - Résultats -

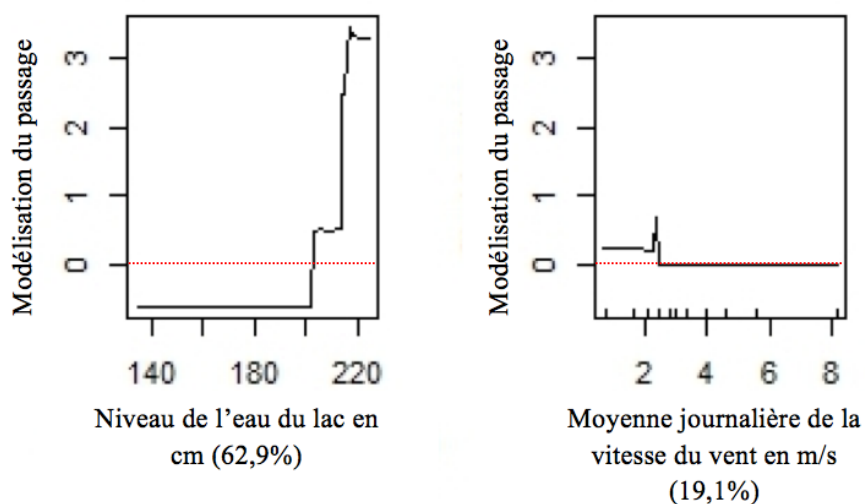


Figure 104 : Résultats BRT pour la modélisation du passage de la zone 3 à la zone 4. (Pour chaque variable :  $y > 0$  = variable favorable au passage :  $y < 0$  = variable non favorable au passage) (tiré de Clairbaux, 2017)

Un niveau d'eau du lac supérieur à 2 mètres est le facteur déclencheur principal dans les 3 modèles facilitant notamment le passage du lac vers les canaux mais également le franchissement de l'ouvrage.

### 3.3.2 Taux d'exploitation

L'insertion de PIT Tags lors de la pose de l'émetteur acoustique au sein de la cavité générale de l'anguille, associé au suivi de la pêche grâce au lecteur PIT Tags installés sur les navires des pêcheurs, a permis de déterminer un taux d'exploitation par la pêche de la fraction d'anguilles argentées marquées.

Au total, entre l'ouverture de la pêche le 1<sup>er</sup> octobre 2016 et sa fermeture le 15 janvier 2017, 18 anguilles marquées ont été pêchées. Soit un taux d'exploitation de 22 %. 12 d'entre elles sont des femelles capturées entre le 09/11/2016 et le 14/01/2017 (soit 23% de la fraction de femelles marquées) contre 6 mâles du 09/11/2016 au 28/11/2017 (soit 20% de la fraction de mâles marquées).

Quatre anguilles argentées femelles supplémentaires ont été capturées par la pêche anguille jaune (après le 15/01/2017), ce qui porte le taux d'exploitation global à 27 % (31% pour les femelles et 20% pour les mâles).

Cette estimation du taux d'exploitation par la pêche d'anguille argentée est comparable au suivi PIT Tags par CMR (16.14 %).

## - Résultats -

**Le taux d'exploitation des anguilles argentées femelles marquées pour le suivi acoustique lors de cette saison 2016/2017 est de 31 % contre 19.6 % lors de la saison 2015/2016.**

### 3.3.3 Devenir des anguilles au statut inconnu

Au total le devenir de 56 % des anguilles marquées reste inconnu. Rapporté par sexe, ce sont 46 % et 73% des anguilles femelles et mâles respectivement dont le devenir est inconnu. La seule certitude pour ces individus est que leur dernière détection a été réalisée au sein du lac, et qu'ils n'ont pas quitté le lac par le vannage de Bouaye ou le seuil de Maison Blanche. Plusieurs questions se posent pour ces individus. Sont-ils morts ou encore vivants ? Sont-ils sortis du réseau de détection par une autre voie que le vannage ou le seuil de Maison Blanche ?

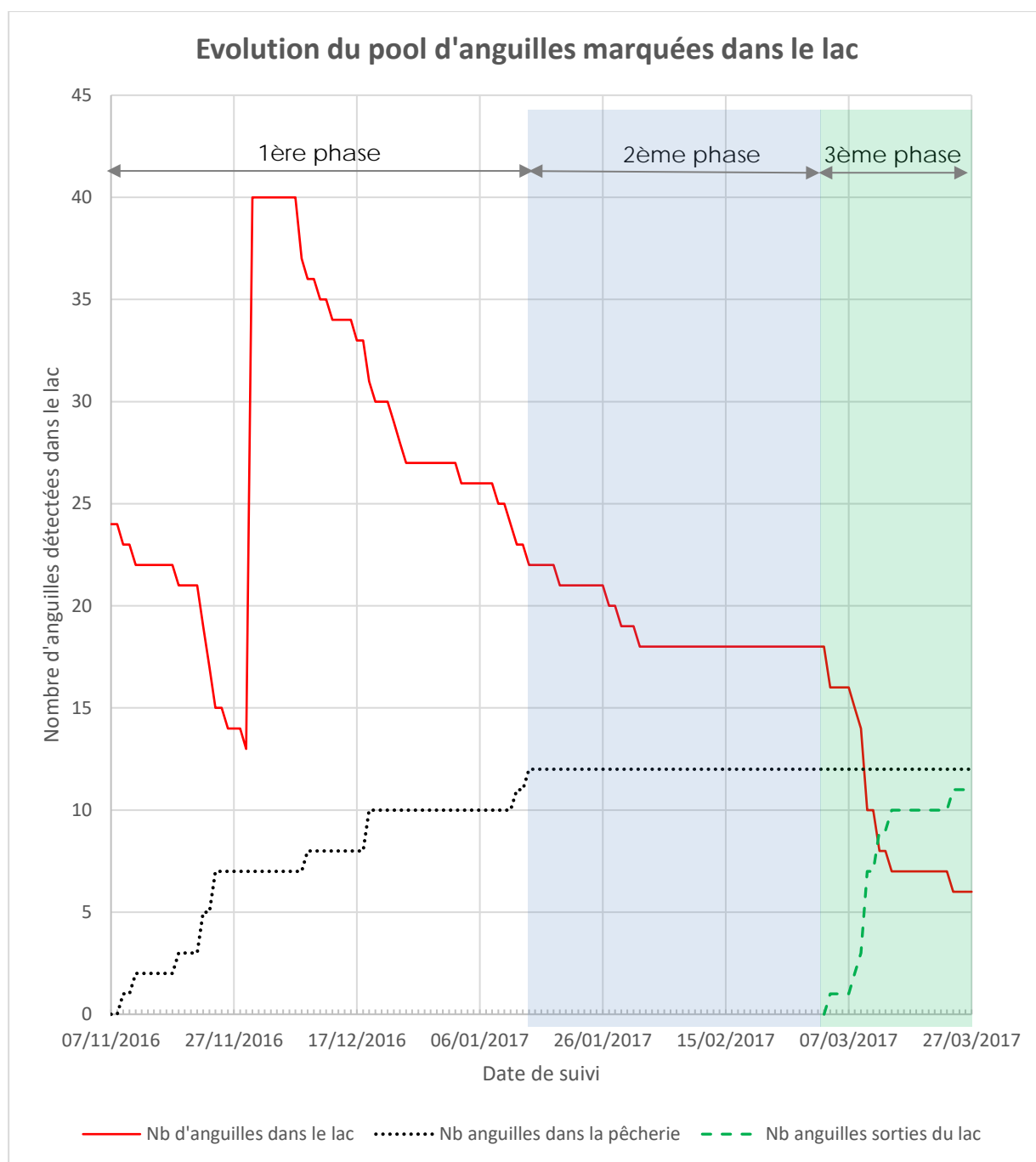
Dans cette partie, seules les trajectoires des anguilles femelles, dont les données de détection sont complètes sur l'ensemble de la période d'étude, sont considérées. En effet les anguilles mâles ont été marquées 1 mois (30/09/2016) avant que le réseau d'hydrophones ne soit finalisé (28/10/2016). De plus, les émetteurs utilisés pour les anguilles mâles présentaient une autonomie insuffisante de 5 mois pour couvrir la période entre leur marquage et leur période probable d'échappement liée à l'ouverture des vannes (début mars 2017). Pour ces raisons, des anguilles mâles ont pu s'échapper sans qu'ils aient été détectés par le réseau.

#### 3.3.3.1 Cinétique du taux de disparition

Lorsqu'une anguille n'est plus détectée par un ou plusieurs hydrophones, cela peut signifier plusieurs choses : soit elle est encore dans le réseau d'hydrophones mais dans un endroit où elle n'est pas détectée (abri avec végétation) et probablement immobile (un individu mobile a de grandes chances d'être détecté par un ou plusieurs hydrophones). Soit elle est sortie du réseau d'hydrophones par d'autres voies que celles du vannage de Bouaye et celle de Maison Blanche : remontée de l'Ognon ou de la Boulogne, prédation aviaire (Héron, Cormoran), ou encore non-détection des anguilles marquées lors de leur prélèvement par la pêche.

Le statut (mort ou vivant) des anguilles reste quant à lui difficile à déterminer sur la base des détections. Mais *a priori* une anguille morte dans le réseau continue à émettre si elle est dans une zone couverte et si les batteries le permettent.

## - Résultats -



**Figure 105 : Evolution de la population d'anguilles argentées femelles au sein du lac au cours du temps**

Lors de cette saison 2016/2017, il y a eu deux sessions de marquage. L'une le 07/11/2016 où 24 anguilles argentées femelles ont été marquées, puis le 28/11/2016 avec 28 femelles marquées.

La Figure 105 met en évidence 3 phases dans l'évolution du pool d'anguilles femelles marquées au cours du temps. La première phase correspond à une décroissance du nombre d'anguilles détectées dans le lac dû à la pression de pêche. Mais ce n'est pas l'unique cause, il y a plus d'anguilles à disparaître du réseau (30 anguilles) qu'à être pêchée (12 anguilles).

## - Résultats -

Ensuite, lors de la seconde phase, il n'y a plus de pêche. La disparition des anguilles est indépendante de la pêche (4 pertes de détection).

Dans la troisième phase, les anguilles vont réussir à quitter le lac pour rejoindre l'Acheneau puis la mer. On observe alors à partir du 04/03/2017 une forte baisse du nombre d'anguilles encore présentes dans le lac en lien avec le nombre d'anguille qui réussissent à migrer en aval du lac (12 anguilles sur 12).

### 3.3.3.2 Analyse des dernières détections

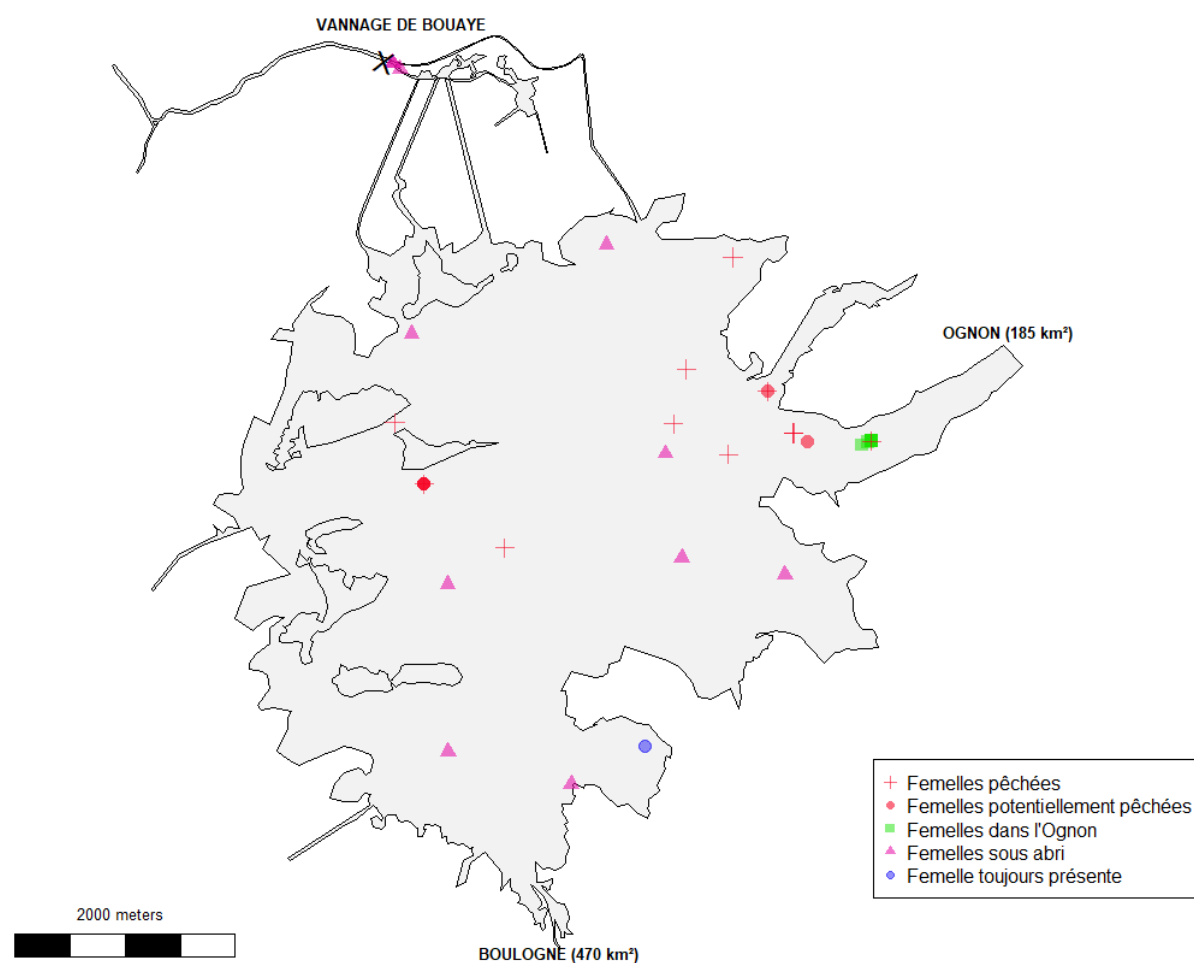


Figure 106 : Représentation des dernières positions connues des 24 anguilles femelles dont le devenir est inconnu (Point foncé = superposition de points).

Grâce à la reconstruction des trajectoires de chaque individu, les dernières positions connues des anguilles peuvent être identifiées. Trois scénaris sont envisagés :

- La remontée de l'Ognon : 7 anguilles femelles (13 %) disparaissent du réseau de détection au niveau des derniers hydrophones situé dans l'Ognon. Pour ces

## - Résultats -

anguilles, une hypothèse probable est qu'elles ont remonté l'Ognon et échappent ainsi aux 'radars' du réseau.

- Le passage dans la pêcherie : 5 anguilles (10 %) disparaissent du réseau à la même position que des anguilles pêchées.
- La disparition sous abri : 10 autres anguilles (19 %) disparaissent au milieu ou en bordure du lac. L'une d'entre elles était encore détectée dans le lac au moment du retrait des hydrophones, tandis que d'autres ont disparu dans les premières semaines après leur relâche.
- La dernière anguille était encore détectée lors du retrait des hydrophones

La Figure 106 montre également qu'il n'y a pas une zone du lac au sein de laquelle les anguilles disparaissent préférentiellement. Toutes les zones du lac sont impactées par ces disparitions du réseau.

### 3.3.3.3 Taux de recapture interannuels

Grâce à la mise en place d'un réseau d'hydrophone réparti dans tout le lac de Grand Lieu afin de connaître le comportement et le devenir des anguilles argentées au sein du lac, quatre anguilles argentées femelles marquées en acoustique lors de la saison 2015/2016 ont été entendues sur ce nouveau réseau d'hydrophones, dans deux zones du lac.

- L'anguille 27, marquée le 25/09/2015, est entendue du 04/12/2016 au 08/01/2017, soit plus de 15 mois après le marquage. Ce qui indique que les émetteurs ayant une durée d'émission théorique de 13 mois peuvent émettre plus longtemps. Il y a eu 44 détections sur 1 seul hydrophone au total. Elle s'est donc très peu déplacée.
- L'anguille 30, marquée le 25/09/2015, est entendue du 21/09/2016 au 21/11/2016, soit 14 mois après le marquage. Au total, elle a été détectée 291 fois sur 2 hydrophones séparés de plus d'1 km. Cette anguille s'est déplacée essentiellement la nuit, ce qui prouve qu'elle était bien vivante au moment de ses détections.
- L'anguille 53, marquée le 20/11/2015, est entendue du 24/09/2016 au 14/02/2017, soit 15 mois après le marquage. Un total de 153 détections sur 1 hydrophone, essentiellement la nuit, montre une activité nocturne typique d'une anguille active.
- L'anguille 61, marquée le 20/11/2015, est entendue du 06/01/2017 au 10/03/2017, soit 16 mois après le marquage. Un total de 50 détections sur 1 hydrophone essentiellement la nuit, montre également l'activité nocturne d'une anguille vivante.

## - Résultats -

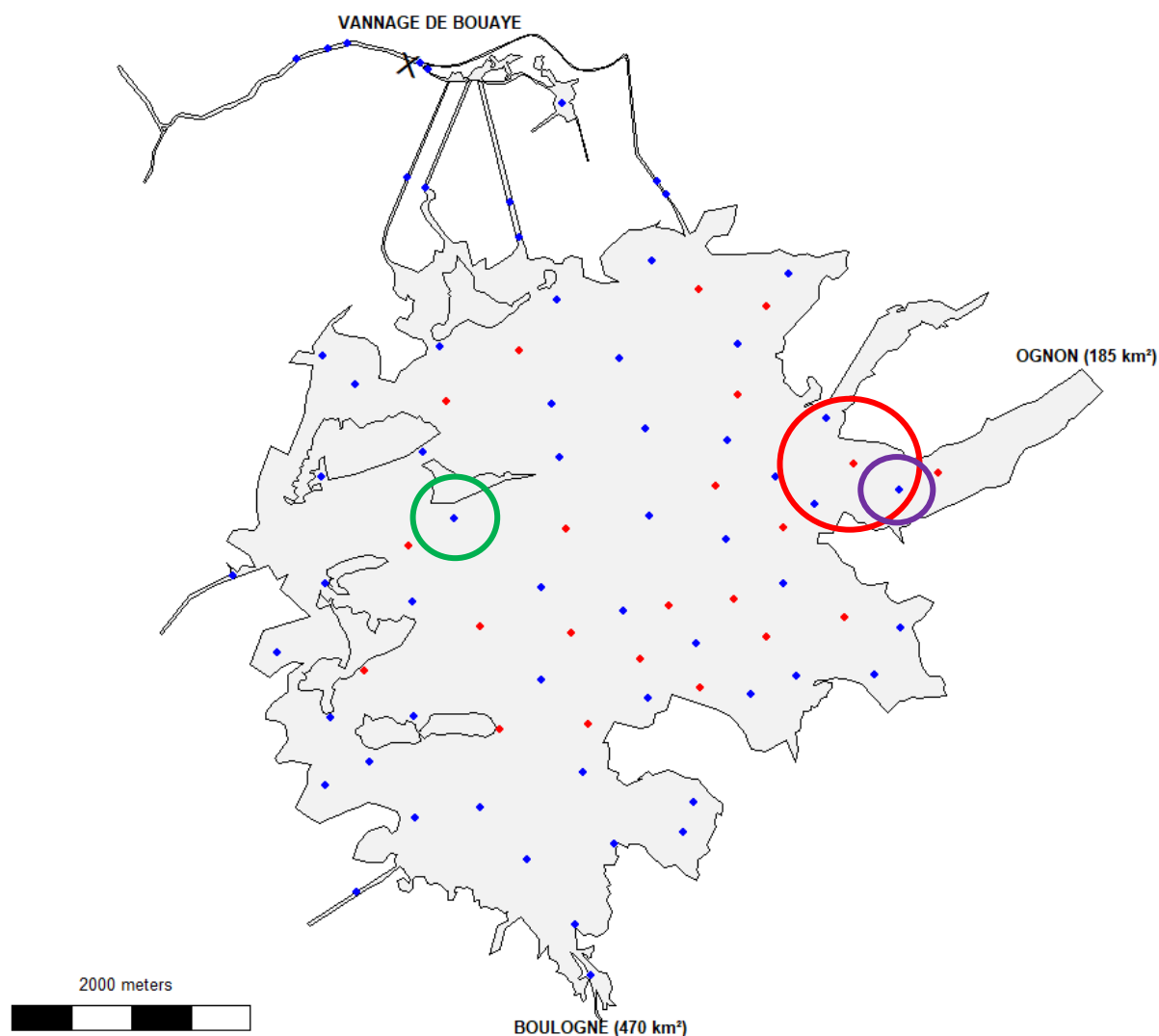


Figure 107 : Représentation des zones de détections des anguilles de la saison 2015/2016. Les points bleus représentent les hydrophones VEMCO qui détecte les anciens émetteurs et les points rouge représente les hydrophones THLEMA qui ne détecte pas les anciens émetteurs (cerle rouge = N°30, cercle violet = N°53, cercle vert = N°27 et N°61)

L'analyse de leur déplacement montre qu'elles réalisent bien des déplacements aléatoires et donc sont très probablement encore en vie. De plus, elles sont détectées essentiellement la nuit, ce qui est caractéristique d'une anguille en déplacement.

Cependant, les émetteurs avec lesquelles elles ont été marquées ne sont pas détectés par tous les hydrophones installés. Leurs déplacements ne sont alors pas tous détectés. De plus, les émetteurs ont été implantés le 25/09/2015 pour les anguilles N° 27 et 30 et le 20/11/2015 pour les anguilles N° 53 et 61, ce qui signifie que la perte de leur détection est probablement due à la fin de vie de l'émetteur. Il est alors impossible de savoir si elles se sont échappées ou non du lac.

## - Résultats -

Deux autres anguilles marquées lors de la saison 2015/2016 (N°45 et N°28) ont été capturées en 2017 par les pêcheurs.

Cependant, aucune anguille marquée au PIT tag lors du marquage de la CMR de la saison 2015/2016 n'a été recapturée par la pêcherie en 2016/2017.

**6 anguilles retrouvées dans le lac un an plus tard grâce à cette nouvelle étude. Soit un taux de recapture de 12 % entre les deux années.**

### 3.3.4 Les comportements au sein du lac : distances cumulées et influences environnementales

#### 3.3.4.1 Le cas des anguilles femelles

La reconstruction complète des trajectoires a permis de déterminer les distances journalières parcourues par chaque anguille.

Tableau 19 : Distance moyenne parcouru par jour pour chaque type d'anguilles femelles marquées (mètres)

	Devenir des anguilles femelles marquées			Total
	Echappées	Prélevées	Restées dans le lac	
<b>N</b>	12	12	28	52
<b>Moyenne +/- ecartype</b>	697.5 +/- 350.5	1944.8 +/- 1243.3	1096.1 +/- 1394.9	1246.1 +/- 1247
<b>Min</b>	130	254	0	0
<b>Max</b>	1319	4565	4824	4824

Les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, Figure 109 et Figure 110 représentent les distances journalières cumulées au cours du temps pour chaque anguille femelle respectivement restées dans le lac, échappées et pêchées. Elles montrent une grande variabilité individuelle en terme de distance parcourue dans chaque cas.

Pour les anguilles qui sont restées dans le lac (Figure 108), différents cas ressortent. Certaines anguilles ne vont parcourir que quelques kilomètres en 4 mois (20 km pour le N°22 (moyenne journalière = 155 m ; max = 2275 m ; min = 0) contre un peu plus de 80 km pour la N°26 (moyenne journalière = 679 m ; max = 7356 m ; min = 0). L'une d'entre elle a même parcouru plus de 270 km en 97 jours (N°42 (moyenne journalière = 2851 m ; max = 8722 ; min = 0)) avant de disparaître du réseau. Ce graphique met en évidence deux phase dans le comportement des anguilles. Pour certaines d'entre elles (N°04 (moyenne journalière = 1173 m ; max = 10811 m ; min = 0) et N°15 (moyenne journalière = 710 m ; max = 7360 m ; min = 0)), elles vont alterner entre des

## - Résultats -

phases statiques au cours desquelles leur déplacement est très faible voir nul, avec des phases de fortes activités de nage pouvant parcourir plusieurs kilomètres en quelques jours. Alors que d'autres comme la N°22 ne vont quasiment pas se déplacer pendant tout le suivi (distance totale = 21 km). De nombreuses anguilles disparaissent du réseau d'hydrophones de manière plus ou moins brutale. Certaines vont disparaître après une période de forte activité (ex N°33 (moyenne journalière = 3529 m ; max = 14021 ; min = 0) et N°04) et d'autres après une longue phase d'inactivité (ex N°48 et N°41).

La Figure 109 quant à elle représente les distances cumulées au cours du temps des anguilles ayant réussi à s'échapper du lac. Là aussi, le comportement de ces anguilles est très variable. Certaines d'entre elles vont très peu se déplacer comme l'anguille N°21 (distance totale = 15 000 m ; moyenne journalière = 191 m ; max = 3907 m ; min = 0) et l'anguille N°30 (distance totale = 23 000 m ; moyenne journalière = 136 m, max = 7042 ; min = 0) avant de migrer en aval du lac. Alors que d'autres comme l'anguille N°16 (moyenne journalière = 1103 m ; max = 21505 m ; min = 0) va parcourir jusqu'à 151 km en prospectant dans l'ensemble du lac comme le montre la Figure 111.

Les distances parcourues au cours du temps par les anguilles femelles pêchées par la pêche professionnelle sont représentées en Figure 110. Certaines d'entre elles avaient déjà parcouru plusieurs kilomètres avant d'être pêchées, jusqu'à 54 km en 30 jours pour l'anguille N°14 (moyenne journalière = 1845 m ; max = 10621 m ; min = 0).

- Résultats -

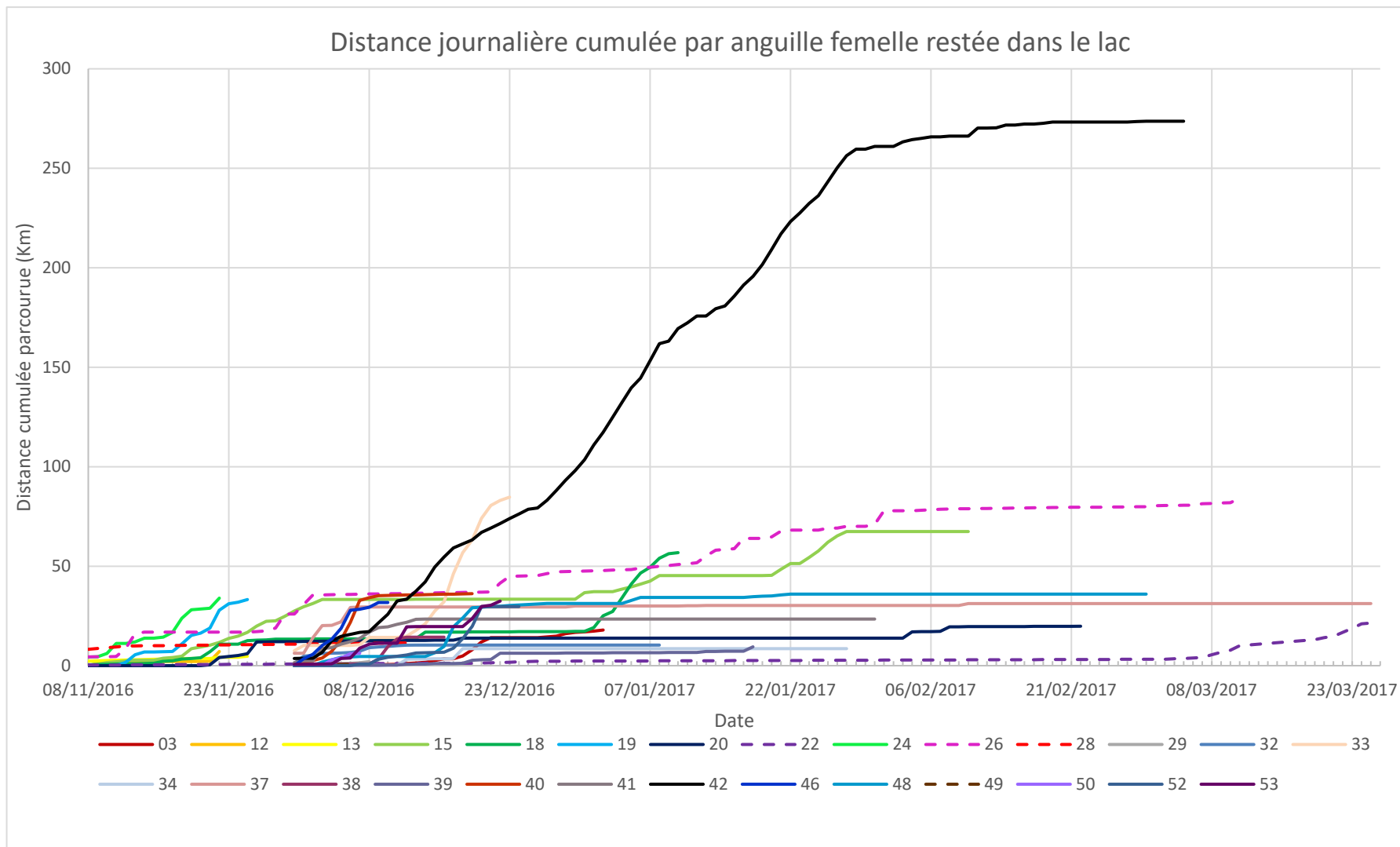


Figure 108 : Représentation des distances cumulées parcourue pour chaque anguille femelle resté dans le lac dans le temps (Trait plein = disparue dans le lac ; Tiret = pêchée en dehors de la période de pêche)

- Résultats -

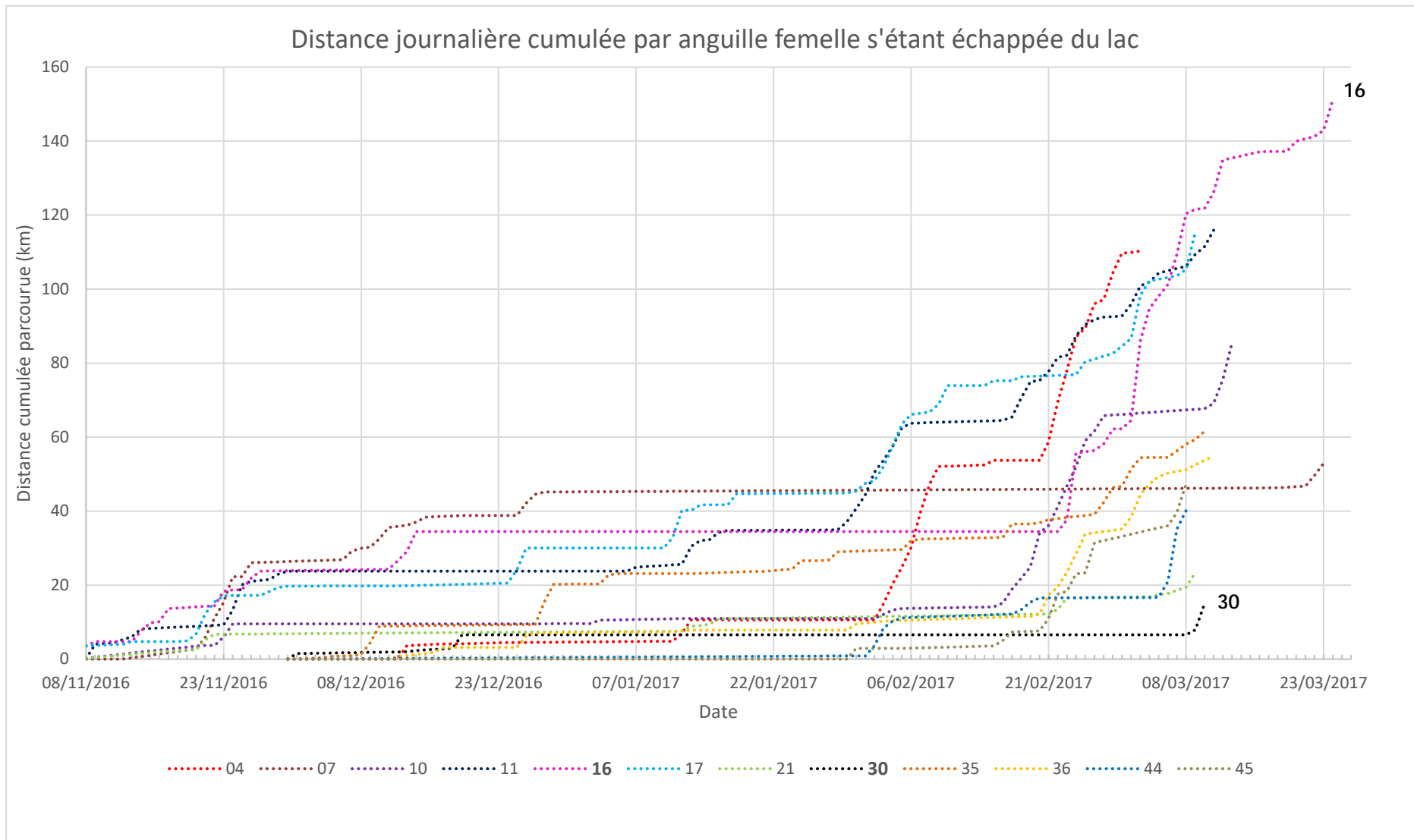


Figure 109 : Représentation des distances cumulées parcourue pour chaque anguille femelle s'étant échappée du lac dans le temps

**- Résultats -**

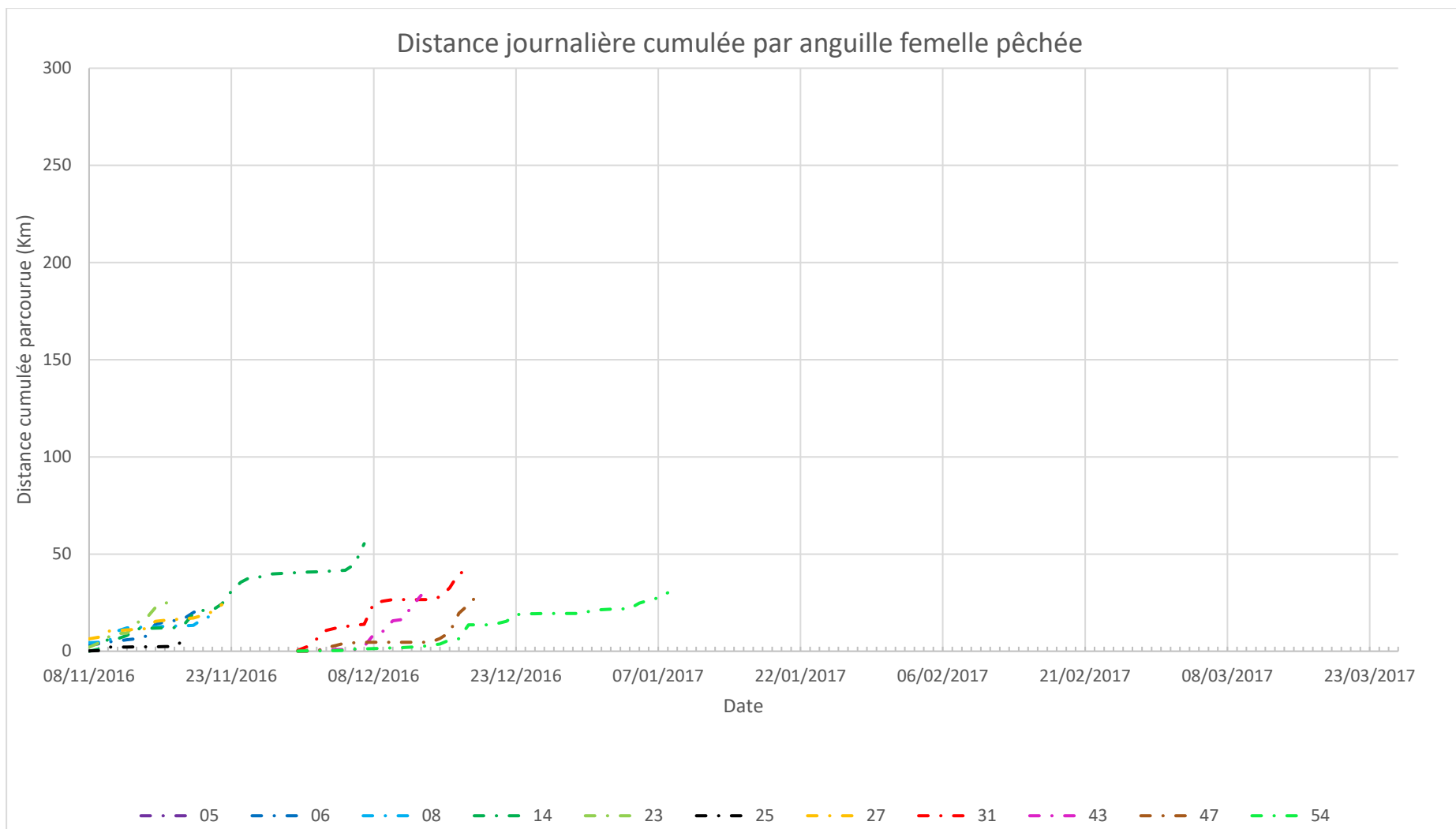


Figure 110 : Représentation des distances cumulées parcourue pour chaque anguille femelle ayant été pêchée dans le temps

- Résultats -

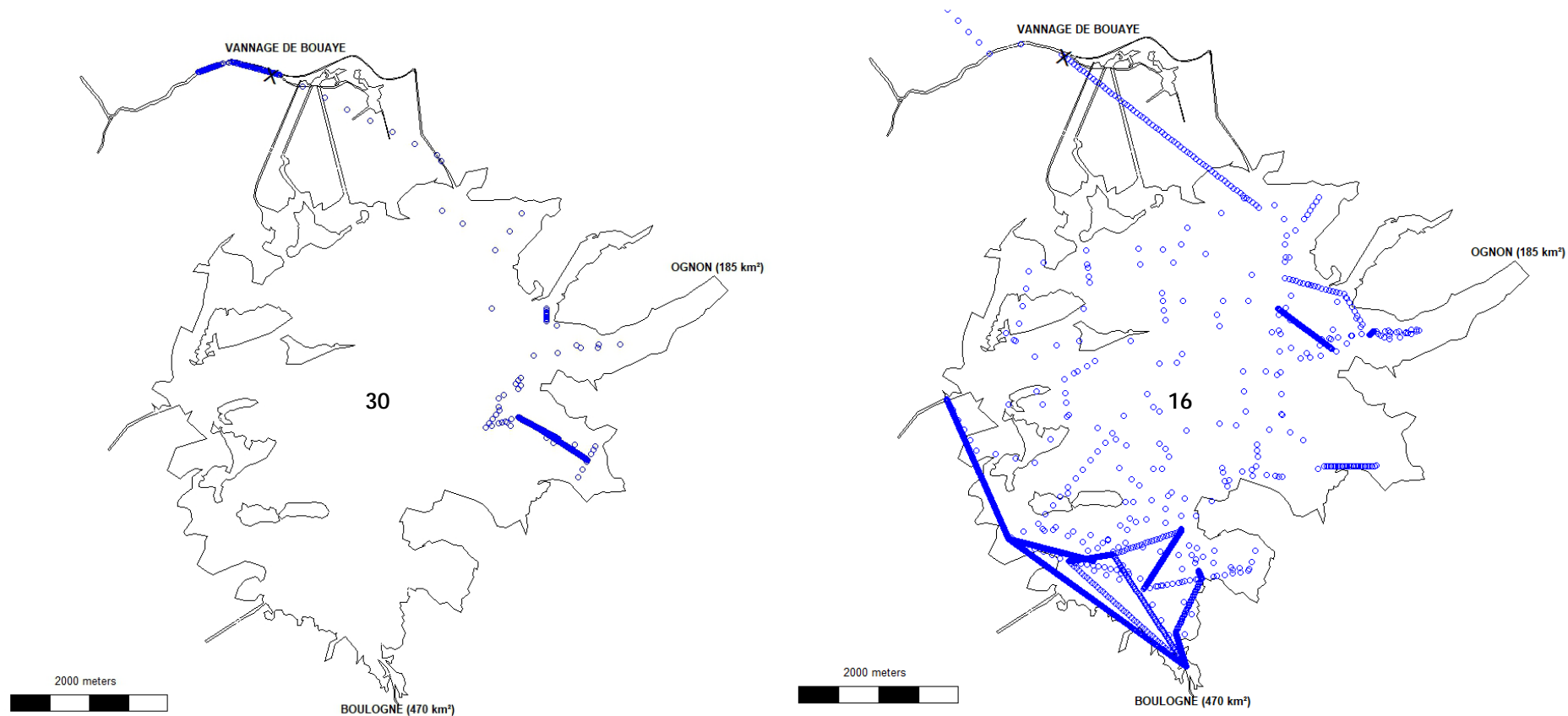


Figure 111 : Représentation des positions journalières (par reconstruction et interpolation) des anguilles 30 à gauche (119 jours de suivis) et 16 à droite (141 jours de suivis) au sein du lac de Grand Lieu

## - Résultats -

Afin de mieux visualiser la variabilité individuelle des comportements, la Figure 111 représente la reconstruction des trajectoires de deux anguilles ayant un comportement totalement différent et ayant réussi à quitter le lac.

Cette figure met bien en évidence deux stratégies d'échappement totalement différentes. L'anguille N°30 s'est peu déplacée (15km) parcourant qu'une petite partie du lac pendant les quatre mois qu'elle a passée dans le lac avant de le quitter en passant par surverse au-dessus du vannage de Bouaye. L'anguille N°16 quant à elle, s'est déplacée dans la quasi-totalité du lac parcourant plus de 150 km avant de passer sous le vannage de Bouaye.

Le Tableau 20 représente quant à lui pour chaque catégorie la moyenne des distances parcourue par jour par anguille, la moyenne minimale, maximale et les écarts-types des distances parcourue par jour par anguille. Un test t-student a été réalisé afin d'identifier une différence significative entre les catégories. Seules les moyennes des distances parcourues par jour entre les anguilles sorties du lac et les anguilles pêchées sont significativement différentes l'une de l'autre avec une p-value de 0.0219 \*. Cette p-value inférieure à 0.05 signifie que les moyennes des distances parcourues par jour des anguilles sorties du lac sont significativement différentes de celles qui ont été pêchées. Les anguilles pêchées ont parcouru en moyenne plus de distances par jour que les anguilles qui ont réussi à s'échapper.

La représentation de la différenciation significative entre les moyennes des distances parcourue par jour par anguille entre celles qui ont réussi à sortir du lac et celle qui ont été pêchées est représentée dans la Figure 112 (« a » significativement différent de « b »).

## - Résultats -

Tableau 20 : Comparaison des distances moyennes journalières (en mètres) réalisées par catégories d'anguilles

Sexe		Catégories d'anguilles			Total
		Echappée	Prélevée	Restée dans le lac	
	<b>n</b>	12	12	28	52
<b>Femelle</b>	<b>Moyenne +/- ecartype</b>	630 +/- 343	1500 +/- 730	970 +/- 980	1005 +/- 854
	<b>Min</b>	136	264	96	96
	<b>Max</b>	1173	2620	3530	3530

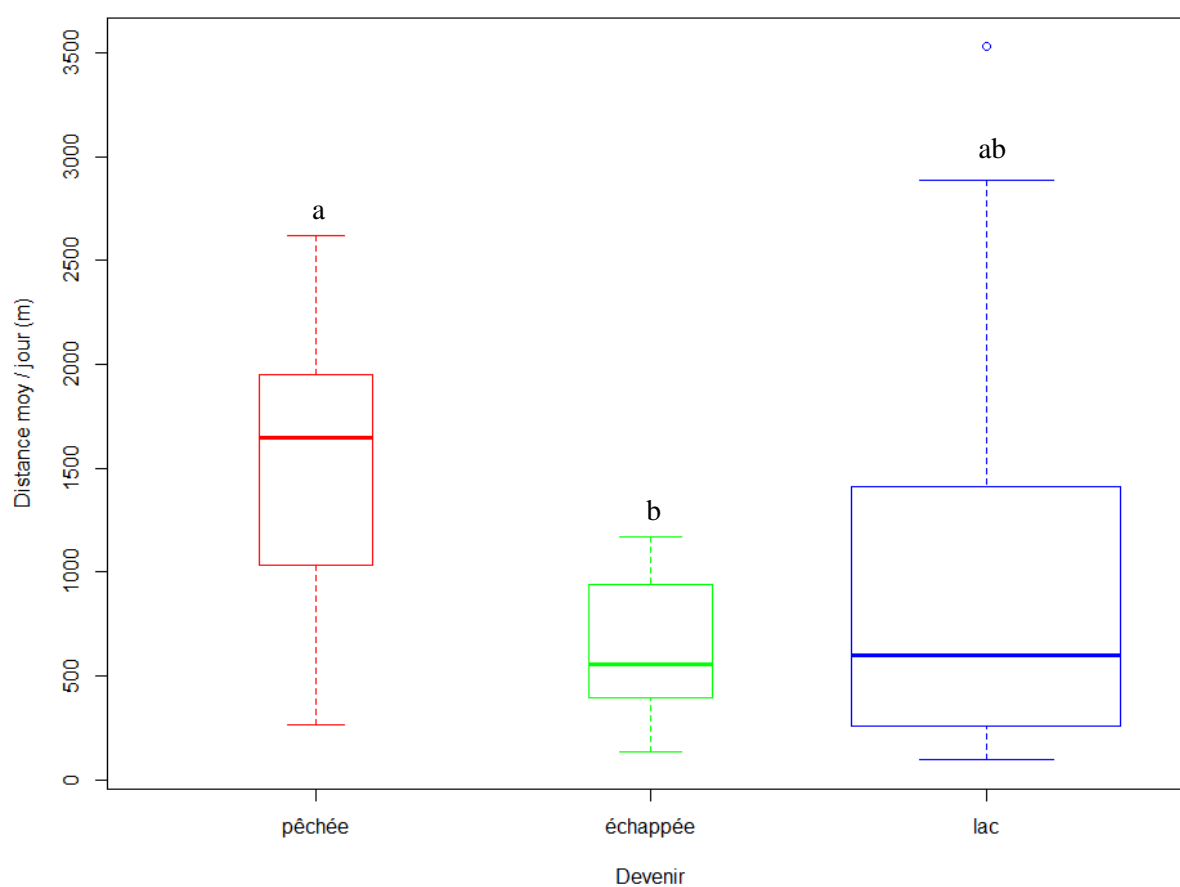


Figure 112 : Boxplot du résultat du test de comparaison de moyenne (Boîte de dispersion) pour les anguilles femelles

### 3.3.4.2 Le cas des anguilles mâles

Lors de la saison 2015/2016, seulement 52 anguilles argentées femelles avaient été marquées. Cette année, en plus des 51 anguilles argentées femelles, 30 anguilles argentées mâles ont été marquées le 30 septembre 2016 avec un émetteur acoustique de plus petite taille (un ID 7.3

## - Résultats -

mm) et d'une autonomie de 5 mois. A partir de fin février, la disparition du réseau d'hydrophone des anguilles mâles peut être dûe à l'arrêt de l'émetteur. La surverse ayant eu lieu début mars, il est possible que certaines anguilles mâles aient réussi à quitter le lac sans être détectée.

De plus, le réseau d'hydrophone n'était pas complet au moment du marquage des anguilles mâles. Il y a donc également une perte d'information dans le premier mois de déplacement au sein du lac. Le taux d'échappement des mâles est donc probablement sous-estimé et le taux de disparition sur-estimé.

### **3.3.4.2.1 Bilan des anguilles argentées mâles marquées**

- En termes d'échappement, 2 mâles (soit 6.7 %) ont quitté le lac
- 5 mâles (16.7 %) se sont présentés au pied du vannage durant toute la période du suivi
- 6 mâles (20 %) ont été pêchés
- Aucun mâle n'a été détecté après le 9 mars 2017

### **3.3.4.2.2 Les distances journalières cumulées**

La Figure 113 représente les distances journalières cumulées pour chaque anguille mâle au cours du temps en fonction de la pluviométrie.

**- Résultats -**

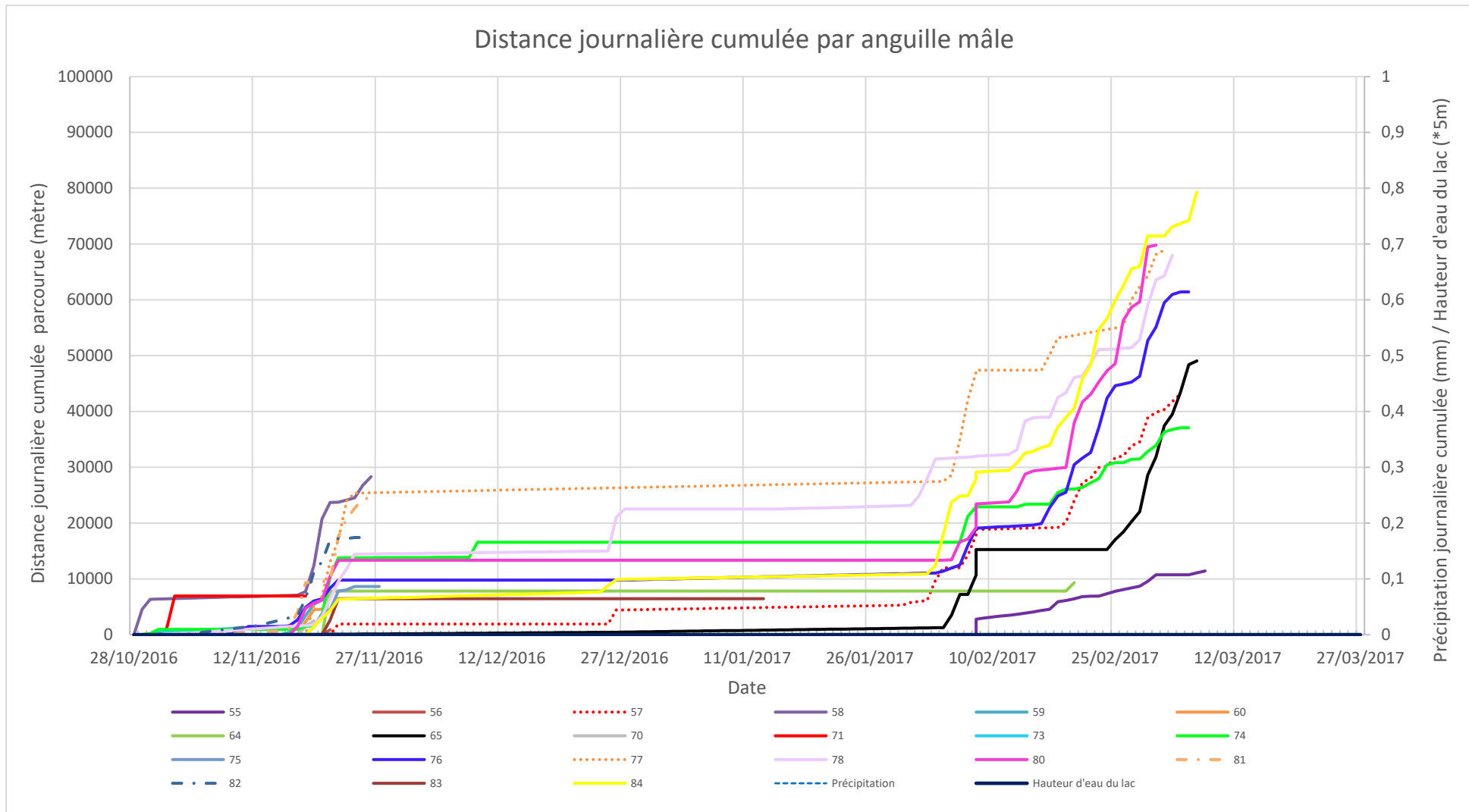


Figure 113 : Représentation des distances parcourues cumulées par anguille argentée mâle marquée (trait plein = resté dans le lac ; trait pointillé = sortie du lac ; tiret = pêchée)

## - Résultats -

Certaines anguilles ont été pêchées ou ont disparu du réseau avant la mise en place complète du réseau d'hydrophones, c'est pour cela qu'elles ne sont pas toutes représentées sur ce graphique.

Deux pics d'activité ressortent sur cette représentation. Un premier pic à lieu autour du 20 novembre 2016 avec une augmentation de la distance parcourue pour une grande partie des mâles. Puis un second pic autour du 06 février 2017 où lors de cette période 8 anguilles sur 10 encore présente parcours plusieurs kilomètres. Ces pics ont lieu au milieu de gros pics de précipitations. Cependant, il n'y a qu'une légère corrélation positive entre les distances parcourues par anguille et les précipitations sur l'ensemble de la période car l'activité des anguilles après le seconde pic de pluie est probablement lié à l'élévation du niveau d'eau du lac et non aux précipitations (Figure 114).

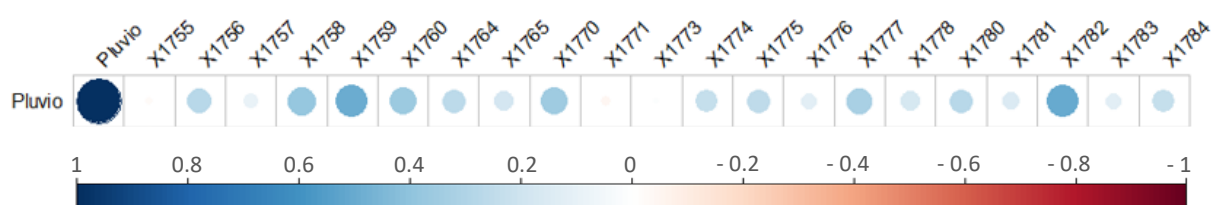


Figure 114 : Corrélogramme entre les précipitations journalières et les distances journalières parcourue par anguille argentée mâle

### 3.3.4.2.3 Les dernières détections

## - Résultats -

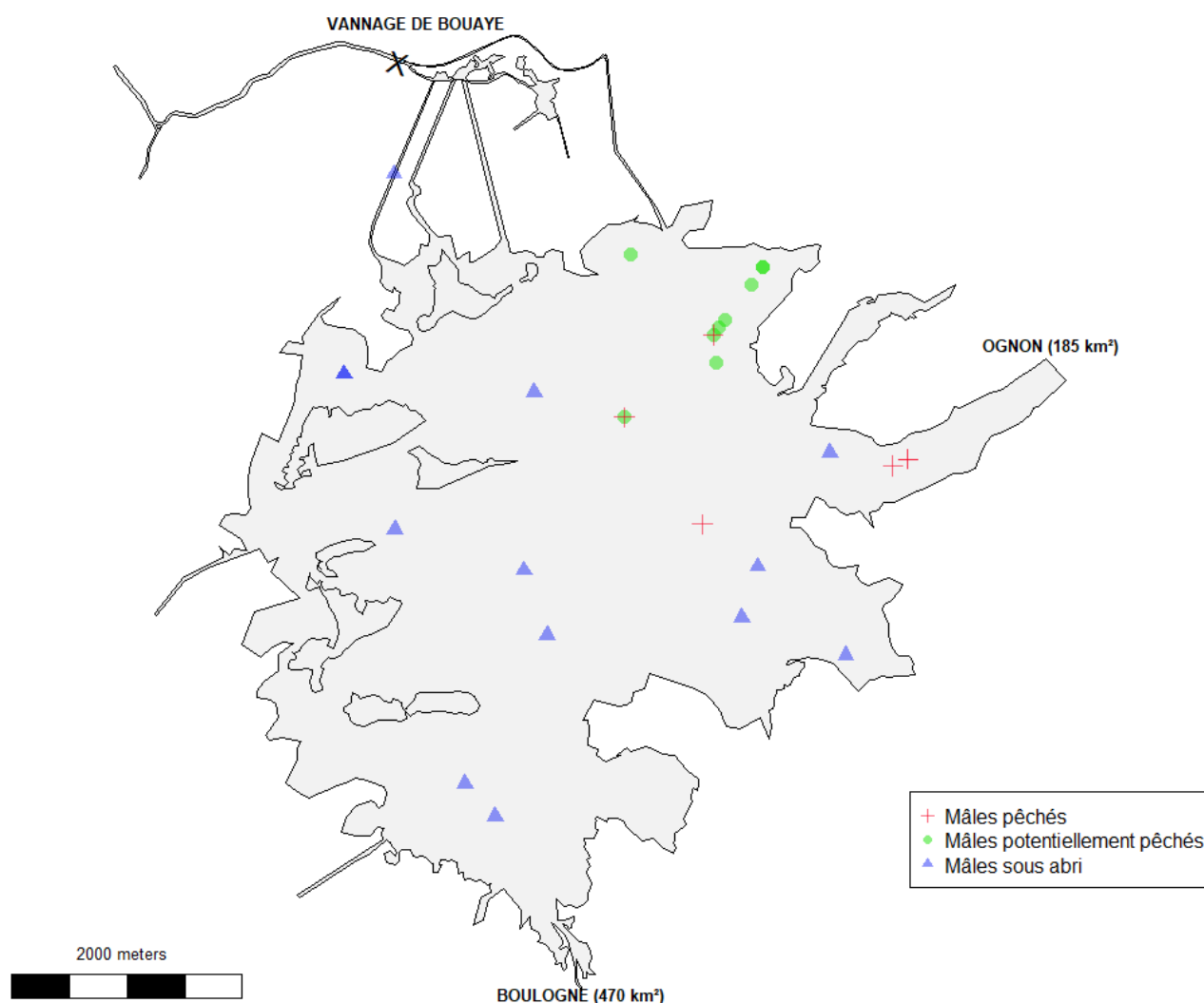


Figure 115 : Représentation des dernières positions des anguilles argentées mâles (rouge foncé = superposition de points)

La Figure 115 montre la position des anguilles mâles au moment de leur disparition du réseau d'hydrophone. Comme pour les anguilles femelles, tout le lac est impacté par ces disparitions, il n'y a pas de lieu préférentiel, hormis le Nord-Est du lac où 8 anguilles disparaissent dans la même zone, proche des zones de pêche. L'hypothèse qu'elles aient été pêchées sans être détectées est probable.

Au 15 janvier 2017, il ne restait que 10 anguilles argentées mâles encore détecté dans le lac. Au moment de l'ouverture des vannes, seulement 9 d'entre elles étaient encore détecté et pouvaient donc potentiellement s'échapper du lac. 2 d'entre elles seulement ont été détectées en aval du lac. L'estimation du taux d'échappement au lac de la fraction d'anguille argentée mâle a pu être faussée par la fin de vie théorique des émetteurs estimée à 5 mois, soit le 30 février 2017. Au vu des dernières détections, le taux d'échappement des mâles est donc compris entre 6.7 % (échappement observé) et 30 % (maximum possible, 9/30).

## 4. Discussion

### 4.1 Estimation de l'abondance de la population d'anguilles argentées et de la pêche

#### 4.1.1 Prélèvement par la pêche professionnelle

##### 4.1.1.1 Tonnage et phénologie des captures

Au total, 3896 Kg d'anguilles argentées ont été débarqués par les pêcheurs professionnels du lac durant la saison 2016/2017 (du 1er octobre 2016 au 15 janvier 2017). Les captures ont été faibles en début de saison, avec une augmentation importante fin novembre 2016 au moment des fortes pluviométries et de l'augmentation des niveaux du lac qui correspondent aux conditions optimales de migration.

Sur la même période (octobre-janvier) avec un effort de pêche comparable en 1995, le tonnage de la pêche s'élevait à 8103 kg (jaunes et argentées confondues, en comptant tout le mois de janvier alors que pour cette étude la pêche est fermée au 15 janvier).

##### 4.1.1.2 Effort de pêche

L'effort au cours de cette saison 2016/2017 est compris entre 81 et 11 engins en pêche sur le plan d'eau par jour. Il faut toutefois noter que la saison 2016/2017 fut particulière en termes de conditions météorologiques (pluviométrie faible et niveaux d'eau historiquement bas). Les pêcheurs ajustent leur effort de pêche aux conditions environnementales. Ainsi lors des périodes où peu de captures sont susceptibles d'être réalisées, les professionnels préfèrent retirer leurs engins afin de se prémunir des dégradations causées par les rats. C'est le cas pour cette saison à partir du mois de décembre.

##### 4.1.1.3 Captures par unité d'effort (CPUE)

Les CPUE très variables sont comprises entre moins de 50 g / verveux / j la semaine 50 à plus de 3.1 Kg / verveux / j pour la semaine 47.

Le verveux est utilisé sur le lac de Grand Lieu depuis la fin des années 1970, depuis son importation sur le site, il permet la réalisation de 98,12 % des poids d'anguilles capturées (les lignes de fond et les bosselles n'apportaient que des captures accessoires que ce soit en nombre d'anguilles ou en poids lorsque celles-ci étaient encore utilisées). Il est donc possible de comparer les résultats de la présente étude à ceux obtenus auparavant. Entre 1991 et 1995, les efforts de pêche, sur la

même période (octobre / janvier) étaient compris entre 12 et 92 verveux par jour sur le plan d'eau (Adam, 1997). Les CPUE étaient compris entre 0.9 et 10 Kg /verveux/jour de relève avec un maximum en novembre. Ainsi on note une baisse de près de la moitié des CPUE entre 1995 et 2016-2017.

Il semblerait donc que l'effort reste constant au cours du temps, et que les résultats de la pêche puissent en fonction des années être proches de ceux observés de 1991-1995 (soit 20 ans plus tard et dans un contexte général de baisse du stock à l'échelle de l'ensemble de l'aire de répartition). En revanche on constate une division par 3 des CPUE au cours de la même période.

#### 4.1.2 Caractéristiques de la population d'anguilles argentées

##### 4.1.2.1 Sex-ratio

###### 4.1.2.1.1 Le lac de Grand Lieu

Les anguilles présentent un fort dimorphisme sexuel et il est possible de distinguer le sexe en fonction de la taille. Par convention, on considère que les anguilles argentées de moins de 45 cm sont des mâles, tandis que les femelles font plus de cette taille. A Grand-Lieu en 2016-2017, la taille des femelles est comprise entre 680 mm et 807 mm et celle des mâles est comprise entre 318 mm et 401 mm.

La population d'anguilles argentées du lac de Grand-Lieu est dominée à 92.62 % par les mâles. La proportion de femelles augmente tout au long de la période d'étude. Elle reste inférieure à 10 % en général, mais elle augmente en fin de saison pour atteindre 30 % fin novembre et 25 % début janvier.

###### 4.1.2.1.2 Comparaison avec d'autres sites

Dans le bassin de la Loire, en amont d'Ancenis, la proportion de femelles est en moyenne de 98 % (N = 5669) (Acou *et al.*, 2010). Sans surprise, le Lac de Grand Lieu, localisé à l'aval du bassin versant de la Loire, produit majoritairement des mâles.

Le sexe ratio peut être comparé à ceux d'autres hydrosystèmes côtiers tels que les systèmes lagunaires et deltaïques de Méditerranée. Dans l'étang du Vaccarès (delta du Rhône, 6500 ha) les femelles représentent 54.4 % de la population (Acou *et al.*, 2003). Sur la lagune de Bages-Sigean (Méditerranée, 3800 ha), les femelles ne représentent que 3 % de la population (Amilhat *et al.*, 2009) et sur l'étang de l'Or la proportion de femelles était de 32 % (Charrier *et al.*, 2011).

## - Discussion -

Chez les anguilles, le sexe se 'déclare' avant la taille de 20 cm. Il est déterminé par les conditions environnementales et, plus encore, par la densité de la population d'anguilles. Lorsque la densité de la population est importante, le déterminisme sexuel est en faveur des mâles (Lambert et Rochard, 2007). Le lac de Grand-Lieu présente un sexe ratio très fortement dominé par les mâles, ce qui plaide en faveur d'un bon recrutement en civelles qui assurent une densité de population encore élevée qui favorise les mâles. En revanche, la saturation n'est pas atteinte puisque la densité de la population était 3 fois plus forte au début des années 90. Cette baisse relative de densité est sans doute compensée par une croissance plus rapide.

### 4.1.2.2 Age et taux de croissance

L'estimation de l'âge des anguilles argentées indique un âge moyen des mâles de 3,2 ans et de 7,3 ans pour les femelles. Si l'on rapporte au sexe ratio, l'âge moyen des anguilles argentées de Grand Lieu est donc de 3,5 années. Compte tenu des tailles à l'argenture, on obtient une croissance de plus de 10 cm par an pour les mâles comme pour les femelles ce qui place le lac de Grand Lieu parmi les systèmes où la croissance des anguilles est forte et le turn-over rapide, notamment pour les mâles.

### 4.1.2.3 Relation Taille/Poids

La relation entre le poids (en g) et la taille (en cm) des anguilles donne des coefficients a et b respectivement de  $1 \cdot 10^{-3}$  et 3.06. Ces valeurs sont comparables à celles retrouvées habituellement en Europe (Boulenger *et al.*, 2015, Adam *et al.*, 2008). En effet, ces dernières sont comprises, pour le coefficient a, entre  $0,16 \cdot 10^{-3}$  et  $2 \cdot 10^{-3}$  et, pour le coefficient b, entre 3 et 3,38. Les valeurs de ces coefficients sur l'Or étaient en accord avec ces dernières (Charrier *et al.*, 2010). En effet, a et b étaient de  $1 \cdot 10^{-3}$  et 3,16 respectivement.

## 4.1.3 Qualité des anguilles argentées

### 4.1.3.1 Evaluation externe

Une très grande majorité des anguilles argentées présentent des lésions externes (93 % ; N = 800), dont 43 % présentaient des érosions (ER). Cette pathologie peut notamment s'expliquer par la technique de pêche (verveux) et par le conditionnement des prises (viviers et poches) ainsi que par la prédation aviaire. En revanche, les autres pathologies, indépendantes de la pêche (hémorragie, grosseurs, altérations de la couleur, ulcères ...), sont liées à d'autres facteurs. Les ulcères hémorragiques sont souvent causés par infection bactérienne ou/et par la présence de métaux lourds dans les sédiments. Le faible taux d'oxygène dans le lac en période estivale est lié à l'hyper-

eutrophisation. Cette relative anoxie favorise le relargage d'éléments métalliques et organiques des sédiments et favorise l'apparition de pathologies. L'apparition de grosseurs est le plus souvent signe de parasitoses (Girard et Elie, 2007).

Ce mauvais état de santé est préoccupant car il altère certainement la capacité de reproduction des anguilles argentées au départ du lac. Il serait nécessaire de réaliser une étude plus approfondie des causes de cette mauvaise qualité des anguilles et de proposer des solutions pour y remédier.

#### 4.1.3.2 Parasitisme par *A. crassus*

On observe une forte prévalence d'*A. crassus*, le ver nématode introduit au début des années 1980 et qui a infesté pratiquement toutes les anguilles d'Europe. 74 % des individus étaient infestés. 23% des anguilles présentaient une vessie dégradée indiquant une infestation passée et seuls 3 % des individus présentaient des vessies gazeuses indemnes.

En 1992, la prévalence était un peu supérieure avec 86,29 %. En Loire entre 2001 à 2004, la prévalence moyenne relevée était de 66.8 % et seules 3.8 % des anguilles présentaient des vessies gazeuses saines (Acou *et al.*, 2010). L'intensité de l'infestation était forte et s'élevait à 6,17 par individu. La charge parasitaire semble avoir diminué : en 1992 elle était de 10.73 parasites par individu (Adam, 1997). En revanche, l'intensité de Grand Lieu en 2015-2016 est comparable à celle observée en Loire au début des années 2000 où elle était comprise entre 3.85 et 6.98 (Acou *et al.*, 2010).

Il est probable que les anguilles atteintes de pathologies qu'elles soient externes (érosions, hémorragies) ou internes (parasitisme) aient des succès reproducteurs plus faibles. Des études internationales suggèrent que la contamination actuelle ou passée des anguilles par *A. crassus* diminue le succès reproducteur des anguilles argentées (Newbold *et al.*, 2015).

## 4.2 Une forte production d'anguilles argentées, divisée par 3 en 25 ans

### 4.2.1 Estimation des abondances.

L'estimation par la méthode de CMR au PIT-tag d'anguilles argentées sur le lac de Grand-Lieu (pour la saison 2016 – 2017) s'élève à 191 000 ( $\pm$  17 600) individus. Ainsi le lac de Grand Lieu produit à lui seul plus d'anguilles argentées que la Loire en amont d'Ancenis (150 000 individus (Acou *et al.*, 2010)).

Avec une surface mouillée de 3900 hectares en été, la **production annuelle d'anguilles argentées est de 6.14 kg/ha en 2016-2017 dans le lac de Grand Lieu.**

**- Discussion -**

Species	Method			Site	Reference	Year	Silver eel production N	Std. Err	Silver eel production Kg/ha	Sex-ratio	Exploitation rate (%)	Escapment rate (%)	
A anguilla	mark-recapture	PIT-TAG	Pooled Petersen	Fr	Grand-Lieu Lake	Mazel et al (this study)	2015-2016	213387	18406	8,35	Male : 84,7 %	20,2	79,8
								[177310 - 249463]			Female : 15,3 %	[17,3 - 24,3]	[75,7 - 82,7]
A anguilla	mark-recapture	PIT-TAG	Pooled Petersen	Fr	Grand-Lieu Lake	Mazel et al (this study)	2016-2017	190429	17588	6,14	Male : 92,6 %	16,1	83,9
								[155956 - 224902]			Female : 7,4 %	[13,7 - 19,7]	[80,3 - 86,3]
A anguilla	mark-recapture	PIT-TAG	Pooled Petersen	Fr	Or Lagoon	Charrier et al. 2010	2009-2010	185185	13363	13,55	Male : 68 %	21,1	78,9
								[158993 - 211377]			Female : 32 %	[18,5 - 24,5]	[75,5 - 81,5]
A anguilla	mark-recapture	Acrylic Paint	Pooled Petersen	Fr	Bages-Sigean Lagoon	Amilhat et al. 2009	2007	1120112		30	Male : 97 %	20,2	79,8
								[985586 - 1254640]			Female : 3 %	[18,8 - 23]	[77 - 81,9]
A anguilla	mark-recapture	Acrylic Paint	Pooled Petersen	Fr	Loire River	Acou and Feunteun (unpublished data)	2001-2002	318494	18383		Male : 3,2 %	15,2	84,8
								285019 - 357424			Female : 96,8 %		
A anguilla	mark-recapture	Acrylic Paint	Pooled Petersen	Fr	Loire River	Acou and Feunteun (unpublished data)	2002-2003	317790	23877		Male : 1,5 %	12,7	87,3
								275234 - 369591			Female : 98,5 %		
A anguilla	mark-recapture	Acrylic Paint	Pooled Petersen	Fr	Loire River	Acou and Feunteun (unpublished data)	2003-2004	365285	30004		Male : 0,2 %	11,9	88,1
								306476 - 424093			Female : 99,8 %		
A anguilla	mark-recapture	Acrylic Paint	Pooled Petersen	Fr	Loire River	Acou and Feunteun (unpublished data)	2004-2005	135567	14781		Male : 4,5 %	13	87
								110281 - 169215			Female : 95,5 %		
A anguilla	mark-recapture	Acrylic Paint	Pooled Petersen	Fr	Loire River	Acou and Feunteun (unpublished data)	2008-2009	159912	14621		Male : 0,6 %	10,3	89,7
								131255 - 188570			Female : 99,4 %		
A anguilla	mark-recapture	Acrylic Paint	Pooled Petersen	Fr	Loire River	Acou and Feunteun (unpublished data)	2012-2013	129738	9660		Male : 0,3 %	13 (22)	87
								112507 - 150676			Female : 99,7 %		
A anguilla	mark-recapture	Acrylic Paint	Pooled Petersen	Tu	Ichkeul Lake	Derouiche et al. 2016	2013-2014	342221	22584	23,55	Male : 2,8 %	18,8	81,2
								[297956 - 386486]			Female : 97,2 %	[16,6 - 21,5]	[78,5 - 83,4]
A anguilla	mark-recapture	FLOY tags		UK	Lough Neath Lake	Rosell et al. 2005	2003			2,5-3,5	Male : 30-40 %	25	75
											Female : 60-70 %		
A anguilla	mark-recapture	FLOY tags		UK	Lough Neath Lake	Rosell et al. 2005	2004			2,5-3,6	Male : 30-40 %	38	62
											Female : 60-70 %		
A rostrata	mark-recapture	Hot branding	Pooled Petersen	Ca	St Lawrence River	Caron et al. 2003	1996	492845			Male : 1 %	19	81
								[383693 - 633091]			Female : 99 %	[13 - 28]	[72 - 87]
A rostrata	mark-recapture	Hot branding	Pooled Petersen	Ca	St Lawrence River	Caron et al. 2003	1997	410895			Male : 1 %	24	76
								[353591 - 477492]			Female : 99 %	[18 - 30]	[70 - 82]

## - Discussion -

En Europe, les productions annuelles d'anguilles argentées sont comprises entre 0,03 et 50 kg/an en fonction des types d'habitats et de leurs distances à la mer (Amilhat *et al.*, 2007). Les productions d'anguilles argentées ont oscillé entre 8,35 kg/ha en 2015-2016 et 6,14 kg/ha en 2016-2017 ce qui place Grand Lieu parmi les écosystèmes les plus productifs en Europe. Ces valeurs restent néanmoins logiquement plus faibles que dans les lagunes saumâtres méditerranéennes où des productions comprises entre 13,6 et 30 ha/an sont relevées (Amilhat *et al.*, 2007 ; Charrier *et al.*, 2010).

D'après l'estimation par la CMR et sur la base d'une moyenne de 5 % des anguilles jaunes qui s'argentent chaque année (PGA), l'estimation du nombre total d'anguilles dans le plan d'eau de Grand Lieu se situerait aux alentours de 4 267 700 individus [3546200-4989260] en 2015-2016 et 3 808 600 individus [3119120-4498040] en 2016-2017. C'est une valeur comparable à celle de Adam (1998) qui estimait une abondance de 4 933 500 anguilles dont 957 500 de plus de 3 ans (c'est-à-dire potentiellement capturables par les engins de pêche professionnels). »

Les captures, marquages et suivis des recaptures ont été effectués entre début octobre et mi-janvier. Elles ont été réalisées à l'occasion de pics migratoires signalés par les pêcheurs professionnels.

Parmi les facteurs environnementaux associés à la migration d'avalaison, l'influence des crues est prédominante dans la littérature. Les crues orientent et aident mécaniquement les anguilles à dévaler (Lowe 1952 ; Vollestad *et al.* 1986). Cependant, il est probable que les véritables stimuli environnementaux soient des facteurs associés qui varient au cours des précipitations et des évènements de crues comme la turbidité, la conductivité, des stimuli olfactifs (odeurs) ou des baisses de pression atmosphérique, plutôt que la crue elle-même (Haro 2003). Les migrations se font essentiellement lors des nuits de faible luminosité qui est sous le contrôle de facteurs météorologiques (nébulosité), hydrologiques (turbidité) et lunaires (nouvelle lune). La pluviométrie, le débit des cours d'eau agissent comme des facteurs de déclenchement et d'orientation, tandis que la luminosité agit comme un facteur inhibant.

Des anguilles marquées en septembre 2016 ont été recapturées jusqu'en décembre 2016. Cela laisse supposer que le mouvement de dévalaison est sans doute contrôlé par l'apparition de conditions environnementales favorables durant une période où l'anguille est apte à migrer. A noter que les conditions hydrologiques de la saison 2016-2017 étaient particulières (faible pluviométrie, absence de crue, niveaux d'eau historiquement bas) et que les observations décrites ci-dessus sont difficilement transposables à des années hydrologiques plus « classiques ». D'autre part, les courants sont très faibles voire inexistant dans le lac, et sont sous la dépendance de la gestion des vannes.

### 4.3 Un taux d'échappement anormalement bas

Le suivi par télémétrie acoustique indique, fin aout 2017, que seuls 17 % des anguilles argentées du lac franchissent le barrage de Bouaye. L'échappement des femelles s'élève à 23% et celui des mâles à seulement 6,7 %. Rapporté au sexe ratio, on a donc un **échappement moyen minimum de la population de seulement 7,8 %**. **C'est à dire que parmi les 190 000 anguilles argentées du lac de Grand-Lieu en 2016-2017, seulement 14 820 anguilles argentées parviennent à s'échapper. La production nette est donc de seulement 3,8 anguilles par ha.**

La question est de comprendre le destin des anguilles qui ne parviennent pas à dévaler. Leurs devenir ont pu être estimés de manière relativement précise, d'une part grâce aux marquages par les PIT tags et d'autre part par le dispositif de télémétrie acoustique. Nous avons ainsi pu estimer le taux de mortalité par pêche et le taux de mortalité lié à la gestion des vannes (Figure 116).

- Discussion -

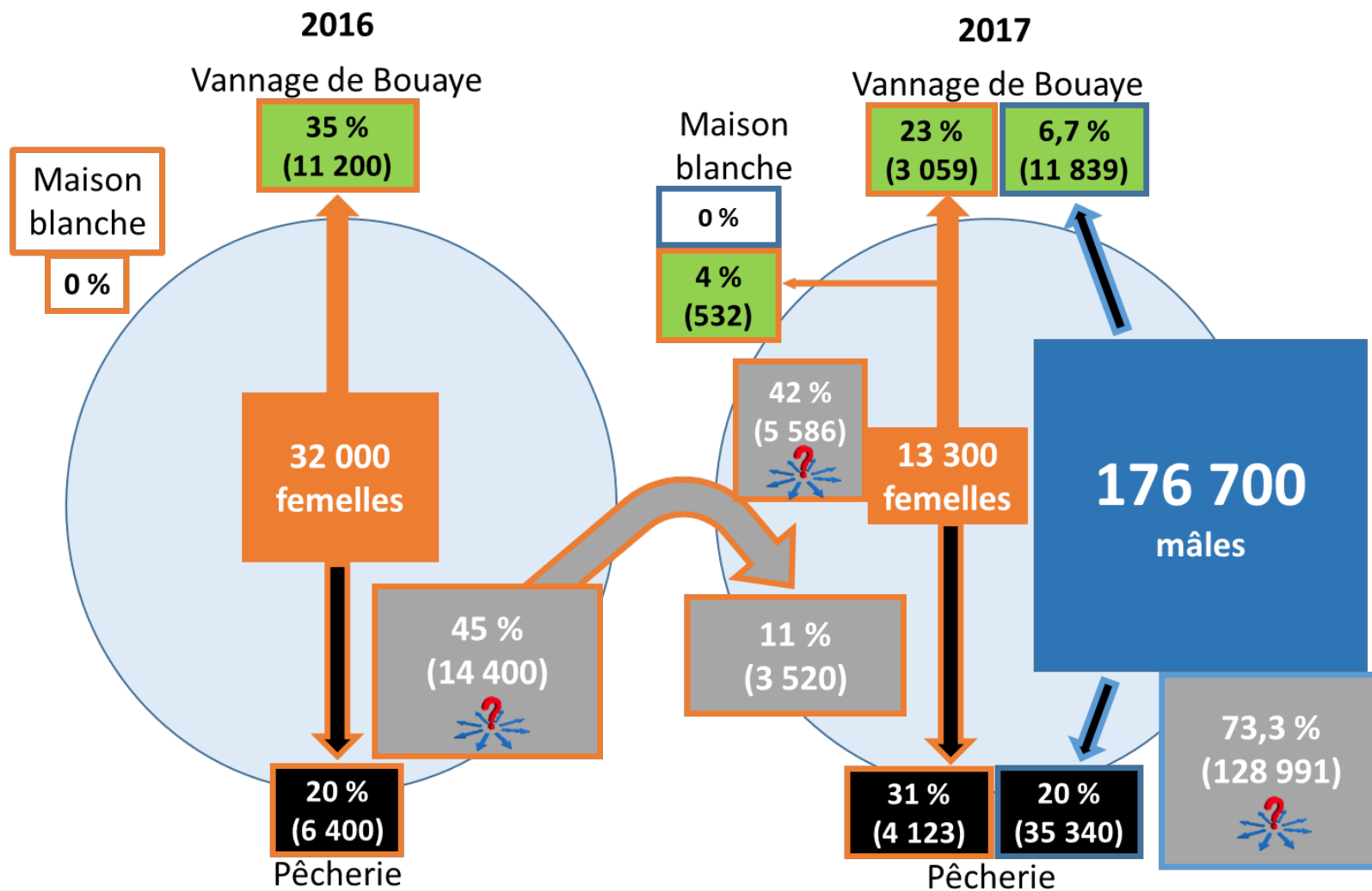


Figure 116 : Bilan comparatif du devenir des anguilles argentées dans le lac de Grand Lieu sur les deux années de suivis (Orange = femelle ; Bleu = mâle) (fond vert = sortie du lac ; fond noir = capturée par la pêche ; fond gris = resté dans le lac)

#### 4.3.1 Mortalité par la pêche professionnelle

Le taux de prélèvement d'anguilles argentées par la pêche professionnelle a été estimées de deux manières indépendantes, d'une part grâce à l'analyse des recaptures de PIT tags et d'autre part par télémétrie acoustique. Le taux d'exploitation d'anguilles argentées femelles marquées en acoustique de 23 %, de cette saison 2016/2017, était très proche de celui de la saison précédente (20 %) et est cohérent avec celui observé par le suivi CMR par PIT-tags (16 %). La fraction de mâles marqués en acoustique capturés par la pêcherie est également équivalente (20 %). On peut alors considérer que la pression de pêche par la pêcherie instaurée sur le lac de Grand-Lieu est stable dans le temps. Cependant 4 anguilles argentées femelles ont été retrouvées dans la pêcherie anguille jaune, ce qui porte le taux d'exploitation d'anguilles argentées femelles marquées sur l'année à 31 %. Ces taux d'échappement à la pêcherie résultants restent dans la fourchette haute européenne et indiquent un taux de prélèvement plus faible que dans de nombreuses pêcheries d'Europe et d'Amérique du Nord.

Dans les lagunes du sud de la France, les taux d'échappement à la pêcherie varient entre 80 et 88 %. Ils atteignent, 87 % en Camargue (Bevacqua *et al.*, 2007), 80-82 % sur Bages-Sigean (Amilhat *et al.*, 2007), 80 % sur l'étang de l'Or (Charrier *et al.*, 2010) et ils sont compris entre 85.5 et 87.8 % sur la Loire en amont d'Ancenis (Acou *et al.*, 2010).

Sur le Saint Laurent au Canada le taux d'échappement, d'*A. rostrata* est compris entre 74 % et 80 % (Caron *et al.*, 2003). Ils sont beaucoup plus faibles sur le Rhin (37-46 %) (Klein Breteler *et al.*, 2007) et sur le lac Ijssel au Pays-Bas (30 %) (Dekker, 2000).

#### 4.3.2 Les anguilles qui ne dévalent pas meurent dans le lac.

Le suivi en télémétrie acoustique a permis de montrer que les anguilles n'ayant pas été pêchées et n'ayant pas dévalé restent dans le lac. Certaines remontent dans l'Ognon, d'autres disparaissent du système avec trois devenir possibles : prises par la pêcherie sans qu'elles soient détectées par les pêcheurs, prédation par des oiseaux ou des mammifères, refuge dans des zones où elles ne peuvent pas être détectées.

Il est possible que certaines anguilles argentées survivent une ou plusieurs années, mais un très faible pourcentage dévale les années suivantes d'après la littérature. En 2016-2017, 4 anguilles marquées en acoustique de la saison précédente ont été détectées après avoir été perdues. Mais elles n'ont pas été détectées à la sortie du lac. De plus, aucune anguille marquée lors de la CMR PIT tags de la saison 2015-2016 n'a été capturée lors de la saison 2016-2017.

On considère donc qu'aucune anguille restant dans le lac ne dévale et elles sont donc perdues pour la reproduction.

#### *4.3.3 Une orientation difficile dans le lac*

Les modèles des comportements des anguilles suivis en télémétrie indiquent que la migration se déroule en 3 étapes : l'acquisition du comportement de migration, la prospection et l'orientation vers la sortie (dévalaison) et l'échappement du système aquatique.

##### *4.3.3.1 L'acquisition du comportement de migration*

Cette étape est contrôlée par les facteurs environnementaux tels que les dépressions atmosphériques, la pluie et l'augmentation des débits. La seconde étape est l'orientation vers la sortie du lac. Dans les rivières, le courant permet aux anguilles argentées de s'orienter vers l'aval. Dans les lagunes côtières, les périodes dépressionnaires provoquent une montée des eaux marines qui pénètrent dans les lagunes et créent un gradient de salinité dans lequel les anguilles s'orientent grâce à leurs capacités olfactives (Feunteun, 2012).

##### *4.3.3.2 L'orientation vers l'exutoire*

Les mécanismes d'orientation dans les systèmes lacustres comme Grand Lieu restent mal documentés. On fait l'hypothèse que les anguilles de Grand Lieu sont guidées par les gradients chimiques provoqués par les apports fluviaux et par les courants. En effet, le principal facteur déclenchant la migration est l'atteinte du niveau du lac de 190 cm au-delà duquel l'eau surverse au-dessus des vannes de Bouaye. Cela crée un courant perceptible par les anguilles argentées qui peuvent ainsi s'orienter vers les vannes.

Dans le lac de grand lieu, les anguilles parcourent des distances considérables en période d'activité (distance moyenne/j = 646 m ; distance max/j = 21 506 m). Cela montre qu'elles ont un comportement de recherche active de l'exutoire, et le succès de l'orientation dépend principalement de l'ouverture des vannes de manière à créer une pente hydraulique, un courant et l'installation de gradients chimiques de l'amont vers l'aval.

##### *4.3.3.3 L'échappement*

## - Discussion -

L'échappement correspond au franchissement des vannes aux exutoires. Nos modèles montrent clairement qu'il faut une ouverture minimum de 50 cm pour que les anguilles passent par en dessous et une lame d'eau d'au minimum 20 cm sur les vannes pour qu'elles passent en surverse.

Pour que l'échappement soit possible, il faut donc que le comportement de migration ait été déclenché (ce qui dépend des conditions atmosphériques et hydrologiques), qu'un courant hydraulique soit mis en place. Cette seconde condition n'est possible que si les vannes sont ouvertes et/ou si le niveau d'eau dépasse la cote de surverse. Enfin, la sortie du lac n'est possible, que si les vannes sont ouvertes. De plus il faut que cette ouverture soit suffisante pour limiter les accélérations brutales de l'eau au droit du vannage, qui a un effet répulsif chez les anguilles (Trancart *et al.*, 2017).

Les conditions atmosphériques ont été atteintes et correspondent aux périodes d'activité des anguilles qui se traduisent par les captures des pêcheurs professionnels. En revanche le SAH n'a pu ouvrir les vannes qu'une fois une hauteur d'eau suffisante dans le lac, ce qui a eu lieu bien après la période favorable de dévalaison.

### 4.3.4 Conclusion-synthèse

**L'élévation du niveau d'eau du lac est le facteur principal permettant l'orientation vers la sortie du lac. L'ouverture des vannes doit être suffisante et programmée de manière synchronisée avec les périodes d'activité des anguilles argentées elles-mêmes sous la dépendance des conditions atmosphériques.**

**Il est urgent de revoir les modalités de gestion des vannes de Bouaye pour permettre l'échappement des anguilles du lac de Grand et atteindre ainsi les objectifs fixés par les règlements européens et le plan de gestion anguilles de la France.**

Ce résultat extrêmement préoccupant est clairement lié à une gestion inappropriée des vannages situés à l'exutoire du Lac. Compte tenu de la très faible pluviométrie de l'année, le niveau d'eau du lac n'a jamais été aussi bas en février depuis la construction du vannage. Ainsi les vannes sont restées fermées pendant toute la période de dévalaison optimale, habituellement comprise entre novembre et décembre pour cette latitude (Righton *et al.*, 2016). Le niveau du lac n'a augmenté significativement que début mars 2017, les anguilles n'ont pas pu quitter le lac avant cette période alors qu'elles ont présenté des pics d'activité (révélés par les captures) d'une dizaine de jours à la mi-novembre. Les vannes n'ont pas été ouvertes à ce moment, ne laissant aucune possibilité d'orientation vers l'exutoire et la sortie du lac. Les quelques anguilles qui sont parvenues à franchir le vannage de Bouaye ont donc été fortement retardées dans leur migration. L'immense majorité des anguilles argentées ont alors été contraintes de retarder voire d'interrompre leur migration, empêchant la migration de reproduction des anguilles argentées qui ne pouvaient pas aller en mer.

#### *4.4 Perspectives pour la gestion.*

**Une gestion des vannes qui doit être révisée pour permettre l'échappement des anguilles argentées.**

Dès lors que nos travaux démontrent que la gestion des vannes est mortelle pour les anguilles, il est indispensable de fournir les indications permettant d'assurer l'échappement quelles que soient les conditions hydro-climatiques. Pour cela nous nous appuyons ici sur l'analyse des comportements en phase d'orientation et au moment du passage des vannes.

##### *4.4.1 Faciliter l'activité de prospection dans le lac.*

- **Le cas des anguilles femelles**

Les anguilles argentées femelles présentent une grande variabilité de comportements de prospection. Elles parcourent en moyenne 1005 m/j (max = 3530 m/j ; min = 96 m/j) durant la période de suivi, elles parcourent entre quelques centaines de mètres (min = 765 m) et 275 km en distance cumulée (41 km en moyenne). Nous avons examiné les distances parcourues pour trois catégories d'anguilles argentées femelles : les gagnantes (celles qui sont sorties du lac vers l'estuaire), les sédentaires (celles qui sont restées dans le lac) et les pêchées. Les gagnantes et les sédentaires ont à peu près la même activité d'exploration avec 630 m/jour en moyenne pour les premières et 968 m/jour en moyenne pour les secondes. Les anguilles pêchées ont une activité de prospection significativement plus élevée avec près de 1500 m/j en moyenne. Il semble donc que les anguilles femelles les plus mobiles soient sélectionnées par la pêche.

Le principal enseignement est que les anguilles prospectent le lac pour trouver un exutoire. Si celui-ci n'est pas ouvert, la probabilité d'être au bon endroit au bon moment est faible. Dans ces conditions les anguilles les plus mobiles sont celles qui, logiquement, présentent la plus forte probabilité de capture alors que dans des conditions naturelles non perturbées, ce sont celles qui présentent statistiquement la plus forte probabilité d'échappement et de succès de dévalaison vers la mer.

- **Le cas des anguilles mâles**

L'utilisation d'émetteurs plus petits et donc avec une plus faible durée de vie et un marquage précoce à l'installation complète du réseau d'hydrophone ne permet pas d'obtenir les mêmes résultats que pour les anguilles femelles. Avec une autonomie annoncée par le constructeur de 5

## - Discussion -

mois, il est possible que certaines anguilles argentées n'aient pas été détectées à l'exutoire en fin de suivi. La probabilité de capture des mâles est de 20 % environ comme pour les femelles et l'échappement compris entre 6,7 % dans l'hypothèse que toutes les anguilles mâles sorties du lac aient été détectées et 30 % dans l'hypothèse que toutes les anguilles encore détectée dans le lac au moment de l'ouverture ce soit échappées (peu probable au vu des résultats des anguilles femelles).

L'activité d'exploration des mâles est de 513 m par jour ( $\pm 296$  m) en moyenne et de 29 km ( $\pm 27$  km) en moyenne sur la période d'activité. Cela représente presque que la moitié de l'activité des femelles et conforte l'estimation du faible taux d'échappement des mâles de par leur plus faible activité d'exploration.

**Ainsi les anguilles argentées du lac de Grand Lieu présentent une forte activité de prospection durant la phase d'exploration. Les mouvements réalisés semblent relativement peu orientés faute de courant et de gradients chimiques pendant leurs pics d'activité déclenchés par les conditions environnementales (pluviométrie, augmentation du niveau d'eau).**

**Il serait possible d'améliorer très significativement l'échappement en réalisant des manœuvres d'ouvrage synchronisées avec les pics d'activité des anguilles argentées. Les informations sur les pics d'activité sont fournies par les pêcheurs dont les captures augmentent à ce moment. Il est indispensable de mettre en place un système de veille qui permette aux gestionnaires des vannages d'organiser systématiquement des manœuvres d'ouvrage permettant de créer un courant perceptible par les anguilles argentées en période d'activité. Cela nécessite de réformer de manière urgente les règlements préfectoraux des ouvrages de Maison Blanche et de Bouaye.**

### *4.4.2 Améliorer le franchissement des barrages.*

Durant la phase d'exploration, les anguilles argentées vont faire l'apprentissage de la configuration du lac et repérer les exutoires. Pour pouvoir sortir, il ne suffit pas que les vannes soient ouvertes. Il faut qu'elles le soient suffisamment. L'étude de télémétrie conduite entre 2015 et 2017 a permis de caractériser les modalités d'ouverture des différents vannages permettant le passage des anguilles argentées.

- *Le vannage de Bouaye*

96 % des anguilles argentées qui s'échappent passent par le vannage de Bouaye. Il représente donc la voie principale de migration. Les passages d'anguille s'effectuent lorsqu'il y a coïncidence entre l'arrivée des anguilles au pied du vannage et l'ouverture des vannes. L'ouverture

## - Discussion -

des vannes crée un appel d'eau qui est perçu par les anguilles au sein du lac, et leur permet de s'orienter vers la sortie du lac.

En 2017, les anguilles sont passées par surverse de la vanne centrale, à condition que la lame d'eau dépasse 20 cm. La plupart d'entre elles passent sous la vanne lorsque l'ouverture est de plus de 50 cm.

Cependant, tout comme l'année précédente, en dehors de cette synchronisation entre l'élévation du niveau d'eau et l'ouverture des vannes, les anguilles ont peu de moyen de s'orienter et de trouver la (ou les) sorties du lac. Aucune anguille n'a quitté le lac après le 2 avril 2017, malgré le fait que les vannes soient restées ouverte jusqu'au 22 avril.

- *Le seuil de Maison Blanche*

Peu d'anguilles empruntent le seuil de maison blanche. Les passages ont été constatés à des niveaux d'eau de 2,20 m (soit 40 cm au-dessus du seuil de surverse), caractéristique de la lame d'eau au moment des passages.

Le seuil de maison blanche est une voie de migration accessoire représentant 4 % des passages, soit potentiellement environ 7 600 individus sur les 190 000 du lac.

**L'utilisation de trois voies d'échappement montre la capacité des anguilles migrantes à exploiter toutes les sorties possibles mais l'échappement observé cette saison reste particulièrement faible. Si l'on prend en compte le sex-ratio, cela représente seulement 7,8 % de la population totale estimée d'anguille argentée du lac de Grand Lieu. L'échappement est principalement réalisé au cours d'une fenêtre temporelle très réduite qui correspond à une ouverture des vannes de l'ouvrage de Bouaye synchronisée avec une élévation du niveau d'eau du Lac.**

## 6. Bibliographie

- Acou, a, Lefebvre, F., Contournet, P., Poizat, G., Panfili, J., & Crivelli, A. (2003). Silvering of Female Eels (*Anguilla anguilla*) in Two Sub-Populations of the Rhone Delta. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 368, 55–68.
- Acou, A., Boury, P., Laffaille, P., Crivelli, A. J., & Feunteun, E. (2005). Towards a standardized characterization of the potentially migrating silver European eel (&lt;I&gt;Anguilla anguilla&lt;/I&gt;, L.). *Archiv Für Hydrobiologie*, 164(2), 237–255.
- Acou, A., Laffaille, P., Legault, A., & Feunteun, E. (2008). Migration pattern of silver eel (*Anguilla anguilla*, L.) in an obstructed river system. *Ecology of Freshwater Fish*, 17(3), 432–442.
- Acou, a., & Gabriel, G. (2009). Differential production and condition indices of premigrant eels in two small Atlantic coastal catchments of France. *Eels at the Edge: ...*, 33(0), 250–281.
- Acou A., Boury P., Boisneau C., Bodin M., Feunteun E., (2010). Estimation du potentiel reproducteur en anguilles argentées de la Loire amont : saisons de migration 2001-05 à 2008- 09. Rapport du Muséum National d’Histoire Naturelle, CRESCO, Dinard. 40 p
- Acou A., Boisneau C., Bodin M., Bultel E., Boury P et Feunteun E, 2015. Evaluation du flux annuel d’anguilles argentées produit en Loire fluviale (amont d’Ancenis) pour 6 saisons d’avalaison (de 2001/02 à 2004/05, 2008/09 et 2012/13) et étude du comportement d’avalaison jusqu’à l’estuaire par télémétrie acoustique (saison 2011/12). Rapport final. Station Marine de Dinard. Muséum National d’Histoire Naturelle
- Adam G. et Elie P., (1994). Mise en évidence des déplacements d'anguilles sédentaires (*Anguilla anguilla* L.) en relation avec le cycle lunaire dans le lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique). *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (1994) 335 : 123-132.
- Adam G., (1997). L’anguille européenne (*Anguilla anguilla*) : dynamique de la sous-population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques. Université Paul Sabatier, Toulouse II, spécialité hydrobiologie, thèse de doctorat, 353 p.
- Adam G., Feunteun E., Prouzet P., Rigaud C., coordinateurs, (2008). L’anguille européenne. Indicateurs d’abondance et de colonisation. Quae Editions. 393 p.
- Amilhat E., (2007). Etat sanitaire de l’anguille européenne *Anguilla anguilla* dans le bassin Rhône Méditerranée et Corse : synthèse bibliographique. Rapport Pôle lagunes et Cépralmar. CBETM, Université de Perpignan. 88p.
- Amilhat, E., Lorenzen, K., Morales, E. J., Yakupitiyage, A., & Little, D. C. (2009). Fisheries production in Southeast Asian farmer managed aquatic systems (FMAS): I. Characterisation of systems. *Aquaculture*, 296(3), 219-226.

- Bibliographie -

- Aprahamian M. W., (1988). Age structure of eel, *Anguilla anguilla* (L.), populations in the River Severn, England, and the River Dee, Wales. *Aquaculture and fisheries management*. 19: 365-376.
- Arnason, A. N., Kirby C. W., Schwarz C. J., and Irvine J. R., (1996). Computer analysis of data from stratified mark-recovery experiments for estimation of salmon escapements and other populations. *Can. Tech. Rep. Fish.Aquat. Sci.* 2106: 37 p.
- Ashworth, S.T. et Blanc, G., (1997). *Anguillicola crassus*, un colonisateur agressif récemment introduit dans les stocks européens d'anguilles. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 344/345 : 335-342.
- Bagliniere J.L., Castanet J., Conand F., Meunier F.J., 1992. Terminologie en schlérochronologie chez les vertébrés, in Baglinière J.L., Castanet J., Conand F., Meunier F.J. ed., *Tissus dur et âge individuel des vertébrés*, INRA ORSTOM, Bondy, 443-447.
- Baisez A. et Laffaille P., (2005). Un outil d'aide à la gestion de l'anguille : le tableau de bord anguille du bassin Loire. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*. 378-379 : 115-130.
- Baisez A., (2006). INDICANG : Rapport d'Etape - Bassin Loire – LOGRAMI. 26 p.
- Beaulaton, L. and Pénil, C., 2009. Protocoles spécifiques anguille pour l'ONEMA. ONEMA, 48.
- Belpaire C., De Charleroy D., Thomas K., Damme Van P. et Ollevier E., (1989). Effects of eel restocking on the distribution of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus* in Flanders. Belgium. *J. Appl. Ichthyol.* 5 : 151-153.
- Berge, J., Biondi, A., Machi, P., Brunel, H., Pierot, L., Gabrillargues, J., ... & Bonafé, A. (2012). Flow-diverter silk stent for the treatment of intracranial aneurysms: 1-year follow-up in a multicenter study. *American Journal of Neuroradiology*, 33(6), 1150-1155.
- Bertin L., (1951). *Les Anguilles. Variation, Croissance, Euryhalinité, Toxicité, Hermaphroditisme juvénile et Sexualité, Migrations, Métamorphoses*. Paris : Payot. 188 p.
- Beullens K., Eding E.H., Gilson P., Ollevier F. And Richter C.J.J., 1997 b. Gonadal differentiation inter-sexuality and sex-ratios of European eel (*anguilla anguilla*L.) maintained in captivity. *Aquaculture*, 153: 135-150
- Beullens K., Eding E.H., Ollevier F., Komen J. And Richter C.J.J., 1997a. Sex differentiation, changes in length, weight and eye size before and after metamorphosis of European eel (*Anguilla anguilla*L.) maintained in captivity. *Aquaculture*, 153: 151-162
- Bevacqua D., Melia P., Crivelli A. J., Gatto M., De Leo G., (2007). Multi-objective assessment of conservation measures for the European eel (*Anguilla anguilla*): an application to the Camargue lagoons. *ICES Journal of Marine Science*. 64: 483-1490.

## - Bibliographie -

- Boëtius I., (1989). Preliminary report on the occurrence of *Anguillicola* in the some Danish fresh and seawater areas. EIFAC FAO Working Party on eel. Porto. Portugal. 5p.
- Boubée J., Mitchell C.P., Chisnall B.L., West D.W., Bowman E.J., Haro A., (2001). Factors regulating the downstream migration of mature eels (*Anguilla spp.*) at Aniwhenua. Dam, Bay of Plenty. New Zealand. *New Z. J. Mar. Freshw. Res.* 35 : 121-134.
- Boulenger, C. 2014. Ajustements dynamiques des sous-populations d'anguilles européennes et traits d'histoire de vie : apport du marquage individuel par PIT-tag pour la conservation. Thèse doctorat : Physiologie et biologie des Organismes - Populations - Interactions : Muséum national d'histoire naturelle (2014) 264p.
- Boulenger, C. Acou, A. Trancart, T., Crivelli, A.-j. Feunteun, E., 2015. Length–weight relationships of the silver European eel, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758), across its geographic rang. *Journal of Applied Ichthyology* , 427-430
- Boulenger C., Acou A., Gimenez O., Charrier F., Tremblay J. & Feunteun E. (2016). Factors determining survival of European eels in two unexploited sub-populations. *Freshwater Biology*. doi: 10.1111/fwb.12759.
- Briand C., Bardonnnet A., Rigaud C., coordonnateurs, (2008). Connaissances et recommandations scientifiques du GRISAM pour la mise en œuvre française du règlement européen visant à restaurer le stock d'anguille. GRISAM / Cemagref / Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. 52 p.
- Brothers E.B., 1987. Methodological approaches to the examination of otoliths in ageing studies, in R.C. Summerfelt and G.E. Hall ed., *Age and Growth of Fish*, Iowa State University Press, Ames, 544p.
- Bruslé J., (1994). L'Anguille européenne *Anguilla anguilla*, un poisson sensible aux stress environnementaux et vulnérable à diverses atteintes pathogènes. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 335: 237-260.
- Bush A, Kevin D. Lafferty, Jeffrey M. Lotz and Allen W. Shostak, (1997). *Parasitology Meets Ecology on Its Own Terms: Margolis et al. Revisited*
- Buston M, Elith J, (2011). Determinants of reproductive success in dominant pairs of clownfish: a boosted regression tree analysis
- Campana S.E., Neilson J.D., 1985. Microstructure of Fish otoliths, *Canadian Journal of Fisheries and Aquacultures Science*, 42, 1014-1032.
- Can Estri-Trotti G., (1987). Occurrence of the Nematode *Anguillicola crassa* Kuwahara, Niimi et Itagaki, 1974 in eels from the Po delta. *Italy. Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.*, 7: 109- 111.
- Caron F., Verrault G. et Rochard E., (2003). Estimation of the population size, exploitation rate, and escapement of silver-phase American eels in the St. Lawrence watershed. *Biology, Management and Protection of Catadromous Eels*. DIXON D.A. (ed.). American Fisheries Society Symposium. Bethesda. Maryland. USA. 33: 235-242.

## - Bibliographie -

- Carpentier A., Marion L., Paillisson J. -M., Acou A., Feunteun E., 2009. Effects of commercial fishing and predation by cormorants on the *Anguilla Anguilla* stock of a shallow eutrophic lake. *Journal of Fish Biology* 74, 2132-2138.
- Carss D. N. and Ekins G. R., (2002). Further European integration: mixed sub-species colonies of great cormorants *Phalacrocorax carbo* in Britain - colony establishment, diet, and implications for fisheries management. *Ardea*. 90 : 23-41.
- Charrier F, Mazel V, Caraguel J-M, Abdallah Y, Le Gurun LL, Legault A, Laffaille P. 2012. Escapement of silver-phase European eels, *Anguilla anguilla*, determined from fishing activities in a Mediterranean lagoon (Or, France) *ICES J. Mar. Sci.* 69(1): 30-33
- Charrier F., Le Gurun L., Abdallah Y., Legault A., Caraguel J.-M., Blanck A., LebeL I., (2010). Contribution à l'amélioration des connaissances et à la gestion de l'Anguille européenne, *Anguilla anguilla*, dans les lagunes méditerranéennes - Cas de l'Etang de l'Or. Rapport CEPRALMAR. Groupement MRM/FISH PASS. 135 p.
- Charrier F., Mazel V., Caraguel J.M., Abdallah Y., Le Gurun L., Legault A., Lafaille P., (2011) Escapement of silver-phase European eels, *Anguilla anguilla*, determined from fishing activities in a Mediterranean lagoon (Or, France)
- Clairbaux M., 2017. Etude du comportement pré-migratoire et de l'échappement des anguilles argentées du lac de Grand-Lieu.
- Cucherousset J., Paillisson J. M., Roussel J. M., (2007). Using PIT-telemetry to study the fate of hatchery-reared YOY northern pike released into shallow vegetated areas. *Fisheries Research*. 85: 159-164.
- Cucherousset J., Roussel J. M., Keeler R., Cunjak R.A., Stump R., (2005). The use of two new portable 12-mm PIT-tag detectors to track small fish in shallow streams. *North American Journal of Fisheries Management*. 25: 270-274.
- Dahl J., 1967. Some recent observations on the age and growth of eels, *Proc. Br. Coarse Fish. Conf.*, 3, 48-52.
- Dannewitz J., Maes G.E., Johansson L., Wickström H., Volckaert F., Järvi T., (2005). Panmixia in the European eel: a matter of time ?. *Proc. R. Soc. B*. 272: 1129-1137.
- De Bonviller A., (2014). Mise en place d'un protocole expérimental de gestion de niveaux d'eau du lac de Grand Lieu. Rapp. relatif à la mission A. ISL. 172p.
- De Charleroy D., Thomas K., Belpaire C. et Ollevier F., (1989). The viability of the free-living larvae of *Anguillicola crassus*. *J. Appl. Ichthyol.* 5 : 154-156.
- Deelder C.L., (1984). Exposé synoptique des données biologiques sur l'anguille, *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). *FAO Fisheries Synopsis* 80. 1 : 73 p.
- Dekker W., (2000). Impact of eel exploitation on spawner production in Lake IJsselmeer. The Netherlands. *Dana* 12 : 17-32.

## - Bibliographie -

- Dekker W., 1987. Further results on age reading of European eel using tetracycline labelled otoliths, EIFAC, Working Group on Eel, Bristol, Grande Bretagne, 8p.
- Dekker, W. (2004). Did lack of spawners cause the collapse of the European eel, *Anguilla anguilla*?, Fisheries Management and Ecology. 10: 365-376.
- Domingos I., Costa J. L. and Costa M. J., (2006). Factors determining length distribution and abundance of the European eel, *Anguilla anguilla*, in the River Mondego. Portugal. Freshwater Biology. 51 : 2265-2281.
- Dufland J.F., Marion L. et Pourreau J., (2006). Grands échassiers et cormorans nicheurs en 2000 en Loire-Atlantique. Spatule. 12 : 47 p.
- Durif C., (2003). La migration d'avalaison de l'anguille européenne *anguilla anguilla* : caractérisation des fractions dévalantes, phénomène de migration et franchissement d'obstacles. Université de Toulouse III. Thèse de doctorat. 350 p.
- Egusa S., (1979). Notes on the culture of the European eel (*Anguilla anguilla* L.) in Japanese eel-farming ponds. Rapp. P-v. Réunion. Cons. Int. Explor. Mer. 174: 51-58.
- Elie, P., Girard, P. - 2014. La santé des poissons sauvages : les codes pathologie, un outil d'évaluation. Peyney : Association Santé Poissons Sauvages, 286 p.
- Elith J., Leathwick J.R., Hastie T., (2008). A working guide to boosted regression trees
- Engström H., (2001). Effects of great cormorant predation on fish populations and fishery. PhD Thesis, University of Uppsala. 39 p.
- Feunteun E., (2012). Le rêve de l'anguille une sentinelle en danger. Petite encyclopédie sur un poisson extraordinaire. Buchot Castel Ecologie.
- Fonteneau F., Le Gentil J., Paillisson J.M., Carpentier A., et Marion L., (2004). Etude de la prédation des grands cormorans (*Phalacrocorax carbo*) hivernant dans l'ouest de la France. Eco Bio Université Rennes 1. CNRS : 52 p.
- Gauldie R.W., Nelson D.G. A., 1990. Otolith growth in fish, Comparative of Biochemistry and Physiology, 97, 119-135.
- Gibbons JW, Andrews KM (2004) PIT tagging: simple technology at its best. Bioscience 54:447– 454
- Gibrat B. et Nielsen T. (1985). Recherches sur la nutrition des juvéniles de l'anguille (*Anguilla anguilla*, 1758). Conditionnement alimentaire et croissance en circuit fermé. Thèse de 3e cycle. Institut national polytechnique de Toulouse. 323 p.
- Girard P. et Elie P., (2007). Manuel d'identification des principales lésions anatomomorphologiques et des principaux parasites externes des anguilles. CEMAGREF / Asso. « Santé Poissons Sauvages ». Etude Cemagref n°110. Groupement de Bordeaux. 81 p.

## - Bibliographie -

- Gosset C., Travade F., Durif C., Rives J., Garaicoechea C., (2000). Etude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée – Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique de Halsou (Nive, 64). INRA/EDF. Rapport de contrat. 35 p.
- Haro A. J., (1991). Thermal preferenda and behavior of Atlantic eels (genus *Anguilla*) in relation to their spawning migration. *Environ. Biol. Fish.* 31: 171-184.
- Haro A 2003. Downstream Migration of Silver-Phase Anguillid Eels. In Aida, K., K. Tsukamoto & K. Yamauchi (Eds). *Eel Biology*, Springer Verlag (Tokyo), 215-222.
- 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.
- Höglund J., Andersson J., Wickström H., Reizenstein M., (1993). The distribution of *Anguillicola* in Sweden and its association with thermal discharge areas. *Irish Fisheries Investigations. series A (Freshwater)*. 36: 143-150.
- Holmgren K., (1996). Effect of water temperature and growth variation on the sex ration of experimentally reared eels, *Ecology of Freshwater Fish*. 5: 203-212.
- ICES, (2008). Report of the 2008 session of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels. FAO / ICES. Rome / Copenhagen. 646 p.
- ISL. 2014 Mise en place d'un protocole expérimental de gestion de niveaux d'eau du lac de grand lieu Rapport relatif à la mission A, 172p
- Keller T., (1995). Food of Cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* wintering in Bavaria, Southern Germany. *Ardea*. 83: 185-192.
- Kennedy C. R. et Fitch D. J., (1990). Colonization, larval survival and epidemiology of the nematode *Anguillicola crassus*, parasitic in the eel, *Anguilla anguilla*, in Britain. *J. Fish Biol.* 36 :117-131.
- Klein Breteler J., Vriese T., Borchering J., Breukelaar A., Jörgensen L., Staas S., De Laak G., and Ingendahl D.,(2007). Assessment of population size and migration routes of silver eel in the River Rhine based on a 2-year combined mark-recapture and telemetry study. *ICES Journal of Marine Science*. 64: 1450–1456.
- Knopf K., Wiirtz J., Sures B., Taraschewski H., (1998). Impact of low water temperature on the development of *Anguillicola crassus* in the final host *A. anguilla*. *Dis Aquat Org.* 33 :143-149.
- Koie M., (1991). Swimbladder nematodes (*Anguillicola spp.*) and gill monogeneans (*Pseudodactylogyrus spp.*) parasitic on the European eel (*Anguilla anguilla*). *J. Cons. Int. Explor.* 47: 391-398.
- Koops H. et Hartmann F., (1989). *Anguillicola* infestations in Germany and in German eel imports. *J. Appl. Ichthyol.* 1 : 41-45.

## - Bibliographie -

- Laffaille P., Feunteun E., Baisez A., Robinet T., Acou A., Legault A., Lek S., (2003). Spatial organization of European eel (*A. anguilla*) in a small catchment. *Ecology of freshwater fish*. 12: 254-264.
- Laffaille, P., Acou, A., Guillouet, J., Mounaix, B., and Legault, A. 2006. Patterns of silver eel (*Anguilla Anguilla* L.) sex ratio in a catchment. *Ecology of Freshwater Fish*, 15: 583–588.
- Larsson P., (1984). Uptake of sediment released PCBs by the eel *Anguilla anguilla* in static model systems. *Ecol. Bull.* 36: 62-67.
- Legault, A. (1988). "Le franchissement des barrages par l'escalade de l'anguille. Etude en Sèvre niortaise." *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*. 308. 1-10. [dx.doi.org/10.1051/kmae:1988010](https://doi.org/10.1051/kmae:1988010).
- 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. [dx.doi.org/10.1051/kmae:1992016](https://doi.org/10.1051/kmae:1992016).
- Le Louarn, H., (2003). Qualitative and quantitative estimation of the Great Cormorant *Phalacrocorax carbo* diet. *Cormorant Research Group Bulletin*. 5: 26-30.
- Lefebvre F., Acou A., Lecomte Finiger R. et Crivelli A. J., (2003). Anguillicolosis among silver eels: a 4-year survey in 4 habitats from Camargue (Rhône delta, south of France). *Bull. Fr. Pêch. Piscic.* 368: 97-108.
- Lefebvre F., Contournet P. Et Crivelli A. J., 2002b. The health state of the eel swimbladder as a measure of parasite pressure by *Anguillicola crassus*. *Parasitology*, 124, 457-463.
- Legault, A. (1988). "Le franchissement des barrages par l'escalade de l'anguille. Etude en Sèvre niortaise." *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*. 308. 1-10. [dx.doi.org/10.1051/kmae:1988010](https://doi.org/10.1051/kmae:1988010).
- 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. [dx.doi.org/10.1051/kmae:1992016](https://doi.org/10.1051/kmae:1992016).
- Leo, G. D., & Gatto, M. (1995). A size and age-structured model of the European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(7), 1351-1367.
- 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: 275-309.
- Machut L., Limburg K., Schmidt R. et Dittman D., (2007). Anthropogenic impacts on American eel demographics in Hudson River tributaries, New York. *Trans. Am. Fish. Soc.* 136: 1699-1713.
- Maréchal C., (2004). Rapport technique du Groupe d'Intérêt pour les poissons, la pêche et l'aquaculture ; Rapport technique région Wallone. 119 p.

## - Bibliographie -

- Marion L., (1990). Les oiseaux piscivores et les activités piscicoles. Impact et protection. Ed. Ministère Environnement & Ministère Agriculture. Paris. 28 p
- Marion L., (2014). Recensement national des grands cormorans nicheurs en France en 2012. MEDDE-SESLG Université Rennes1-CNRS. 21 p.
- Melià P., Bevacqua D., Crivelli A.J., Panfili J., De Leo G.A. and Gatto M., (2006). Sex differentiation of the European eel in brackish and freshwater environments: a comparative analysis. *Journal of Fish Biology*. 69: 1228–1235.
- Moriarty C. et Dekker W., (1997). Management of European eel fisheries. Second report of EC concerted action AIR A94-1939. Dublin, Ireland. Fisheries Bulletin Marine Institute. 15: 110 p.
- Moriarty C., 1983. Age determination and growth rate of eels, *Anguilla anguilla* (L.), *Journal of Fish Biology*, 23, 257-264.
- Neumann W., (1985). Schwimmblasen parasit *Anguillicola* bei Aalen. *Fischer und Teichwirt*. 11 : 322 p.
- Newbold, L. R., Hockley, F. A., Williams, C. F., Cable, J., Reading, A. J., Auchterlonie, N., & Kemp, P. S. (2015). Relationship between European eel *Anguilla anguilla* infection with non-native parasites and swimming behaviour on encountering accelerating flow. *Journal of Fish Biology*, 86(5), 1519–1533.
- Nilo P. et Fortin. R. (2001). Synthèse des connaissances et établissement d'une programmation de recherche sur l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). Université du Québec à Montréal. Département des Sciences biologiques pour la Société de la faune et des parcs du Québec. Direction de la recherche sur la faune : Québec. 298 p.
- Pankhurst N. W., (1982). Relation of visual changes to the onset of sexual maturation in the European eel, *Anguilla anguilla* L.. *J. Fish Biol.* 21 : 417-428.
- Papon P., (2007). Les plans d'eau superficiels : définition, fonctionnement et aménagements Etude du lac Balaton, du lac de Grand-Lieu et de l'étang de Cieux. Université de Limoges. Ecole Doctorale 375 « Sciences de l'Homme et de la Société (S.H.S) ». Faculté des Lettres et des Sciences Humaines. U.M.R. CNRS 6042 Géolab. Discipline : Géographie. 316 p.
- Parsons, J., Vickers, K. U. et Warden, Y., (1977). Relationship between elver recruitment and changes in the sex ratio of silver eels *Anguilla anguilla* L. migrating from Lough Neagh, Northern Ireland. *J. Fish. Biol.* 10 : 211-229.
- Lambert, P., & Rochard, E. (2007). Identification of the inland population dynamics of the European eel using pattern-oriented modelling. *Ecological Modelling*, 206(1–2), 166–178.

## - Bibliographie -

- Plan de Gestion Anguille (PGA) - Rapport de mise en œuvre. Juin 2015. Règlement (CE) n°1100/2007. 89
- Plan de Gestion Anguille (PGA) – Volet Local : Loire. Règlement (CE) n°1100/2007. 49 p.
- Plan de Gestion Anguille (PGA) – Volet National : France. Février 2010. Règlement (CE) n°1100/2007. 116 p.
- Porcher J.P, Travade F, (1992). Les dispositifs de franchissement : bases biologiques, limites et rappels réglementaires. Bull. Fr. Pêche Piscic. 326-327 : 5-14.
- Righton D., Westerberg H., Feunteun E., Okland F., Gargan P., Amilhat E., Metcalfe J., Lobon-Cervia J., Sjoberg N., Simon J., Acou A., Vedor M., Walker A., Trancart T., Bramick U. and Aarestrup K. (2016). Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to the Sargasso Sea. Science Advances, vol. 2, n°10.
- Robins C.R., Cohen D.M and Robins C.H., (1979). The eels, *Anguilla* and *Histobranchus*, photographed on the floor of the deep Atlantic in the Bahamas. Bulletin of Marine Science. 29 : 401-45.
- Roussel J.M., Cunjak R.A., Newbury R., Caissie D., Haro A. (2004). Movements and habitat use by PIT-tagged Atlantic salmon parr in early winter: the influence of anchor ice. Freshwater Biology. 49 : 1026-1035.
- Sauvaget B., Fatin D. et Briand C., (2003). Contamination par *Anguillicola crassus* de cinq populations d'anguilles (*Anguilla anguilla*) du littoral de Bretagne Sud (France). Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. 368 : 21-26.
- Schippers C., Booms G.H.R. and Boon J.H., (1991). Susceptibility of *Anguillicola crassus* in the swimbladder of European Eel (*Anguilla anguilla*) to high water temperatures. Bull. Europ. Ass. Fish Pathol. 11 : 92-95.
- Schmidt J., (1925). The breeding places of the eel, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, series B, 385 : 179-208.
- Simkiss, K., (1974). Calcium metabolism of fish in relation to ageing. In : Bagenal, T.B. (Eds.) Ageing of Fish. Proceedings of an International Symposium. Old Working Survey England Unwin Brothers. 1 : 12 p.
- Sinha V.R.P. and Jones J.W., (1975). The European freshwater eel. Liverpool Univ. Pr. 146 p.
- Smogor R.A., Angermeier P.L. et Gaylord C.K., (1995). Distribution and abundance of American eels in Virginia streams : tests of null models across spatial scales. Trans. Am. Fish. Soc. 124 : 789-803.
- Sprengel G. et Lüchtenberg H., (1991). Infection by endoparasites reduces maximum swimming speed of European smelt *Osmerus eperlanus* and European eel *Anguilla anguilla*. Dis. Aq. Org. 11 : 31-35.

## - Bibliographie -

- Székelly C., (1994). Paratenic hosts for the parasitic nematode *Anguillicola crassus* in lake Balaton, Hungary. *Dis. aquat. Org.* 18 : 11-20.
- Tapie N., (2006). Contamination des écosystèmes aquatiques par les PCB et PBDE : Application à l'estuaire de la Gironde. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, 230 p.
- Tesch F.W., (1977). The eel. *Biology and Management of Anguillid eels*. Londres. Chapman and Hal. 434 p.
- Thomas K. et Ollevier F., (1992). Paratenic hosts of the swimbladder nematode *Anguillicola crassus*. *Diseases of Aquatic Organisms*. 13 : 165-174.
- Todd P.R., (1981). Timing and periodicity of migrating New Zealand freshwater eels (*Anguilla spp.*). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 15 : 225-235
- Trancart, T. (2011). Analyse comparative des tactiques déployées lors de la migration de colonisation des bassins versants par les poissons migrateurs amphihalins thalassotoques (Doctoral dissertation, Bordeaux 1).
- 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*, (June)
- Tsukamoto K, Nakai I, Tesch WV (1998) Do all freshwater eels migrate? *Nature* 396:635
- Tsukamoto K., Kajihara T., 1987. Age determination of ayu with otolith, in R.C. Summerfelt and G.E. Hall ed., *Age and Growth of Fish*, Iowa State University Press, Ames, 544p.
- Van Willigen J. et Dekker W., (1989). Update on *Anguillicola* in Dutch waters. EIFAC Working Party on Eel, Porto, Portugal. 8 p.
- Vollestad L. A., Jonsson B., Hvidsten N. A. et Naesje T. F., (1994). Experimental test of environmental factors influencing the seaward migration of European silver eels. *J. Fish. Biol.* 45 : 641-651.
- Vollestad L.A., Jonsson B., Hvidsten A.A., Naeste T.F., Haraldstad O., Ruud-Hansen J., (1986). Environmental factors regulating the seaward migration of European silver eels (*Anguilla anguilla*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43 : 1909-1916.
- Vollestad L.A., Lecompte-Finiger R., Steinmetz B., 1987. Age determination of *Anguilla anguilla* and related species, EIFAC, Working Party on Eel, Bristol, Grande Bretagne, 27 p.


**- Bibliographie -**

Wiley D., Morgan II R., Hilderbrand R., Raesly R. et Shumway D., (2004). Relations between physical habitat and American eel abundance in five river basins in Maryland. Trans. Am. Fish. Soc. 133 : 515-526.


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.

## 7. Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques techniques des émetteurs hydroacoustiques implantés (THELMA)


Photographie			
	Mâle	/	Femelle
	ID tags 7.3	/	ID tags 9
<b>Longueur (mm)</b>	18.5	/	23
<b>Diamètre (mm)</b>	7.3	/	9
<b>Poids dans l'air (g)</b>	1.9	/	4
<b>Délai minimal (s)</b>	30		
<b>Délai maximal (s)</b>	90		
<b>Autonomie estimée (mois)</b>	5	/	14
<b>Fréquence d'émission (kHz)</b>	69		
<b>Nombre de pulse codant</b>	7		

Annexe 2 : Caractéristiques techniques des récepteurs hydroacoustiques installés (hydrophones VEMCO)

Photographie		
	VR2W	
<b>Longueur (mm)</b>	308	
<b>Diamètre (mm)</b>	73	
<b>Fréquence de réception (kHz)</b>	69	
<b>Autonomie (mois)</b>	15	
<b>Capacité de stockage (millions de détection)</b>	1.6	
<b>Système de téléchargement</b>	Bluetooth	

**- Annexes -**

**Annexe 3 : Caractéristiques techniques des récepteurs hydroacoustiques installés  
(hydrophones THELMA)**

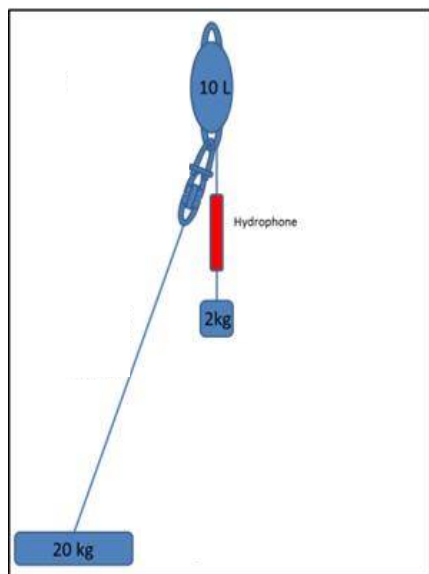
<b>Photographie</b>	
	TBR 700
<b>Longueur (mm)</b>	230
<b>Diamètre (mm)</b>	75
<b>Fréquence de réception (kHz)</b>	69
<b>Autonomie (mois)</b>	9
<b>Capacité de stockage (millions de détection)</b>	1.5
<b>Capteur de Température (°C)</b>	OUI
<b>Système de téléchargement</b>	Bluetooth

**Annexe 4 : Dates des marquages et nombre d'anguilles argentées marquées**

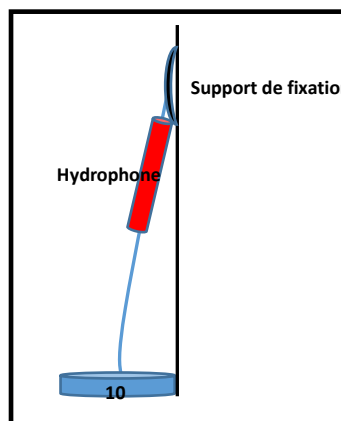
<b>Date du marquage</b>	<b>Nombre d'anguilles marquées</b>
30 Septembre 2016	30 mâles
7 Novembre 2016	24 femelles
29 Novembre 2016	28 femelles

- Annexes -

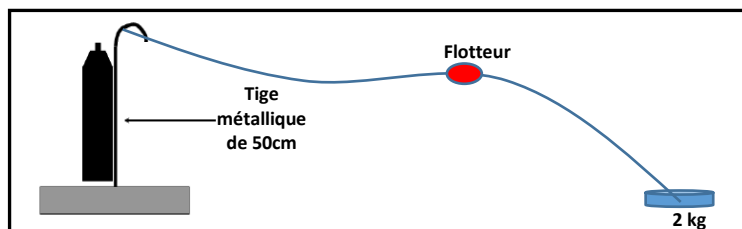
Annexe 5 : Systèmes de fixation utilisés pour la mise en place des hydrophones



- Système utilisé pour tous les hydrophones du lac



- Système furtif utilisé le long d'un support en aval du lac



- Système furtif utilisé en plein eau en aval du lac

- Annexes -

Annexe 6 : Illustrations



Figure 117 : Photo de la bouée de signalisation d'un hydrophone dans le lac de Grand Lieu

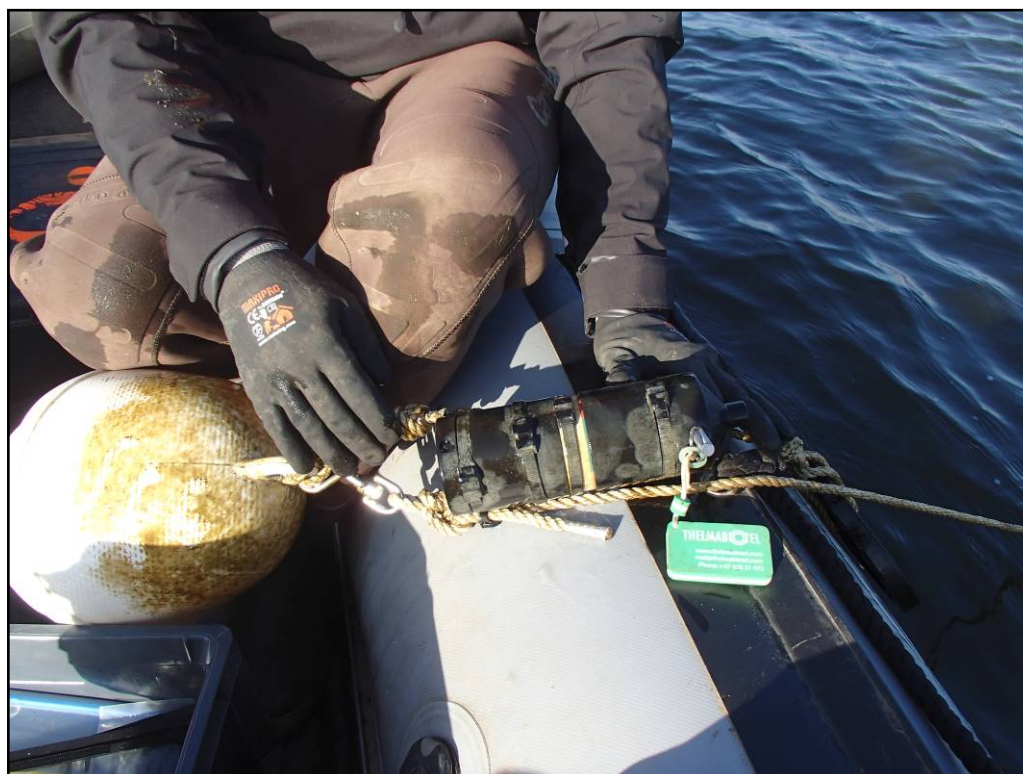


Figure 118 : Photo de l'extraction des données d'un hydrophone Thelma sur le lac



Figure 119 : Photo du système de fixation d'un hydrophone sur le lac



Figure 120 : Photo de l'extraction de données d'un hydrophone VEMCO sur le lac (1)

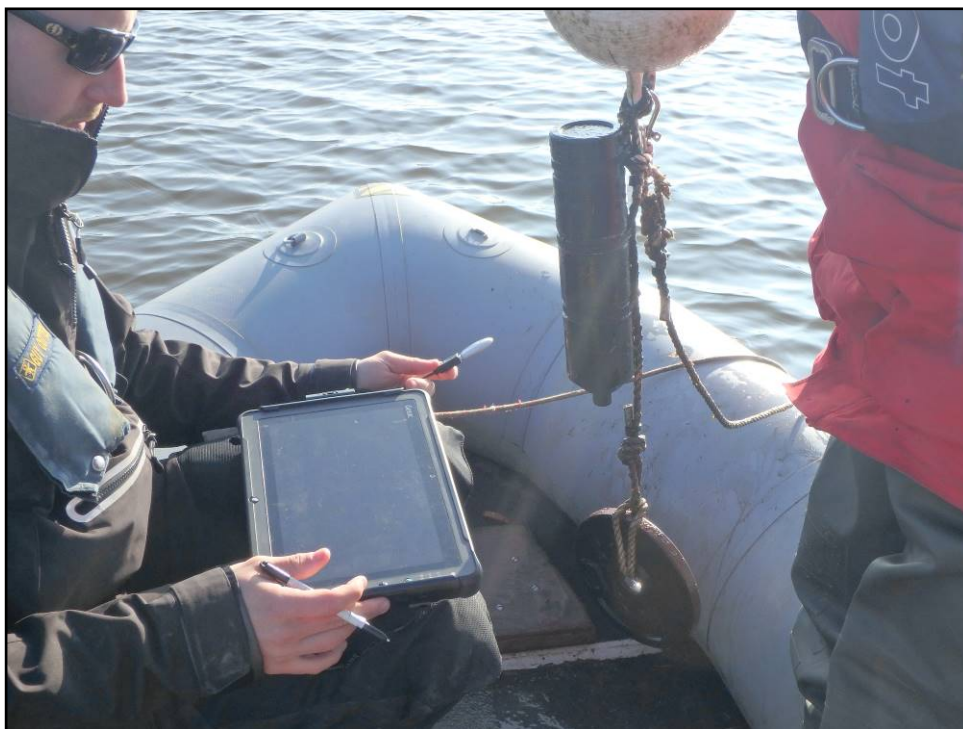


Figure 121 : Photo de l'extraction d'un hydrophone VEMCO sur le lac (2)