



PLAN  
LOIRE  
GRANDEUR NATURE

Rapport phase 3

EVALUATION DU STOCK DE SAUMONS  
ENTRANT EN ESTUAIRE DE LA LOIRE ET  
ETUDE DU COMPORTEMENT MIGRATOIRE  
JUSQU' AUX SECTEURS AMONT, PHASE 3

Romain GADAIS, Nicolas HOUDOUIN, Eric FEUNTEUN, Guillaume EVANNO

2014

Évaluation du stock de saumons entrant en estuaire  
de la Loire et étude du comportement migratoire  
jusqu'aux secteurs amont

Rapport de phase 3

## **REMERCIEMENTS**

Lors de cette étude, différents partenaires sont intervenus et nous ont été d'une aide précieuse. A ce titre, nous tenons à remercier :

- Le personnel du Muséum National d'Histoire Naturelle de la station marine de Dinard (MNHN-CRESCO),
- Les associations de pêcheurs professionnels du bassin de la Loire (AAIPPBLB et AADPPMFEDLA),
- L'association LOGRAMI pour leur collaboration précieuse (détection des marques TIRIS) et leur retour d'expérience sur le radiopistage,
- L'association des pêcheurs amateurs aux engins et aux filets de Loire-Atlantique (ADAPAEF-44),
- Le GIP Loire Estuaire pour leur partenariat et la fourniture de données environnementales,
- Voies Navigables de France pour la mise à disposition des bouées de navigation pour y installer nos hydrophones à l'amont de Nantes,
- La Subdivision Phares & Balises de Saint-Nazaire pour la mise à disposition des bouées de navigation pour y installer nos hydrophones à l'aval de Nantes,
- Le Conseil Général de Loire-Atlantique pour la mise à disposition de pontons supportant nos hydrophones,
- Les associations Endremage et La Chavannée et le CETU Elmis pour l'entretien des hydrophones,
- Les Chantiers de l'Esclain pour la mise à disposition d'une barge supportant un hydrophone,
- La DREAL Pays-de-la-Loire pour la fourniture de données hydro-climatiques,
- M. Frédéric TOUZALIN pour son aide précieuse lors du marquage des Lamproies.

# SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	7
1 OBJECTIFS ET ENJEUX DE L'ETUDE.....	7
1-1 ENJEUX GENERAUX.....	7
1-2 PLAN DE GESTION DES POISSONS MIGRATEURS DU BASSIN DE LA LOIRE, DES COTIERS VENDEENS ET DE LA SEVRE NIORTAISE 2009-2013 ...	8
2 CYCLE DE VIE DES ESPECES ETUDIEES.....	9
2-3 LE SAUMON ATLANTIQUE.....	9
2-4 LA GRANDE ALOSE ET L'ALOSE FEINTE.....	10
2-5 LA LAMPROIE MARINE.....	11
3 SITE D'ETUDE.....	12
MATERIEL ET METHODES.....	15
1 CAPTURE.....	15
1-1 TECHNIQUE DU FILET BARRAGE.....	15
1-1 TECHNIQUE DU FILET DERIVANT.....	17
1-2 TECHNIQUE DU FILET FIXE.....	17
1-3 TECHNIQUE DES NASSES A LAMPROIES.....	18
2 MARQUAGE.....	19
2-1 ANESTHESIE, BIOMETRIE ET PRELEVEMENTS.....	19
2-2 MARQUAGE HYDROACOUSTIQUE OU HYBRIDE.....	20
2-3 MARQUAGE PIT-TAG.....	23
2-4 MARQUAGE EXTERNE.....	23
3 SYSTEME DE DETECTION.....	23
3-1 RESEAU D'HYDROPHONES.....	23
3-2 STATIONS DE DETECTIONS PIT-TAG.....	25
3-3 RADIOPISTAGE.....	25
4 PRINCIPE DE TRAITEMENT DES DONNEES.....	27
4-1 FORME DES DONNEES RECOLTEES.....	27
4-2 EXPLOITATION DES DONNEES.....	28
4-3 DONNEES EXTERNES.....	28
RESULTATS.....	30
1 EFFICACITE DES SYSTEMES DE TELEMETRIE.....	30
1-1 ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE.....	30
1-2 TEST DU SYSTEME ACOUSTIQUE.....	31
1-3 TEST DU SYSTEME RADIO.....	33
1-4 RECEPTION PAR LE RESEAU D'HYDROPHONES.....	34
1-5 RECEPTION PAR LES STATIONS PIT-TAG.....	34
2 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE LA PERIODE DE MARQUAGE.....	34
3 SAUMONS.....	36
3-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES.....	36
3-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS.....	38
3-3 ANALYSE DES PATRON DE MIGRATION.....	38
3-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX.....	44
4 ALOSES.....	45
4-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES.....	45
4-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS.....	46
4-3 ANALYSE DES PATRONS DE MIGRATION.....	46
4-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX.....	51
5 LAMPROIES MARINES.....	52
5-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES.....	52
5-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS.....	52
5-3 ANALYSE DES PATRONS DE MIGRATION.....	52
5-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX.....	54
DISCUSSION.....	55
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	58
BIBLIOGRAPHIE.....	59
ANNEXES.....	62

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Saumon atlantique – source : CSP.....	9
Figure 2 : grande Alose (en haut) et Alose feinte (en bas) – source : Samuel P. Iglésias, MNHN.....	10
Figure 3 : Lamproie marine - source : Ellen Edmonson and Hugh Chrisp.....	11
Figure 4 : répartition des effectifs de Lamproies marines comptabilisés aux stations de comptage de LOGRAMI – source : (BACH, et al., 2012).....	11
Figure 5 : la Loire, son bassin versant et ses 3 portions – source : <a href="http://formation-inondation.plan-loire.fr/iconographie">http://formation-inondation.plan-loire.fr/iconographie</a> .....	12
Figure 6 : photographie aérienne de la Loire amont - source : Imagerie ©2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Landsat, TerraMetrics, Données cartographiques ©2014 Google.....	13
Figure 7 : photographie aérienne de la Loire moyenne - source : Imagerie ©2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Landsat, TerraMetrics, Données cartographiques ©2014 Google.....	13
Figure 8 : photographies aériennes de la basse Loire – source : Imagerie ©2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Landsat, TerraMetrics, Données cartographiques ©2014 Google.....	14
Figure 9 : cartographie des sites de marquage et de détection mis en place.....	15
Figure 10 : schéma de principe du filet-barrage – source : (LUNEAU, et al., 2003).....	16
Figure 11 : principe de fonctionnement du filet tramail - source : (LUNEAU, et al., 2003).....	17
Figure 12 : nasse à Lamproie utilisée sur la Loire - source : (LUNEAU, et al., 2003).....	18
Figure 13 : schéma récapitulatif du protocole de marquage, (...) : étape facultative.....	19
Figure 15 : zone de prélèvement optimale des écailles sur les Aloses - source : (BOISNEAU, et al., 2011).....	20
Figure 15 : caractéristiques des marques Thelma employées.....	21
Figure 16 : Représentation schématique du signal émis par les tags acoustiques – source : GADAIS, R. 2011.....	21
Figure 17 : caractéristiques des marques Lotek employées.....	22
Figure 19 : mise en place de l'émetteur sur un Saumon.....	22
Figure 20 : Modèle de PIT-Tag implanté sur les poissons.....	23
Figure 21 : marque externe insérée sous la nageoire dorsale d'une Lamproie marine.....	23
Figure 21 : schéma de principe des installations d'hydrophones.....	25
Figure 22 : graphique théorique du signal en angulation.....	26
Figure 23 : graphique théorique du signal en homing-in (antenne orientée à 180° par rapport à l'émetteur).....	26
Figure 24 : dispositif de radiopistage employé en bateau.....	26
Figure 25 : types d'antennes utilisés et leur diagramme de réception.....	27
Figure 26 : exemple de données de détection téléchargées des hydrophones.....	27
Figure 27 : emplacement des stations de mesure SYVEL - source : GIP Loire Estuaire.....	29
Figure 28 : format des données de niveau d'eau dans l'estuaire – source : <a href="http://www.nantes.port.fr">www.nantes.port.fr</a> .....	29
Figure 30 : vue aérienne de la station de Thouaré – source : Imagerie ©2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Données cartographiques ©2014 Google.....	31
Figure 30 : comparaison des nombres et des distances de détection pour les différents modèles de marque.....	32
Figure 31 : distances maximales de réception des différents types d'antenne employés.....	33
Figure 32 : graphique des conditions hydro-climatiques durant la période de marquage et effectifs marqués.....	35
Figure 33 : histogrammes de fréquences de taille et poids des Saumons marqués.....	36

Figure 34 : répartition des âges des Saumons marqués .....	37
Figure 35 : différentes lésions remarqués sur les Saumons .....	38
Figure 36 : exemple de graphique de migration du groupe A (SASA-1212) .....	39
Figure 37 : graphique de migration de SASA-1210.....	40
Figure 38 : graphique de migration de SASA-1214.....	40
Figure 39 : exemple de graphique de migration du groupe C (SASA-1205) .....	41
Figure 40 : vue globale du site et Silure observé depuis la surface lors de la plongée .....	42
Figure 41 : exemple de graphique de migration du groupe D (SASA-1211).....	43
Figure 42 : carte de localisation des Saumons retrouvés en radiopistage.....	43
Figure 43 : exemple de graphique de migration du groupe E (SASA-1221).....	44
Figure 44 : histogrammes de tailles et poids des Aloses marqués .....	46
Figure 45 : graphique de migration d'ALAL-2004.....	47
Figure 46 : graphique de migration d'ALAL-1301.....	47
Figure 47 : illustrations de différents patrons de migration du groupe B.....	48
Figure 48 : exemple de patron de migration du groupe C (ALAL-2002).....	49
Figure 49 : exemple de patron de migration du groupe D (ALAL-2007).....	49
Figure 50 : exemple de patron de migration du groupe C (ALAL-2028).....	49
Figure 51 : graphique de migration d'ALAL-2033.....	50
Figure 52 : graphique de migration d'ALAL-2023.....	50
Figure 53 : conditions de débit et de température de la Loire durant la migration des Aloses.....	51
Figure 54 : histogramme des fréquences de Longueur totale.....	52
Figure 55 : graphique de migration de PEMA-2104.....	53
Figure 56 : graphique de migration de PEMA-2107.....	53
Figure 57 : graphique de migration de PEMA-2114.....	54
Figure 58 : conditions de débit et de température de la Loire durant la migration de PEMA-2104.....	54

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : mesures annexes étudiées dans ce projet.....	8
Tableau 2 : caractéristiques techniques des filets employés en fonction du site de pêche .....	17
Tableau 3 : composition du réseau d'hydrophone.....	24
Tableau 4 : localisation par triangulation des Saumons .....	41

# INTRODUCTION

## 1 OBJECTIFS ET ENJEUX DE L'ETUDE

### 1-1 ENJEUX GENERAUX

Le Saumon de Loire-Allier (*Salmo salar* L, 1758) se distingue des autres souches de Saumons atlantiques par l'éloignement entre les zones de grossissement (Nord de la mer de Norvège) et les zones de reproduction (Haut Allier notamment). Ce voyage de plusieurs milliers de kilomètre nécessite des capacités de nage importantes et explique la composition majoritaire de cette population en individus de plusieurs hivers de mer, ce qui est unique en Europe (Anonymes, 2012).

Cependant, malgré ces intérêts écologiques indéniables, certains traits d'histoire de vie du Saumon de Loire-Allier restent méconnus. C'est le cas de la quantité de géniteurs entrant dans l'estuaire de la Loire (1) et du comportement migratoire jusqu'aux zones de frayère (2).

(1) En effet, si un contrôle du nombre de géniteurs migrants vers l'amont des bassins versants est possible grâce aux stations de vidéo-comptages installées dans les passes à poisson et gérées par l'association LOire GRAnds Migrateurs (LOGRAMI), aucune connaissance n'est disponible sur la quantité de Saumon se présentant à l'entrée du bassin versant. Or, des mortalités de géniteurs sont très probables lors du parcours pour gagner les zones de frayère. Il serait donc intéressant de quantifier ces « pertes en ligne ».

(2) Des études du comportement migratoire existent sur des secteurs localisés (à proximité des obstacles et sur les zones de frayère essentiellement) mais aucune étude n'a été menée à grande échelle sur la Loire. Pourtant, une telle étude pourrait permettre de localiser des secteurs problématiques, entraînant des retards à la migration voire de la mortalité. En effet, il est indispensable pour les géniteurs, de rejoindre les zones amont fraîches avant la période estivale, le réchauffement des eaux étant un facteur de mortalité des géniteurs avant qu'ils aient pu frayer.

De plus, d'autres poissons migrateurs amphihalins telles que les Aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax fallax*) et la Lamproie marine (*Petromyzon marinus*) se reproduisent dans le bassin de la Loire mais leur comportement migratoire sur la Loire reste peu connu. Les études de la migration à grande échelle de ces trois espèces étant rares, un renforcement des connaissances pour une meilleure gestion est nécessaire (Bensettiti, F. & Gaudillat, V. (coord), 2000).

## 1-2 PLAN DE GESTION DES POISSONS MIGRATEURS DU BASSIN DE LA LOIRE, DES COTIERS VENDEENS ET DE LA SEVRE NIORTAISE 2009-2013

Le PLAGEPOMI 2009-2013 du bassin de la Loire soulève deux points nécessitant une amélioration des connaissances dans un but de conservation du Saumon atlantique. Le projet « Evaluation du stock de saumons entrant en estuaire de la Loire et étude du comportement migratoire jusqu'aux secteurs amont » se propose d'étudier ces deux points. Il s'agit :

- D'évaluer l'état du stock de Saumon entrant dans le bassin de la Loire par la mise en place d'une étude destinée à identifier le nombre de Saumons adultes entrant dans l'estuaire et leur état sanitaire (*Mesure 49*).
- De mettre en place un suivi des migrations de Saumons adultes sur l'ensemble de l'axe Loire-Allier pour identifier les zones à problème et préciser les causes des pertes en ligne (pit-tags, radiopistage) (*Mesure 50*).

Parallèlement à ces deux mesures principales, ce projet a vocation à répondre, partiellement, à d'autres mesures annexes tel que présentées dans le tableau ci-dessous.

*Tableau 1 : mesures annexes étudiées dans ce projet*

Mesures communes	Mesures SAUMON	Mesures ALOSES
<b>Mesure 17 :</b> Préciser l'impact de la qualité de l'eau sur les grands migrateurs  <b>Mesure 20 :</b> Organiser des colloques, des journées d'information	<b>Mesure 58 :</b> Evaluer la part de la contribution du repeuplement et de la reproduction naturelle à la population de Saumon du bassin  <b>Mesure 61 :</b> Associer les structures scientifiques existantes	<b>Mesure 77 :</b> Assurer un suivi de la reproduction de l'Alose afin de mieux connaître les zones de frai et les fronts de migration de cette espèce dans une optique de protection, de reconquête d'habitats et de maintien des stocks

## 2 CYCLE DE VIE DES ESPECES ETUDIEES

### 2-3 LE SAUMON ATLANTIQUE



Figure 1 : Saumon atlantique – source : CSP

Le Saumon atlantique (*Salmo salar* LINNAEUS, 1758) se reproduit dans les têtes de bassin durant l'hiver. Après l'éclosion, les alevins (*tacons*) passent 1 à 3 ans en rivière en fonction de leur croissance (MESNIER, et al., 2011). Lors du printemps, les

saumoneaux subissent des changements physiologiques permettant l'adaptation aux conditions marines et deviennent des *smolts* qui dévalent les cours d'eau pour rejoindre l'océan. La croissance en mer dure ensuite 1 à 3 années puis les géniteurs reviennent se reproduire dans leur rivière natale (phénomène de *homing*). Cette montaison a une durée variable en fonction de la date d'entrée en estuaire (en hiver ou au printemps), elle-même liée à l'âge de mer du Saumon.

Le Saumon atlantique fraie de Novembre à Février et acquiert sa maturité sexuelle au cours de la migration vers les sites de reproduction. La migration et la maturation (développement des gonades) une grande quantité d'énergie. Les géniteurs puisent donc dans leurs réserves de graisses constituées en mer car ils ne s'alimentent pas durant toute la montaison. Une fois parvenus sur les frayères, les géniteurs ne pèsent plus que 30 à 40% de leur poids en mer (Bensettiti, F. & Gaudillat, V. (coord), 2000).

Même si la très grande majorité des géniteurs meurt après la reproduction (semelparité), certains d'entre eux retournent en mer afin de réaliser un second cycle (GUEGUEN & PROUZET, 1994 *in* (MESNIER, et al., 2011)).

## 2-4 LA GRANDE ALOSE ET L'ALOSE FEINTE



Figure 2 : grande Alose (en haut) et Alose feinte (en bas) – source : Samuel P. Iglésias, MNHN

Deux espèces d'Aloses sont présentes sur la Loire : la grande Alose (*Alosa Alosa* LINNAEUS, 1758) et l'Alose feinte (*Alosa fallax fallax* LACEPEDE, 1803). Ces deux espèces sont des migrateurs amphihalins anadromes (BAGLINIERE & ELIE, 2000) appartenant à la famille des *Clupeidae* (CUVIER, 1817) comprenant également les harengs et les sardines. La grande Alose réalise sa croissance en mer (durant 3 à 8 ans) puis rejoint la partie moyenne et amont des fleuves, à la fin de l'hiver et au début du printemps, afin de frayer. Les

juvéniles (*alosos*) dévalent ensuite les fleuves afin de rejoindre progressivement le milieu marin.

La grande Alose est caractérisée par une écaillure irrégulière et désordonnée sur les flancs (Figure 2) contrairement à l'Alose feinte chez qui l'écaillure est homogène et ordonnée. Le nombre et la taille des branchiospines sont également plus élevés chez la grande Alose (supérieur à 90 sur le 1<sup>er</sup> arc branchial). Ce nombre est inférieur à 60 chez *Alosa fallax spp.* et compris entre 60 et 90 pour les Aloses hybrides (BOISNEAU, et al., 2011).

Concernant le bassin versant de la Loire, la grande Alose (*Alosa Alosa* LINNE, 1758) possède des zones de frayères naturelles situées sur la Vienne, la Creuse (respectivement jusqu'aux barrages de Châtellerault et Descartes) et sur l'axe Loire/Allier en amont du bec d'Allier (STEINBACH, 2001). Des zones de frayères forcées se situant en aval des obstacles à la migration (ex : frayère de Saint-Léger-des-Vignes située en aval du barrage de Decize) sont également recensées (BACH, et al., 2010).

La remontée des géniteurs dans l'estuaire de la Loire se fait généralement de Janvier à Juillet (MENESSION-BOISNEAU, 1990 in (BAGLINIERE & ELIE, 2000)). Ce sont, majoritairement, des individus âgés de 4 à 5 ans de vie en mer, avec un séjour en mer plus court pour les mâles que pour les femelles (BOISNEAU, et al., 2011). La grande majorité des géniteurs de grande Alose meurt après la phase de reproduction et ne redescend pas en mer (BAGLINIERE & ELIE, 2000) alors que les géniteurs d'Alose feinte survivent généralement et retournent en mer (ONEMA, s.d.).

Les températures d'eau généralement constatées sur les sites de frayères sont de 16-18°C pour *Alosa alosa* et 18-22°C pour *Alosa fallax spp.* (ONEMA, s.d.). Les Aloses font l'objet d'une pêche commerciale dans la partie estuarienne et fluviale de la Loire. Cette pêche vise principalement la grande Alose et s'effectue au filet dérivant ou fixe.

## 2-5 LA LAMPROIE MARINE

La Lamproie marine (*Petromyzon marinus* LINNEAUS, 1758) est un agnathe anadrome appartenant à la famille des *Petromyzontidae* (BONAPARTE, 1832).



Figure 3 : Lamproie marine - source : Ellen Edmonson and Hugh Crisp

Elle se reproduit de fin avril à juillet, lorsque la température de l'eau atteint 15 à 23°C, dans des nids creusés dans un substrat de graviers (Anonymes, 2009).

Les larves grandissent ensuite enfouies

dans le substrat en filtrant la matière organique pendant 3 à 7 ans puis dévalent pour gagner l'océan. Après plusieurs années en mer les géniteurs remontent ensuite les cours d'eau pour se reproduire. Ayant épuisé leurs réserves énergétiques, les adultes meurent après la reproduction (*semelparité*). En effet, si la Lamproie marine est un ectoparasite suceur se nourrissant de sang et de tissus d'autres poissons durant sa phase marine, elle cesse de s'alimenter lors de sa migration de montaison en eau douce (MESNIER, et al., 2011).

Sur le bassin versant de la Loire, la Lamproie marine est présente sur la Vienne et ses affluents, la Sarthe, le Cher, la Loire et l'Allier. Parmi ces bassins, celui de la Vienne est largement majoritaire (stations de Châtelleraut/Vienne et Descartes/Creuse) (Figure 4).

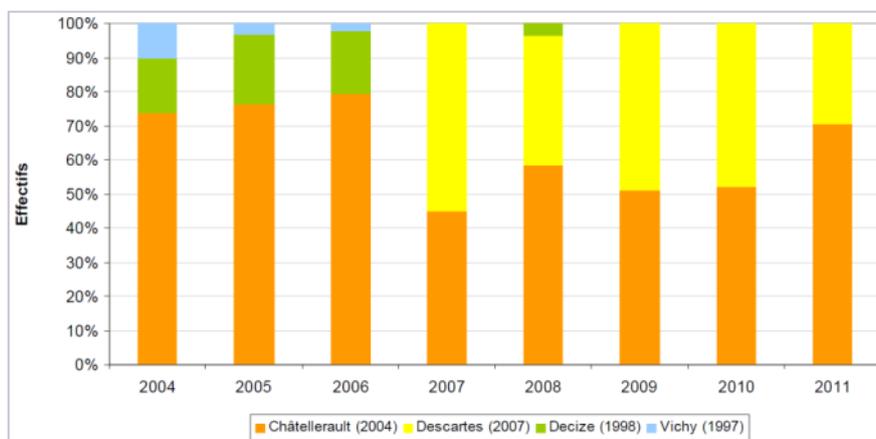


Figure 4 : répartition des effectifs de Lamproies marines comptabilisés aux stations de comptage de LOGRAMI – source : (BACH, et al., 2012)

Cette espèce fait l'objet d'une pêche professionnelle et amateur aux engins s'effectuant à la nasse et au filet dérivant.

### 3 SITE D'ETUDE

La Loire est le premier fleuve Français en termes de longueur (1013 km ) et de superficie de bassin versant (109903 km<sup>2</sup>) (GIP Loire Estuaire, 2009).

Le fleuve est généralement décrit en trois portions présentant des caractéristiques biotiques et abiotiques différentes (Figure 5) :



Figure 5 : la Loire, son bassin versant et ses 3 portions – source : <http://formation-inondation.plan-loire.fr/iconographie>

La Loire amont, située entre la source et le bec d'Allier est caractérisée par une faible hauteur d'eau et une dynamique hydro-sédimentaire importante (Figure 6).

Le principal affluent de cette portion est l'Allier. Le Haut-Allier accueille de nombreuses frayères et, en moyenne, environ 600 Saumons sont comptabilisés chaque année par l'association LOGRAMI à la station de vidéo-comptage de Vichy.

La Loire amont est peu utilisée par les géniteurs de Saumon puisqu'une dizaine d'individu, en moyenne, est comptabilisée à la station de Decize.

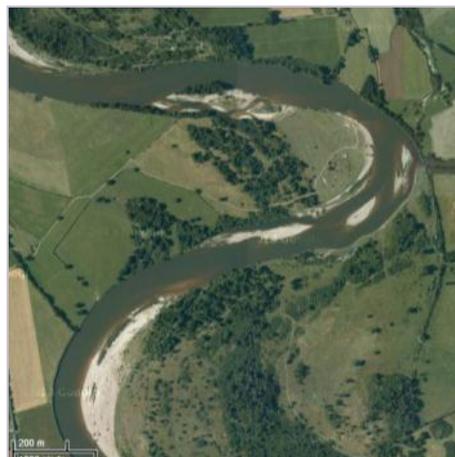


Figure 6 : photographie aérienne de la Loire amont - source : Imagerie ©2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Landsat, TerraMetrics, Données cartographiques ©2014 Google



Figure 7 : photographie aérienne de la Loire moyenne - source : Imagerie ©2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Landsat, TerraMetrics, Données cartographiques ©2014 Google

La Loire moyenne s'étend entre le bec d'Allier et le bec de Maine. Elle est caractérisée par un lit contenu entre deux levées dans lequel se forme des îles et diverses annexes hydrauliques (bras secondaires, bras morts, ...etc) (Figure 7).

Bien que corsetée entre les deux levées, la dynamique hydro-sédimentaire est encore relativement active et le chenal principal se déplace fréquemment lors des crues.

Dans cette portion, le bassin de la Vienne accueille des frayères utilisées par le Saumon. En effet, en moyenne une dizaine et soixante-dix géniteurs sont comptabilisés respectivement sur la Vienne et la Creuse par LOGRAMI.

La partie la plus aval, nommée « basse Loire », peut être subdivisée en deux sous parties (Figure 8) :

- La Loire aménagée pour la navigation depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle, caractérisée par les nombreux épis, dhuis et chevrettes construits lors des travaux de la « Loire navigable » (GIP Loire Estuaire, 2008).
- L'estuaire, d'une longueur de 95 km, ce qui correspond à la portion sous influence de la marée dynamique, délimitée entre la limite transversale à la mer (Saint-Nazaire) et la limite de remontée de la marée dynamique (Anetz) (GIP Loire Estuaire, 2009). L'emplacement de cet l'estuaire (au centre de la façade Atlantique), la surface de son bassin versant (STEINBACH, 2001), le nombre et la qualité des frayères potentielles (CHAUDON, 2005) en fait une voie d'entrée privilégiée pour les poissons migrateurs vers les milieux continentaux.

Néanmoins, cet espace est très aménagé pour les besoins du transport fluviomaritime et le phénomène du bouchon vaseux qui en résulte est susceptible de perturber les déplacements des espèces amphihalines (GADAIS, 2011).

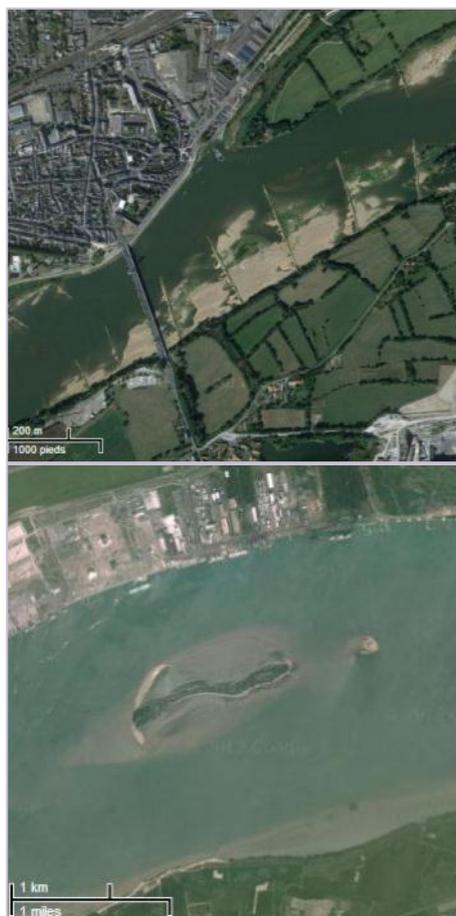


Figure 8 : photographies aériennes de la basse Loire – source : Imagerie ©2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe, Landsat, TerraMetrics, Données cartographiques ©2014 Google

# MATERIEL ET METHODES

## 1 CAPTURE

La ci-dessous, présente les différents sites de capture –marquage et de détection des poissons marqués :

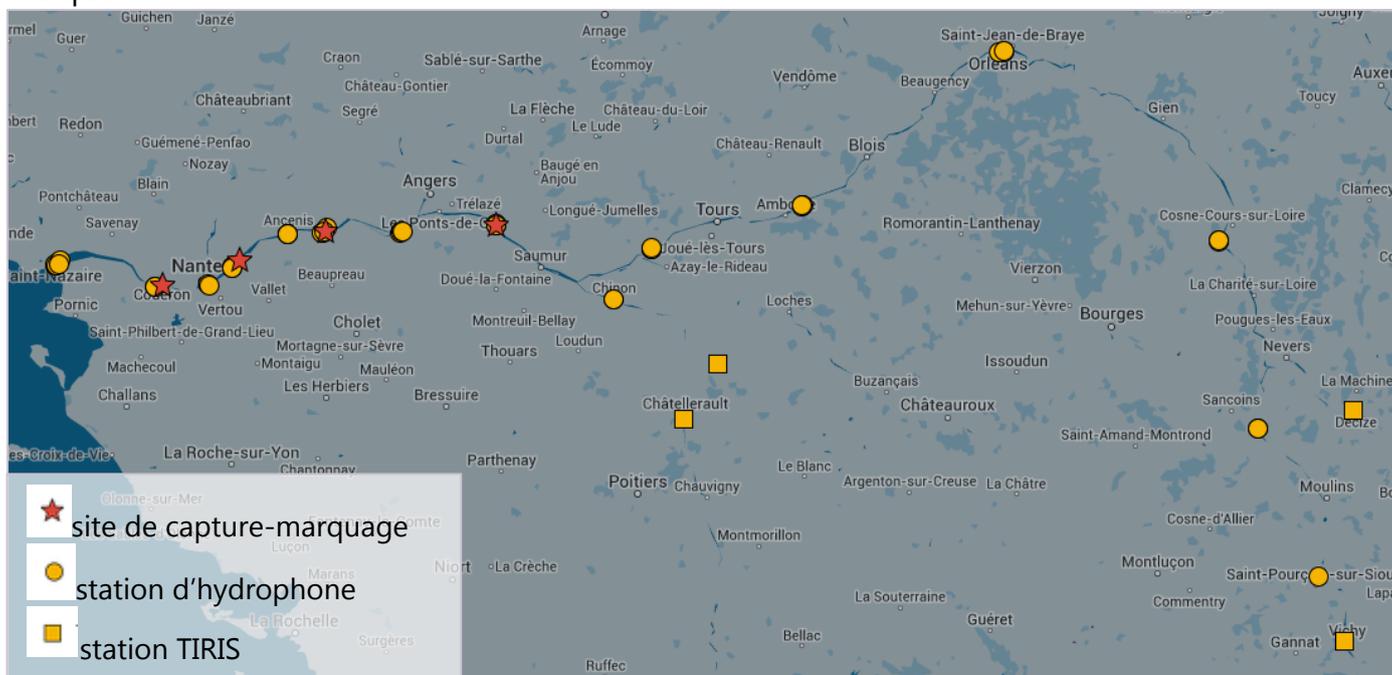


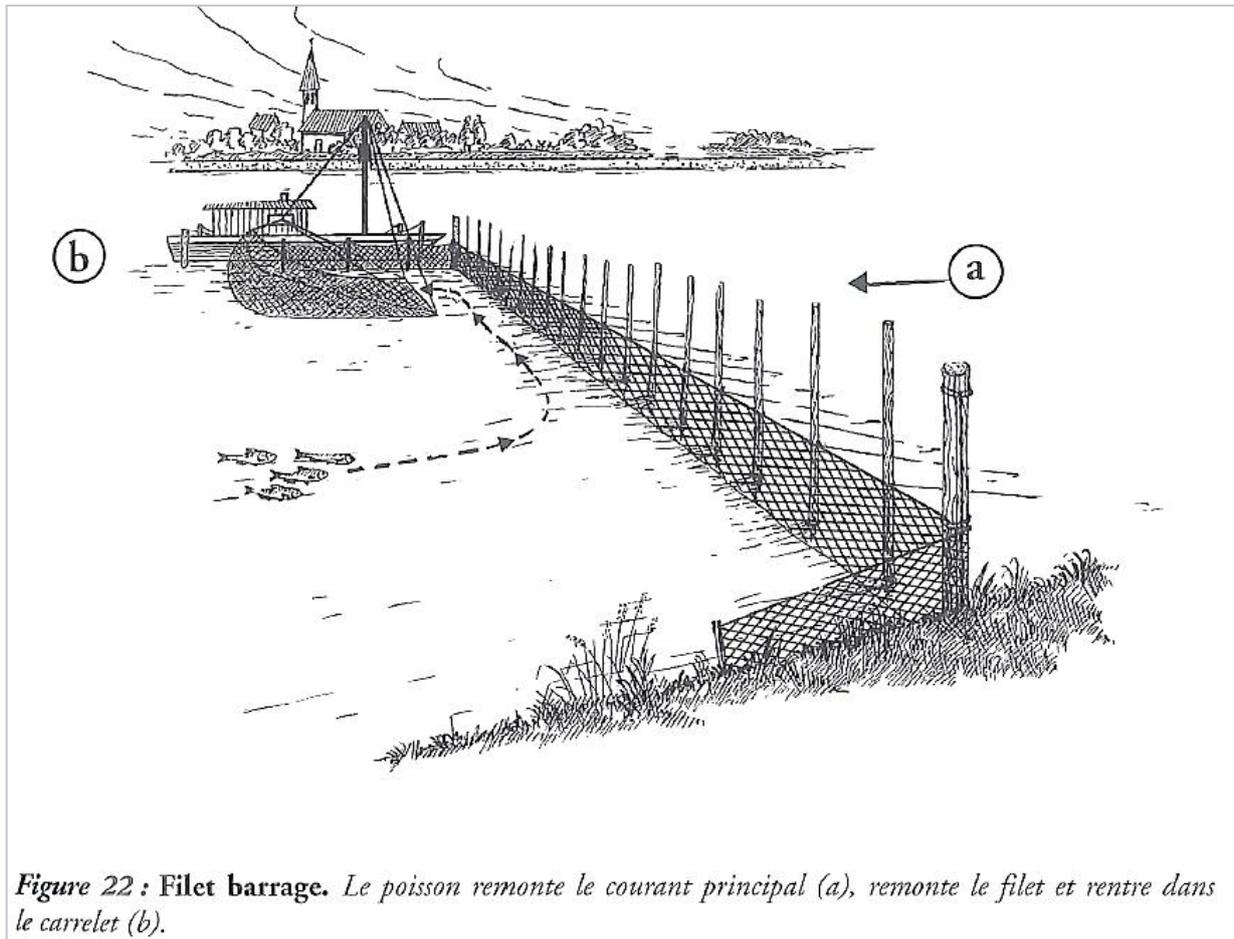
Figure 9 : cartographie des sites de marquage et de détection mis en place

### 1-1 TECHNIQUE DU FILET BARRAGE

Inventé dans la région de Nevers en 1865, la pêche au filet barrage est une technique typiquement ligérienne qui vise essentiellement le Saumon même si des Aloses, Mulets et Lamproies marines peuvent être capturés. Cette technique était employée de Thouaré à Roanne (BACHELIER, 1964) mais il ne reste aujourd'hui que quelques installations sur la Loire.

Le principe repose sur l'effet de barrière « sensorielle » créée par la vibration des fils d'un filet à très grandes mailles (*le barrage*), tendu en travers du courant et derrière lequel est positionné un bateau muni d'un carrelet (*la toue*) (Figure 10). En voulant contourner le barrage, les Saumons se dirigent vers la toue et passent au-dessus du carrelet. Le pêcheur déclenche alors un système de contrepoids qui permet de le remonter très rapidement et ainsi de capturer le poisson.

Afin de savoir que le Saumon est au-dessus du carrelet, le pêcheur tient en permanence, dans sa main, un faisceau de fils reliés à la nappe du carrelet et que le poisson met en vibration lorsqu'il les effleure.



**Figure 22 : Filet barrage.** *Le poisson remonte le courant principal (a), remonte le filet et rentre dans le carrelet (b).*

*Figure 10: schéma de principe du filet-barrage – source: (LUNEAU, et al., 2003)*

Cette technique est très lourde à mettre en place (1-2 jours à deux personnes pour l'installation et autant pour la désinstallation) et contraignante (nécessité de nettoyer le barrage très régulièrement au cours de la journée, de démonter partiellement ou intégralement le barrage en cas de montée des eaux).

Elle donne cependant de bons résultats lorsque les conditions hydro-climatiques le permettent et présente l'avantage très peu abimer le poisson puisqu'il est simplement soulevé et non maillé par le carrelet en quelques secondes et peut être transféré très rapidement dans un vivier à l'obscurité.

Cette technique a été employée à la Ménitré et à Varades pour cibler le Saumon.

## 1-1 TECHNIQUE DU FILET DERIVANT

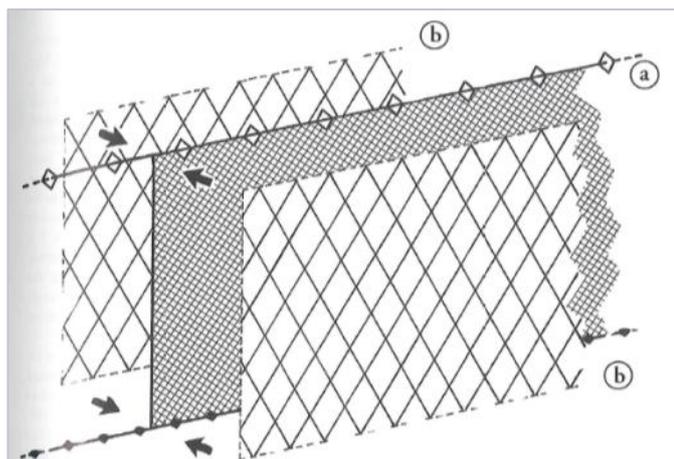


Figure 41 : Travail. Le filet comprend une nappe centrale de petite maille, la flue (a), montée entre de deux nappes de grandes mailles, les aumées (b).

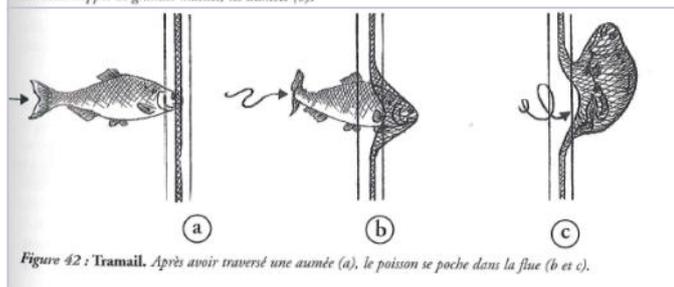


Figure 42 : Travail. Après avoir traversé une aumée (a), le poisson se poche dans la flue (b et c).

Figure 11 : principe de fonctionnement du filet travail-  
source : (LUNEAU, et al., 2003)

pour la capture des Saumons (BACHELIER, 1964).

Un type de filet différent a été employé pour chaque site puisque ce sont les engins des pêcheurs qui ont été employés étant les plus adaptés aux conditions locales de pêche.

Tableau 2 : caractéristiques techniques des filets employés en fonction du site de pêche

Zone	Site	Flottabilité	Longueur	Maille du flue	Maille des aumées
<b>Estuaire</b>	Couëron	de surface	200 m	55 mm	200 mm
<b>Fleuve</b>	Varades	de fond	100 m	60 mm	200 mm

## 1-2 TECHNIQUE DU FILET FIXE

Afin de maximiser les chances de capture de Saumon, la technique du filet fixe a été ajoutée aux différentes techniques de pêche pour cette dernière phase du projet. Elle utilise des filets travail de même type que décrit précédemment mais beaucoup moins long (10 à 25 m) placés à des endroits stratégiques (remous créés par un arbre couché par exemple). Certains de ces endroits nous avaient été signalés lors de la phase 2 comme étant des « passages de Saumon ».

Cette technique présente l'avantage de s'adapter plus facilement aux conditions de débit que le filet barrage et le filet dérivant. Une vigilance toute particulière a cependant été appliquée car il

existe un risque de mortalité dans les filets quand l'eau présente des températures trop élevées. Elle n'a donc été employée qu'au début de la campagne de marquage quand les eaux étaient encore relativement fraîches.

### 1-3 TECHNIQUE DES NASSES A LAMPROIES

Les nasses à Lamproies reposent sur le principe du piégeage par effet entonnoir : les poissons rentrent par la partie élargie de l'entonnoir (anchon) et progressent vers le rétrécissement jusqu'à entrer dans la chambre de la nasse où il ne parvient pas à retrouver la sortie (Figure 12).

Les nasses sont posées au fond dans des zones jugées propices par les pêcheurs et relevées tous les deux à trois jours. Les nasses à Lamproies sont particulièrement sélectives en raison de leurs dimensions (diamètre de sortie important) et des zones où elles sont disposées (zones de courant du chenal).

Comme la majorité des engins-piège, cette technique présente l'avantage d'être très sélective, de ne pas abimer les poissons et de permettre un rejet vivant des rares captures accessoires (Lamproies fluviatiles, Anguilles).

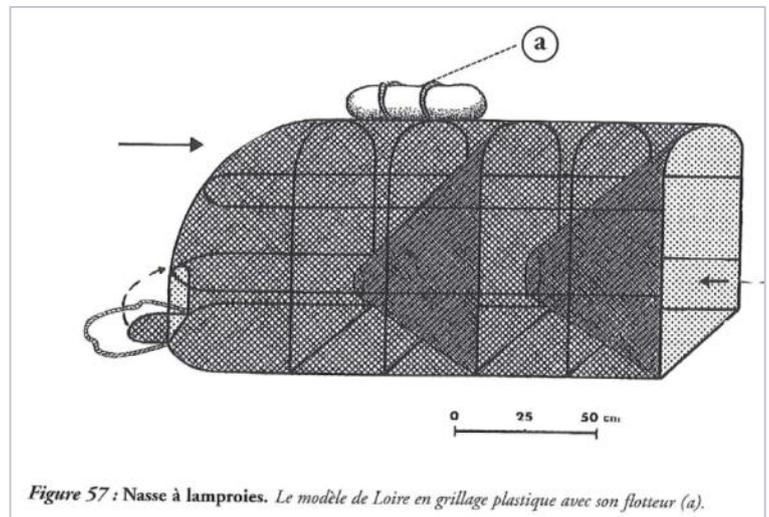


Figure 57 : Nasse à lamproies. Le modèle de Loire en grillage plastique avec son flotteur (a).

Figure 12 : nasse à Lamproie utilisée sur la Loire - source : (LUNEAU, et al., 2003)

## 2 MARQUAGE

La carte présentant les différents sites de marquage et de détection mis en œuvre durant le projet est disponible en Figure 9.

Les étapes clés présentées dans le schéma suivant ont été détaillées dans des paragraphes distincts (Figure 13).

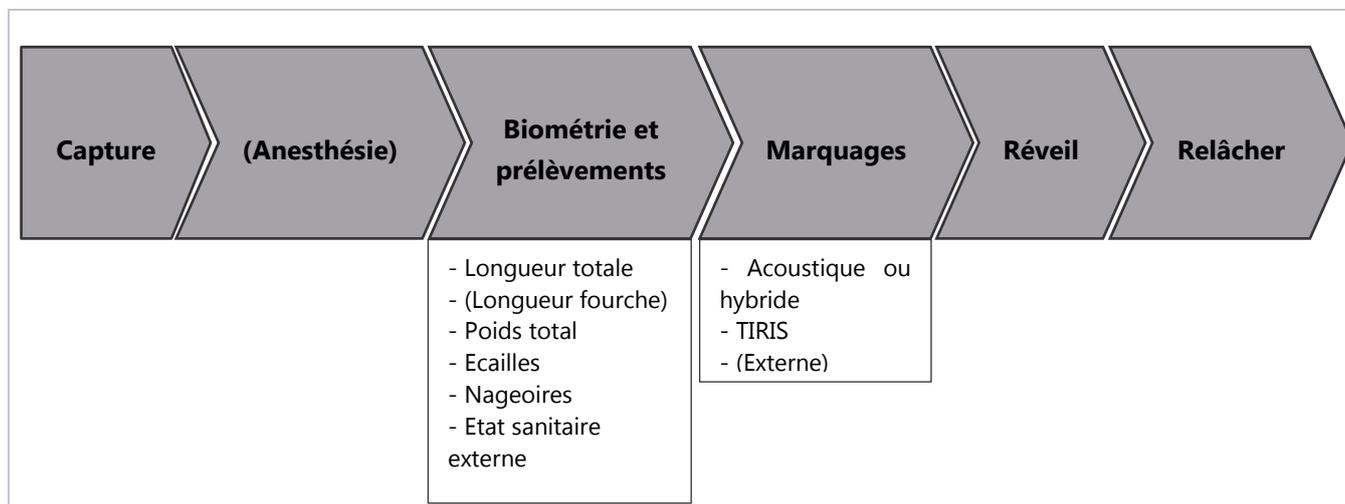


Figure 13 : schéma récapitulatif du protocole de marquage, (...): étape facultative

### 2-1 ANESTHÉSIE, BIOMETRIE ET PRELEVEMENTS

#### a) Anesthésie

Les Saumons et les Lamproies ont été anesthésiés grâce à une solution de Benzocaïne.

Il a été choisi de ne pas anesthésier les Aloses pour différentes raisons :

- Cette espèce étant particulièrement sensible au stress et aux manipulations (pertes d'écailles, ...), une durée de manipulation courte a été privilégiée (en moyenne 5 minutes/individu).
- Le marquage a été effectué à une cadence élevée afin de suivre le rythme de démaillage des poissons et limiter ainsi le temps de stockage en vivier sur le bateau.
- L'anesthésie nécessite un bac d'anesthésie, un bac de réveil et éventuellement un vivier de stabulation pré-anesthésie. Tout cet équipement n'est pas compatible avec l'espace souvent restreint à bord des bateaux de pêche et les conditions difficiles de marquage (roulis et tangage du au trafic fluvio-maritime et aux conditions météo).
- Ce protocole a été employé par le Muséum National d'Histoire Naturelle et n'a semble-t-il pas posé de problème de mortalité ou de stress excessif post-marquage (GADAIS, 2011).

## b) Biométrie et prélèvements

Pour chaque individu marqué, la longueur totale (Lt), la longueur à la fourche (Lf, pour les Saumons et les Aloses) et le poids total (Pt) sont mesurés. Les longueurs sont mesurées grâce à un ichtyomètre (*précision et résolution : 1mm*) et les poids sont mesurés à la balance ou au peson (*résolution : 1g*).

Un morceau de tissu est prélevé (nageoire pelvienne pour les Saumons et Aloses, et dorsale pour les Lamproies) et conservé dans un eppendorf d'alcool absolu en vue d'analyses génétiques ultérieures. Entre 7 et 8 écailles sont également prélevées dans les zones considérées dans la bibliographie comme optimales pour la lecture d'écaille (Figure 14).

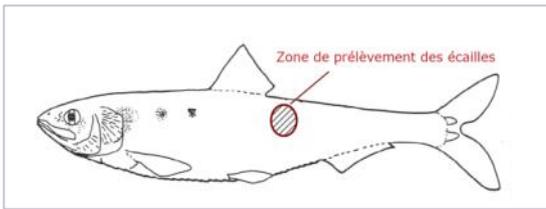


Figure 14 : zone de prélèvement optimale des écailles sur les Aloses - source : (BOISNEAU, et al., 2011)

Le rapport poids des émetteurs/poids total du poisson dans l'air n'excède jamais 2% conformément au seuil généralement admis dans la littérature (CONNORS, et al., 2002) et déjà employé sur des grandes Aloses ligériennes (STEINBACH, et al., 1986) et les Saumons (BACH, et al., 2012).

## c) Sexage

Pour les Saumons, aucun sexage fiable n'a pu être effectué, la date de capture étant trop précoce par rapport à la période de reproduction (pas de dimorphisme sexuel visible) mais un sexage moléculaire est désormais possible. Ce problème avait déjà été soulevé par Bach et al. Lors d'opérations de marquage radio sur l'Allier (BACH, et al., 2010).

## 2-2 MARQUAGE HYDROACOUSTIQUE OU HYBRIDE

Cette année, deux technologies de marques ont été utilisées : des marques hydroacoustiques utilisant les sons (déjà employées lors de la phase 1 et 2) et des marques hybrides produisant à la fois des signaux hydroacoustiques et radio.

### a) Technologie hydroacoustique

La télémétrie hydroacoustique utilise la propagation d'ondes ultrasonores entre un émetteur (ou « tag ») et un récepteur (ou « hydrophone ») qui convertit les ondes reçues en énergie électrique. Le signal est généré au niveau de l'émetteur par un anneau en céramique compact. Cette particularité rend inutile la présence d'antenne sur l'émetteur, ce qui permet aux marques acoustiques d'être de petite taille et de limiter les problèmes liés à l'implantation dans le poisson (PRIEDE, 1991).

D'autre part, le signal acoustique peut être codé, ce qui permet le suivi simultané de plusieurs

poissons utilisant une même fréquence d'émission (THORSTAD & OKLAND, 2000). C'est cette option qui a été choisie lors de cette étude.

Des émetteurs hydroacoustiques ont été implantés sur les poissons capturés en bon état sanitaire. Les émetteurs hydroacoustiques employés sont des MP-13 (20-40s) fabriqués par la société Thelma Biotel®.

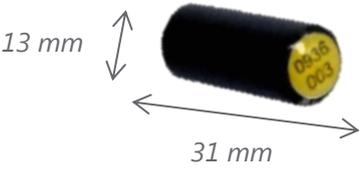
	Un signal acoustique toutes les 20 à 40 secondes
	Durée de vie moyenne : 430 jours

Figure 15 : caractéristiques des marques Thelma employées

Ces émetteurs produisent des séquences (« pings ») de 6 impulsions sonores (« pulses ») à une fréquence de 69 kHz, d'une durée de 10ms et à intervalles irréguliers et séparés par un délai aléatoire, compris, dans notre cas, entre 20 et 40 secondes. L'intervalle de silence entre les 7 pulses permet de définir un code identifiant spécifiquement le poisson marqué (Figure 16).

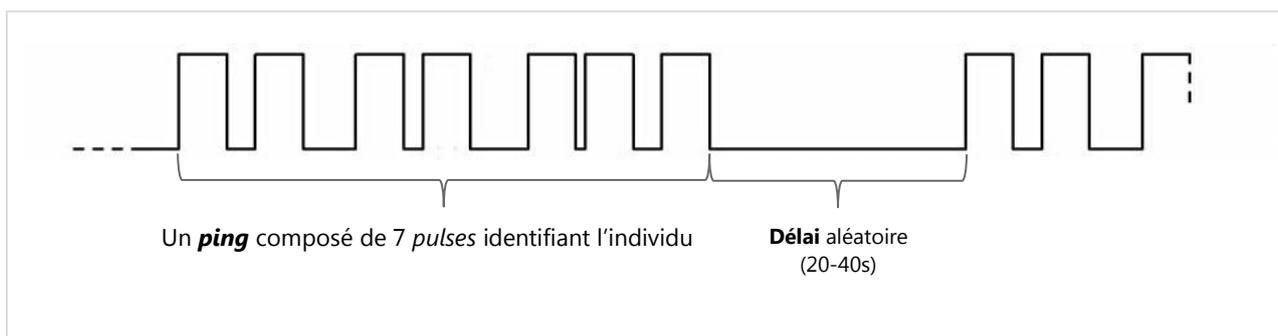
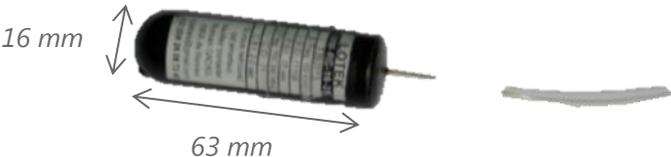


Figure 16 : Représentation schématique du signal émis par les tags acoustiques – source : GADAIS, R. 2011

La durée de vie des batteries, garantie par le constructeur, est d'environ 430 jours pour un émetteur neuf. L'émetteur peut, par conséquent, continuer de fonctionner après la mort du poisson et sera donc potentiellement détectable s'il se situe dans l'aire de détection des hydrophones.

### b) Technologie hybride

Le deuxième type de marque utilisé emploie la technologie hydroacoustique décrite précédemment ainsi que la technologie radio.

	Un signal acoustique toutes les 5 secondes
	Un signal radio toutes les 2 secondes
	Durée de vie moyenne : 269 jours

Le principe de base est le même que la technologie hydroacoustique sauf que ce sont des ondes radios qui sont employées. La marque comporte donc une antenne afin d'augmenter les distances de détection. Cette antenne souple ressort par la bouche du poisson.

Les ondes radio présentent l'avantage de pouvoir être détectés depuis la surface de l'eau à une distance plus ou moins longue dépendant de nombreux facteurs.

### c) Mode d'implantation

Deux types d'implantation ont été utilisés :

→ **Par intubation dans la voie intra-stomacale** pour les Saumons et les Aloses, ces deux espèces ayant une activité alimentaire limitée voire inexistante à partir de leur entrée en estuaire (BAGLINIERE & ELIE, 2000; BACH, et al., 2012). Cette technique consiste à insérer l'émetteur acoustique dans le conduit gastrique du poisson grâce à un tube dans lequel est placé l'émetteur qui est ensuite poussé par un piston (Figure 18).



Figure 18: mise en place de l'émetteur sur un Saumon

Bien que des cas de rejet existent (ROCHE, et al., 2007), cette technique, mise en place par le Muséum National d'Histoire Naturelle sur les Aloses (GADAIS, 2011) et l'association LOGRAMI sur le Saumon (BACH, et al., 2012) semble la plus appropriée. De plus STASKO ET PINCOCK (1977), considère cette méthode de marquage comme la moins traumatisante sur des poissons anesthésiés (BACH, et al., 2012).

→ **Par chirurgie dans la voie intra-péritonéale** pour les Lamproies, le disque buccal de cette espèce ne permettant pas l'insertion d'une marque.

Pour cela, une incision d'environ 2 cm est réalisée au scalpel à lame courbe n°12, sous anesthésie, dans la paroi ventrale permettant d'accéder à la cavité péritonéale où sont insérées les deux marques (acoustique et pit-tag). L'incision est ensuite recousue grâce à 2 ou 3 points de suture réalisés au fil Ethicon Prolene® 4-0.

Ce protocole a déjà été employé par le Muséum National d'Histoire Naturelle et ne semble pas perturber la migration des Lamproies (*com. pers.* BULTEL, E.). Ce type de marquage a été réalisé par un vétérinaire (Frédéric TOUZALIN).

## 2-3 MARQUAGE PIT-TAG

Des transpondeurs PIT-tag HDX « read only » de 64 bits de données et de 32 mm de longueur de marque TIRIS® commercialisés par CIPAM® sont implantés sur tous les individus marqués (Figure 19). Il s'agit de marques physiques semi-actives (BARAS, et al., 2001) fonctionnant grâce à la technologie RFID. Ne contenant pas de batterie, elles ont une durée de vie théoriquement illimitée.



Figure 19: Modèle de PIT-Tag implanté sur les poissons

Chez les Saumons et les Aloses, l'implantation est effectuée dans la cavité péritonéale grâce à une incision de la paroi abdominale de quelques millimètres de longueur et permettant d'insérer le PIT-tag. Pour les Lamproies, le PIT-tag est placé à côté de l'émetteur acoustique dans la cavité péritonéale (*cf. supra*).

## 2-4 MARQUAGE EXTERNE

Pour les espèces d'intérêt commercial (Aloses et Lamproies), un marquage externe a été mis en place à destination des pêcheurs. Ce marquage est constitué d'une marque de type « spaghetti » ou « T-bar » commercialisé par la COFA® portant un numéro d'identification et inséré, grâce à un pistolet à aiguille, dans les muscles sous la nageoire dorsale (Figure 20). Il s'agit d'une marque physique passive externe dans la nomenclature de BARAS & Al.



Figure 20 : marque externe insérée sous la nageoire dorsale d'une Lamproie marine

Il permet de repérer le poisson en cas de recapture et de le relâcher si son état le permet. Plusieurs campagnes d'information ont donc été mises en place auprès des pêcheurs professionnels et amateurs aux engins et filets (Annexe 1). Les pêcheurs amateurs aux lignes étant peu susceptibles de capturer des Lamproies et des Aloses.

# 3 SYSTEME DE DETECTION

Rappel : une cartographie des différents dispositifs de détection est présentée en Figure 9.

## 3-1 RESEAU D'HYDROPHONES

Un réseau de 46 hydrophones a été déployé en Loire entre Saint Nazaire et Cosne-sur-Loire pour la Loire, Chinon sur la Vienne, Château-sur-Allier sur l'Allier et Saint-Pourçain sur la Sioule.

Ils sont disposés de manière à former 15 stations réparties sur 373 km (Tableau 3). Les points kilométriques (Pk) de la Bd Carthage<sup>®</sup> ont été utilisés afin de localiser chaque hydrophone le long du cours de la Loire et de ses affluents (par conversion en Pk Loire). Le point kilométrique d'une station se définit comme la moyenne des Pk des hydrophones qui la compose.

Tableau 3 : composition du réseau d'hydrophone

Nom de station	Point kilométrique moyen de la station	Nombre d'hydrophones
<b>Saint-Pourçain (SIOULE)</b>	347	1
<b>Château-sur-Allier (ALLIER)</b>	418	2
<b>Cosne-sur-Loire</b>	503	3
<b>Orléans</b>	628	3
<b>Amboise</b>	718	4
<b>Langeais</b>	768	3
<b>Chinon (VIENNE)</b>	780	2
<b>La Ménitré</b>	833	4
<b>La Possonnière</b>	870	4
<b>Varades</b>	899	4
<b>Ancenis</b>	913	3
<b>Thouaré</b>	934	3
<b>Nantes</b>	944	2
<b>Le Pellerin</b>	963	2
<b>Saint Nazaire</b>	1000	6

Dans la portion navigable de la Loire (de Saint-Nazaire à la Possonnière), les hydrophones sont fixés à des élingues lestées accrochées aux bouées de navigation (Figure 21). Pour les stations situées en zone non, des mouillages spécifiques ont été installés, reprenant le même principe. Certains hydrophones sont également fixés à des pontons ou sur des pieux plantés dans le fond (Sioule).

Le lest en acier de 20 kg permet de maintenir l'hydrophone en position verticale, « tête en bas » même en cas de fort courant.

Un entretien et une surveillance régulière des hydrophones ont été assurés par différentes structures en fonction du secteur (Phares et balises, Voies Navigables de France, pêcheurs professionnels, bateliers, association LOGRAMI).

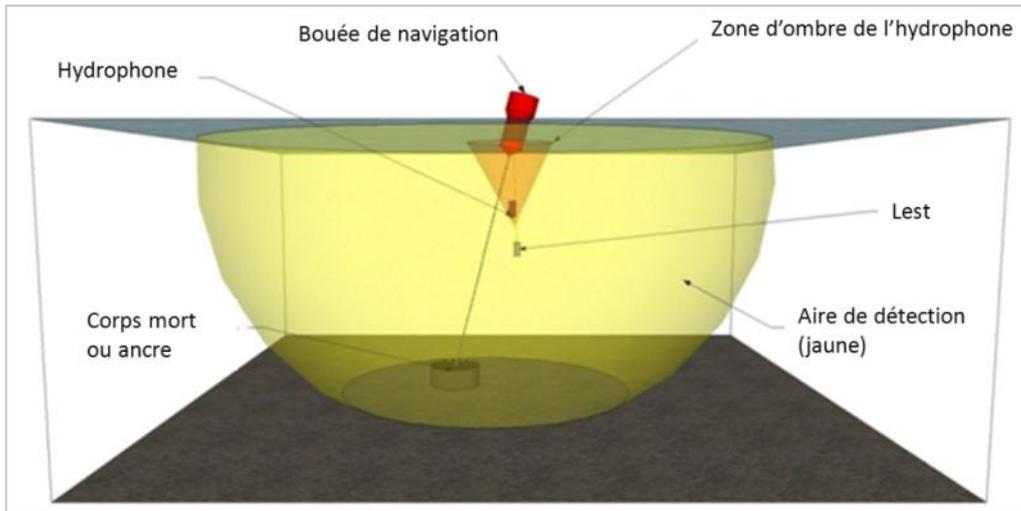


Figure 21 : schéma de principe des installations d'hydrophones

### 3-2 STATIONS DE DETECTIONS PIT-TAG

L'association LOire GRAnds Migrateurs (LOGRAMI) gère un réseau de cadre de détection installés sur différentes passes à poissons du bassin de la Loire et capables de détecter les PIT-tag TIRIS<sup>®</sup> implantés sur les poissons (Cf. §2-3).

### 3-3 RADIOPISTAGE

Le radiopistage est une technique particulière de radiotélémetrie consistant à rechercher activement, à l'aide d'un récepteur mobile, des individus préalablement équipés d'un émetteur (dits « marqués ») puis à noter leur position de manière plus ou moins précise (Cf. *infra*). Ces récepteurs sont chargés de transformer le signal radioélectrique reçu en signal acoustique (« bips ») de volume variable en fonction de l'intensité des ondes reçues. Cette technique permet d'acquérir des données continues spatialement (en prospectant tout un linéaire) mais ponctuelles temporairement (position à un instant  $t$ ).

Deux méthodes de localisation en radiopistage mobile existent : l'angulation et le « homing-in ». La première repose sur le fait, qu'en utilisant une antenne directionnelle, le signal « s'éteint » lorsque celle-ci est orientée dans la direction de l'émetteur (*null-peak*), permettant ainsi de déterminer des angles d'extinction (Figure 22). La seconde méthode, moins précise, repose sur le fait que plus le récepteur et l'antenne se trouvent proches de l'émetteur et plus le signal est puissant et audible (Figure 23). Elle peut être réalisée avec une antenne directionnelle ou omnidirectionnelle.

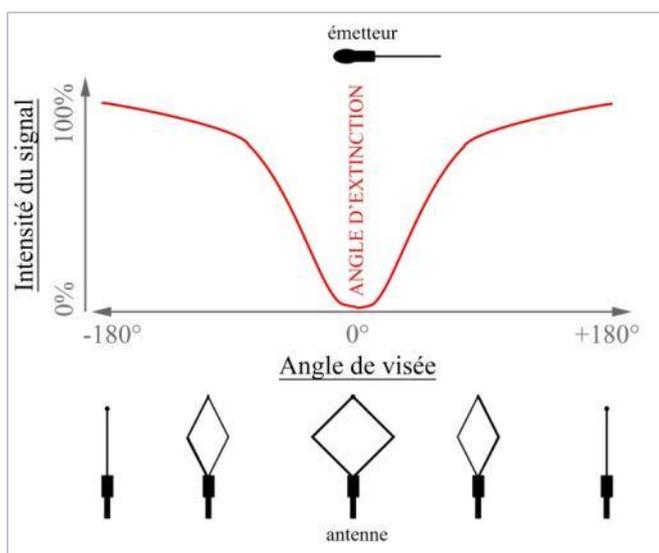


Figure 22 : graphique théorique du signal en angulation

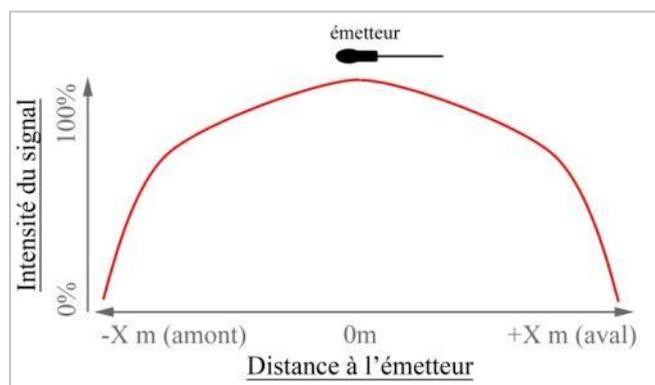


Figure 23 : graphique théorique du signal en homing-in (antenne orientée à 180° par rapport à l'émetteur)

En complément des stations fixes précédemment citées, des campagnes de radiopistage sur la Loire et ses affluents ont donc été menées en bateau, en voiture ou à pieds en fonction de l'accessibilité du milieu (Figure 24).

Elles ont été réalisées le plus exhaustivement possible mais ne peuvent en aucun cas être considérées comme intégrales.



Figure 24 : dispositif de radiopistage employé en bateau

En effet, le signal d'un poisson peut ne pas avoir été détecté pour de multiples raisons (écran de végétation, topographie, profondeur trop importante, ondes parasites, ...).

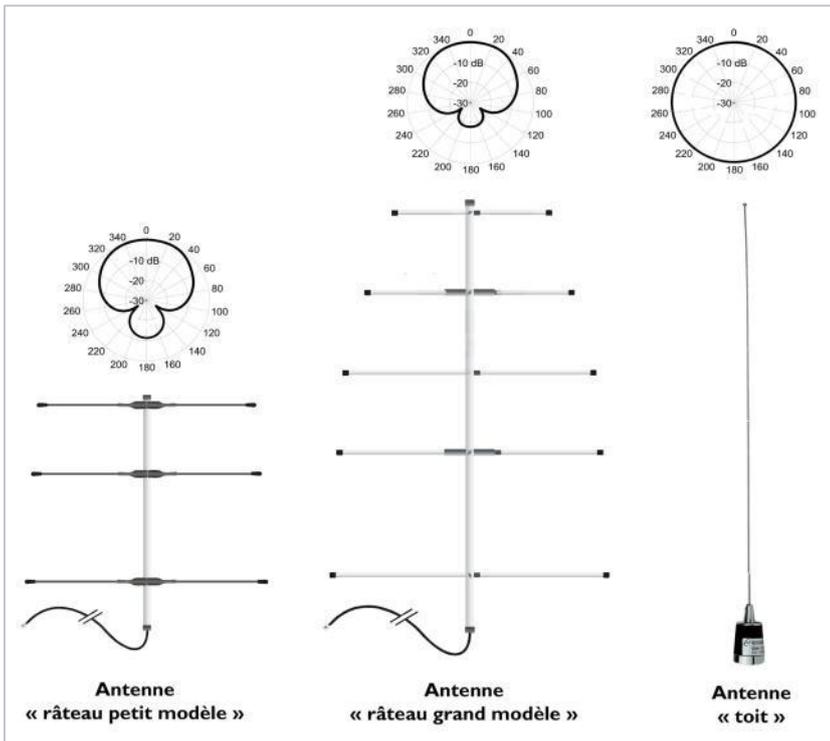


Figure 25 : types d'antennes utilisés et leur diagramme de réception

Trois types d'antennes ont été utilisés (Figure 25). Elles présentent des diagrammes de réception différents et des distances de réception qui seront testées (Cf. page 33).

L'antenne « râteau petit modèle » a été utilisée à pieds et en bateau afin d'affiner les localisations déterminées avec les deux autres antennes.

L'antenne « râteau grand modèle » a été utilisée pour le radiopistage en bateau et l'antenne « toit » en voiture. Cette dernière devant être fixée sur une carrosserie en métal afin d'améliorer sa réception.

Les antennes « râteau » sont bidirectionnelles, ce qui signifie qu'elles présentent une meilleure réception dans leur axe alors que l'antenne de toit est omnidirectionnelle, c'est-à-dire qu'elle réceptionne dans toutes les directions.

## 4 PRINCIPE DE TRAITEMENT DES DONNEES

### 4-1 FORME DES DONNEES RECOLTEES

A chaque émission reçue, l'hydrophone enregistre la détection dans un système de base de données qui doit être téléchargé via Bluetooth après l'avoir retiré de l'eau. A chaque détection reçue est associée l'heure de cette détection en temps UTC.

Date et heure UTC		Code de l'émetteur détecté			N° de l'hydrophone
Date	Time	Code Space	ID	Transmitter	Receiver
08/11/13	10:23:34	A69-1206	396	A69-1206-396	VR2W-112245
08/11/13	10:24:02	A69-1206	396	A69-1206-396	VR2W-112245
08/11/13	10:24:44	A69-1206	396	A69-1206-396	VR2W-112245
08/11/13	10:25:21	A69-1206	396	A69-1206-396	VR2W-112245

Figure 26 : exemple de données de détection téléchargées des hydrophones

Le réseau d'hydrophones a été démonté et les données ont été téléchargées à la fin de la période de migration entre le 8 et le 12 juillet 2014.

## 4-2 EXPLOITATION DES DONNEES

### a) Points kilométriques

Afin d'ordonner les hydrophones suivant l'axe de la Loire, des points kilométriques (Pk) sont attribués à chaque hydrophone à partir de la Bd Carthage<sup>®</sup> fournie par l'IGN et les Agences de l'eau.

Cette base de données attribue un Pk égal à 1000 km à l'embouchure de chaque cours d'eau. La Loire ayant une longueur proche de 1000 km, ce Pk est très proche de la distance à la source.

### b) Vitesses instantanées

Une sélection des vitesses de déplacement doit être effectuée. En effet, un même individu peut être détecté par deux hydrophones proches à un intervalle de temps très court. La vitesse calculée entre ces deux détections sera particulièrement élevée sans que pour autant l'individu se soit déplacé.

Ces vitesses issues du chevauchement des aires de détection des hydrophones ne présentent aucune significativité sur le plan biologique.

Seules les vitesses calculées à l'échelle des stations et non des hydrophones ont donc été exploitées. En effet, si le chevauchement des aires de détections peut se produire entre les différents hydrophones d'une même station, il n'a pas lieu entre deux stations (car distantes de plusieurs kilomètres) sauf en cas de station très proches (ex : Bellevue et Boire-courant).

Cette vitesse est calculée entre la dernière détection à la station de départ (ici Stat.1) et la première détection à la station d'arrivée (ici Stat.2) grâce à la formule suivante :

$$V_{l.s.} = \frac{Pk_{Hydr\ stat.1} - Pk_{Hydr\ stat.2}}{H_{Detect\ stat.1} - H_{Detect\ stat.2}}$$

## 4-3 DONNEES EXTERNES

### a) Débit de la Loire

Les données de débit de la Loire sont fournies par la Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (D.R.E.A.L.) des Pays de la Loire sous forme de débit moyen journalier (QMJ en m<sup>3</sup>/s).

La station de mesure est située à Montjean sur Loire. Il s'agit de la station la plus en aval permettant une mesure du débit sans effet des marées.

## b) Température de la Loire

La température de la Loire est mesurée à la station de mesure du débit située à Montjean sur Loire. Les données sont également fournies par la D.R.E.A.L. des Pays de la Loire sous forme de température moyenne journalière (TMJ en °C).

## c) SYstème de Veille dans l'Estuaire de la Loire

Les paramètres physico-chimiques de l'estuaire (Température, Oxygène dissous, Salinité et Turbidité ou Matières En Suspension) sont mesurés via le réseau de station SYVEL géré par le GIP Loire Estuaire entre Donges et Bellevue. Ce réseau ne couvre que la portion aval de la zone d'étude (Figure 27). Les mesures sont réalisées en sub-surface (de quelques dizaines de cm à 1 m de profondeur suivant les stations).



Figure 27 : emplacement des stations de mesure SYVEL - source : GIP Loire Estuaire

## d) Niveaux d'eau dans l'estuaire

Les niveaux d'eau à pleine mer et basse mer ainsi que le coefficient de marée sont fournis par le port autonome de Nantes-Saint-Nazaire à partir des données du Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM). Bien que calculées et non mesurées, le choix a été fait d'utiliser ces données et non celles du marégraphe de Saint-Nazaire car elles étaient disponibles en différents points de l'estuaire (de Saint-Nazaire à Nantes).

Cependant, un certain nombre de facteurs peut faire différer la valeur théorique calculée par rapport à la valeur réelle mesurée (vent, débit de la Loire, ...) et crée ainsi des phénomènes de surcote et de décote.

Date	Coeff	ST NAZAIRE		DONGES		CORDEMAIS		LE PELLERIN		NANTES		
		Heure	Hauteur	Heure	Hauteur	Heure	Hauteur	Heure	Hauteur	Heure	Hauteur	
28/04/2013		BM	1h 17	0.40	1h 28	0.20	2h 34	0.10	3h 20	0.15	4h 07	0.45
Dimanche	103	PM	6h 53	6.00	7h 02	6.20	7h 17	6.25	7h 34	6.25	8h 24	6.30
		BM	13h 39	0.60	13h 50	0.40	14h 55	0.25	15h 41	0.25	16h 28	0.55
	101	PM	19h 11	6.05	19h 20	6.25	19h 35	6.30	19h 52	6.30	20h 42	6.35

Figure 28 : format des données de niveau d'eau dans l'estuaire – source : [www.nantes.port.fr](http://www.nantes.port.fr)

# RESULTATS

## 1 EFFICACITE DES SYSTEMES DE TELEMETRIE

Lors des précédentes phases du projet, de nombreux éléments portants sur la fiabilité des différents systèmes de télémétrie employés étaient manquant. La fiabilité des hydrophones comme des marques doit cependant être étudiée sur le terrain car, de toute évidence, il n'est pas possible de se fier aux données des constructeurs.

### 1-1 ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE

Le principal élément à connaître est la distance maximale de détection. C'est-à-dire la distance maximale autour de l'hydrophone dans laquelle un poisson peut être détecté. L'appréhension de cette notion permet de concevoir des stations « hermétiques » acoustiquement et de maximiser ainsi leur fiabilité.

Pour les émetteurs comme pour les récepteurs, aucun fabricant n'a pu nous fournir de donnée chiffré de distance de détection tant celle-ci peut être variable. Quelques éléments de connaissance existent cependant.

La qualité de la réception des hydrophones comme des récepteurs radio dépend de nombreux paramètres d'origine matérielle (puissance d'émission du signal par les émetteurs) et contextuelle. Pour ce dernier aspect, elle dépend notamment (Vemco, 2013):

- Du niveau de bruit de fond causé par exemple par le transport solide, les turbulences, le trafic fluvio-maritime, ... pour la partie acoustique et les installations électriques pour la partie radio.
- De l'absorption du signal acoustique ou radio par la couche d'eau qui est étroitement lié à la conductivité, la température et la profondeur.
- De la distorsion des ondes acoustiques ou radio produite notamment par les gradients de température et par le franchissement de l'interface air-eau pour les ondes radio.

Face à la pauvreté des connaissances sur l'efficacité des systèmes de détection tant acoustiques que radio, la mise en place de tests *in-situ* s'est avéré nécessaire.

## 1-2 TEST DU SYSTEME ACOUSTIQUE

### a) Protocole



Figure 29 : vue aérienne de la station de Thouré –  
source : Imagerie ©2014 Cnes/Spot Image, DigitalGlobe,  
Données cartographiques ©2014 Google

Une journée de test a été effectuée à la station de Thouré. En effet, cette station comporte 3 hydrophones : 2 installés sur des bouées de navigation et un sur un ponton en rive gauche (Figure 29).

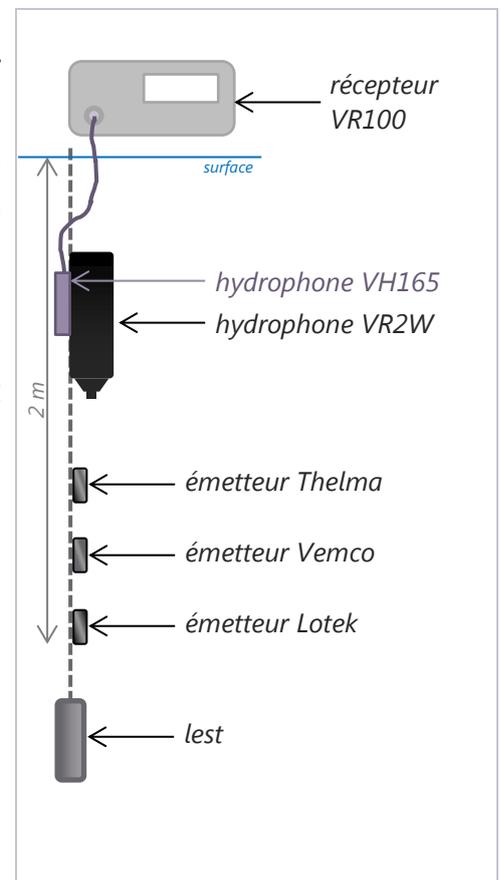
Le débit à la station de Montjean était de  $678 \text{ m}^3/\text{s}$  et la température de l'eau en surface de  $6^\circ\text{C}$ .

Le but de cette journée de test était, d'une part, de comparer l'efficacité de chaque type de marque (nombre de signaux reçus pour un même temps de fonctionnement) et d'autre part, de mesurer l'efficacité de réception des trois hydrophones de la station.

Trois émetteurs ont été testés simultanément : un émetteur V13 de Vemco®, un Thelma Biotel® et un Lotek®. Afin d'éviter les éventuelles interférences, un écart de 20 cm a été laissé entre chaque émetteur installé sur une corde lestée.

Afin d'enregistrer précisément les signaux émis par les trois marques, un hydrophone mobile VR2W, semblable à ceux employés sur les stations, a été placé à 40 cm au-dessus des marques.

Cet ensemble a été déplacé à faible vitesse grâce à un bateau afin de simuler un poisson franchissant la station et passant successivement à proximité de chacun des trois hydrophones qui la compose. La position GPS du bateau a été enregistrée tout au long de la manipulation.



## b) Résultats

Durant les 31 minutes de test, l'émetteur Lotek a été détecté 321 fois par l'hydrophone embarqué, le Vemco 87 fois et le Thelma 83 fois. Ces chiffres sont concordants avec les fréquences d'émissions des différents émetteurs. Pour rappel, les émetteurs Lotek envoient un signal acoustique toutes les 5 secondes contre toutes les 20 à 40 secondes pour les Thelma et 30 secondes pour les Vemco.

Les taux de détection par les hydrophones de la station sont bien moindres : 18 détection pour l'émetteur Lotek, 9 pour le Vemco et seulement une pour le Thelma (Figure 30).

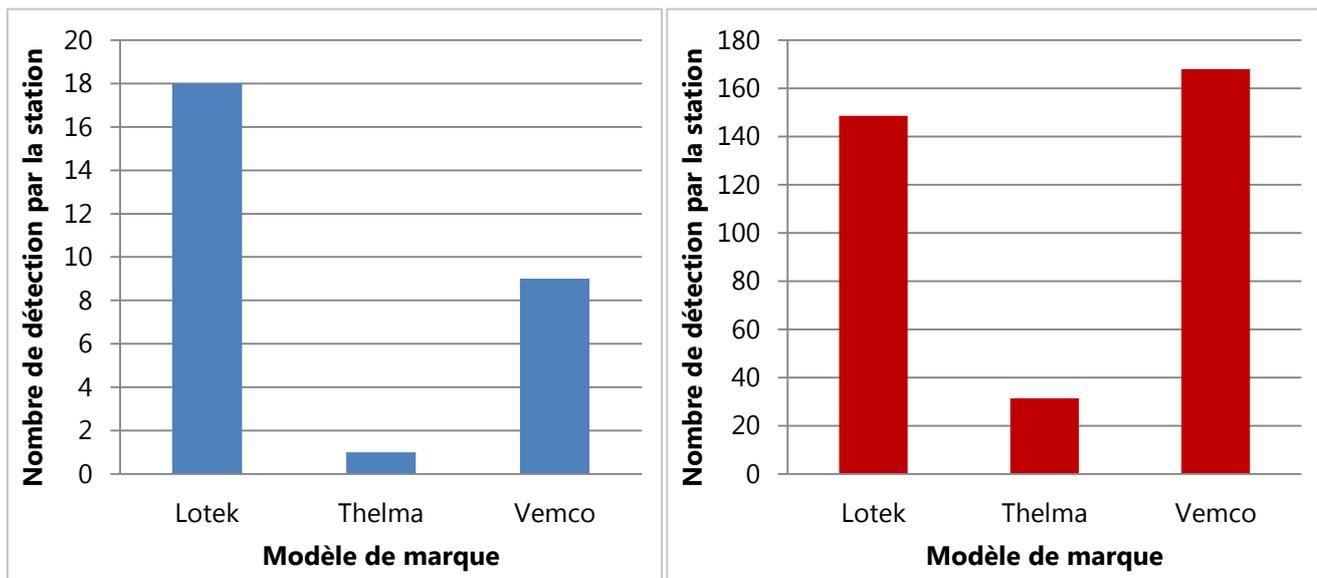


Figure 30 : comparaison des nombres et des distances de détection pour les différents modèles de marque

La distance entre l'émetteur et chacun des trois hydrophones a varié entre 2500m et 0m pendant la durée du test. La distance maximale de détection (168 m) a été obtenue avec l'émetteur Vemco. Cependant, il présente un nombre de détection modéré.

Les émetteurs Lotek ont donc été choisis pour équiper les Saumons car ils présentent une bonne distance de détection (149 m) et un bon taux de détection (18 pulsations enregistrées). De plus, comme expliqué précédemment, ils sont les seuls à disposer de la technologie hybride acoustique+radio. Cependant, ils présentent un surcoût important par rapport aux autres marques. Seize émetteurs hybrides ont donc été achetés.

Les autres espèces, Aloses et Lamproies, ont été équipées avec les reliquats de marques Thelma restant des précédentes phases du projet.

## 1-3 TEST DU SYSTEME RADIO

### a) Protocole

Afin d'organiser le radio pistage des Saumons équipés de marques hybrides, des tests de réception devaient également être effectués. Les trois types d'antennes ont été testés en terrain découvert.

Un émetteur hybride Lotek semblable à celui implanté sur les Saumons a été placé dans un étang à une profondeur d'un mètre. On s'éloigne ensuite progressivement de l'émetteur jusqu'à l'extinction du signal. La position GPS est ensuite relevée afin de déterminer la distance émetteur-récepteur. Ces tests ont été effectués à pieds pour les deux antennes « râteau » et en voiture pour l'antenne « toit ».

### b) Résultats

L'antenne de toit présente la meilleure distance avec un rayon de réception de 388 m (Figure 31).

Les deux antennes râteau présentent des distances de réception plus faible dans leur sens directionnel.

Ces distances semblent largement suffisantes comparativement à la largeur de la Loire.

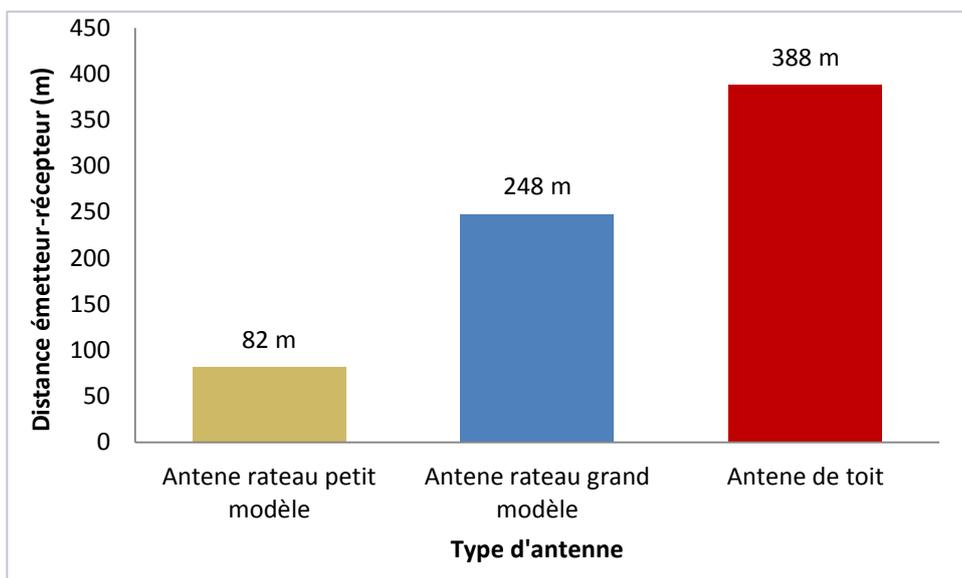


Figure 31 : distances maximales de réception des différents types d'antenne employés

Cependant, ces résultats doivent être modérés car les tests ont été effectués en terrain relativement plat, à faible profondeur et sans écran de végétation. Les distances de réceptions dans des conditions moins favorables seront probablement plus faibles.

## 1-4 RECEPTION PAR LE RESEAU D'HYDROPHONES

Comme l'année précédente, de nombreuses absences de détection ont été constatées (poissons détecté à la station A puis C mais non à la station B située entre les deux). De nombreuses fois, la détection à une station donnée ne repose que sur un signal enregistré alors que les émetteurs en produisent fréquemment (*cf. Matériel et Méthode §2-2*).

Ceci traduit une faible « robustesse » de la détection. On peut supposer que si le poisson était passé plus rapidement ou dans des conditions d'écoute moins favorables, il n'aurait pas été détecté.

## 1-5 RECEPTION PAR LES STATIONS PIT-TAG

Sur les 97 individus équipés de PIT-tag TIRIS, seulement une Alose a été détectée à la station de Descartes sur la Creuse dans une station PIT-tag. Il s'agit de la première Alose depuis le début des opérations de marquages menées par le MNHN et l'INRA. Pourtant ces récepteurs possèdent un très bon taux de détection pour les individus migrants vers l'amont (*comm. pers. PORTAFAIX, P. LOGRAMI 2013*).

## 2 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE LA PERIODE DE MARQUAGE

Les pêches de marquage ont eu lieu du 01 janvier 2014 au 30 juin 2014 en utilisant toutes les techniques préalablement citées. La pêche au filet barrage à proprement parler a eu lieu du 7 mars au 22 mai.

Le premier poisson capturé est un Saumon, le 09 janvier au filet posé et le dernier, un Saumon également, pêché le 10 mai 2014 au filet barrage (Figure 32).

Le débit a été soutenu de la fin Janvier à la mi-Mars avec différents épisodes de crue. L'emploi du filet posé a permis la capture de deux Saumons pendant ces épisodes de crue (le 09/01 et le 01/02) alors qu'il était impossible d'utiliser les autres techniques de pêche. Cependant, l'hydrologie a été globalement plus modérée qu'en 2013, facilitant ainsi les captures.

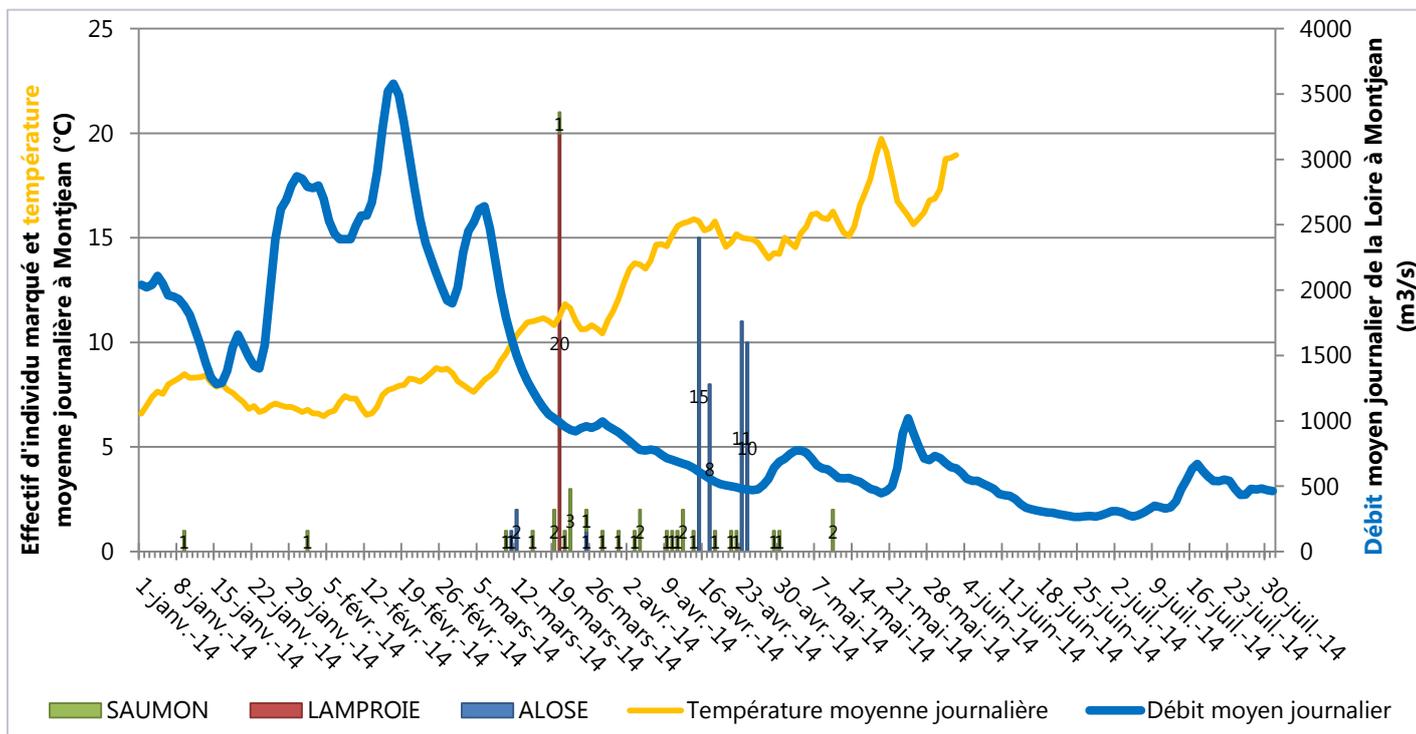


Figure 32 : graphique des conditions hydro-climatiques durant la période de marquage et effectifs marqués

## 3 SAUMONS

### 3-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUÉS

Au total 30 Saumons ont été capturés et marqués. Le premier Saumon a été marqué le 9 janvier et le dernier le 10 mai.

La taille (longueur totale) des Saumons allait de 690 à 1004 mm avec une moyenne de  $799 \pm 12$  mm (e.s. 0,95) (Figure 33). Le poids variait entre 2800 et 8400 g avec une moyenne à  $4602 \pm 243$  g (e.s. 0,95).

Sur les 30 Saumons, 8 avaient subi une ablation de la nageoire adipeuse, signe qu'ils proviennent d'opérations de repeuplement. Il n'existe pas de différence significative de taille et de poids entre les Saumons avec ou sans adipeuse (respectivement  $p\text{-value}=0,146$  et  $0,189$ ).

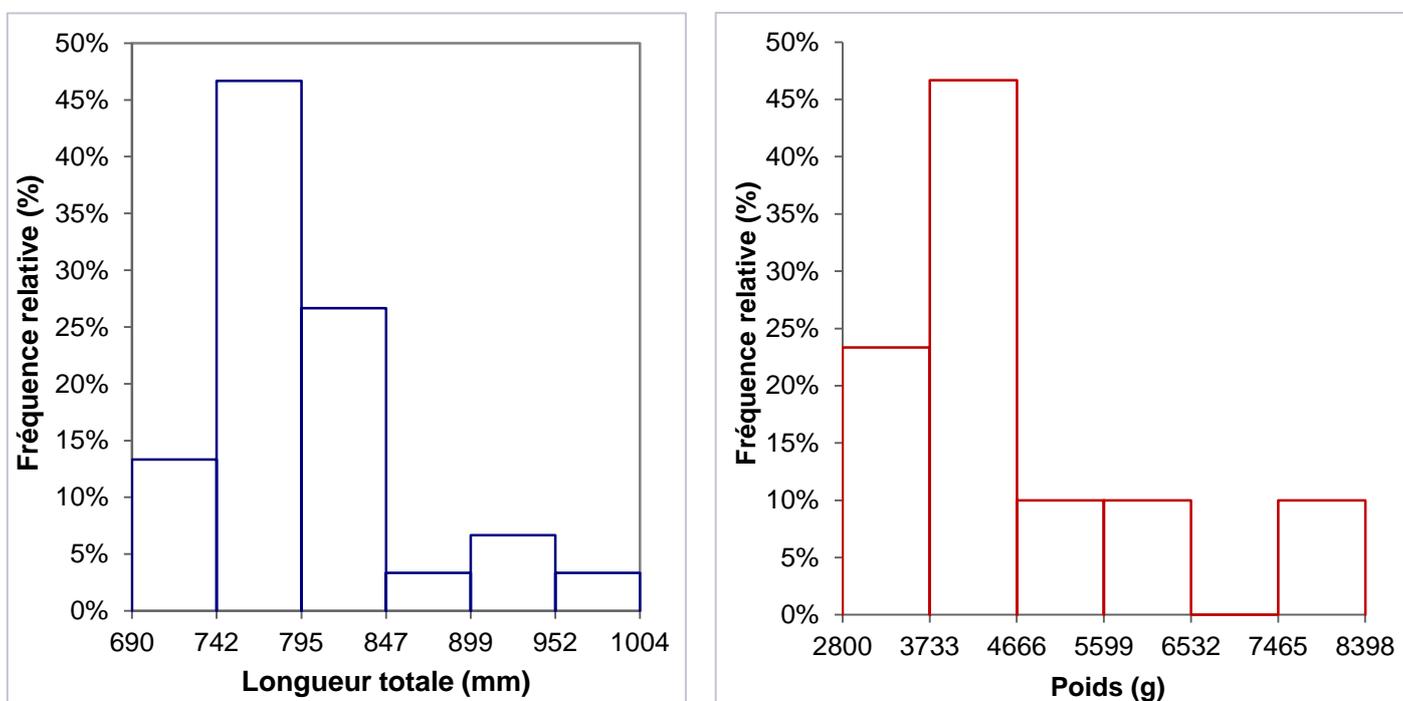


Figure 33 : histogrammes de fréquences de taille et poids des Saumons marqués

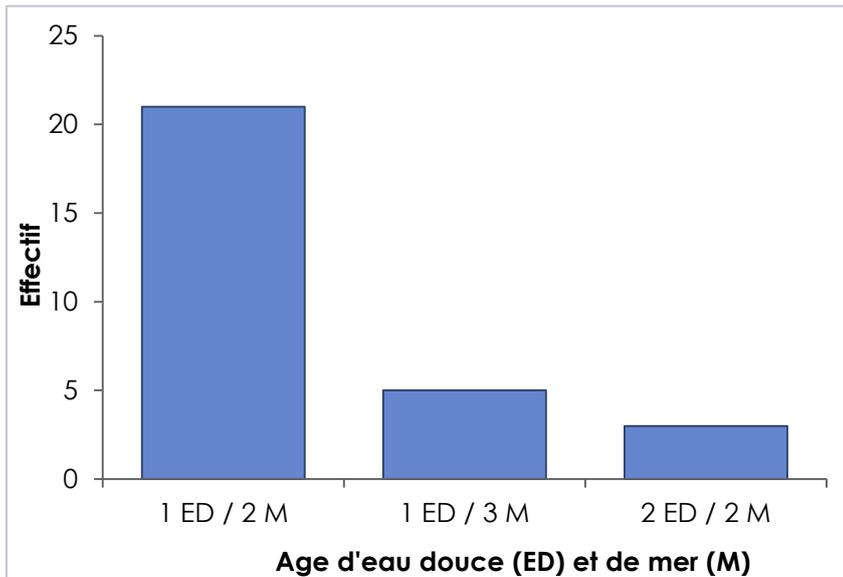


Figure 34 : répartition des âges des Saumons marqués

D'après la lecture des écailles effectuée par M. BAGLINIERE J-L., sur ces trente individus, 24 étaient restés deux ans en mer (Figure 34).

Un individu à la nageoire adipeuse ablationnée avait fait deux remontées en eau douce.

L'Age d'eau douce n'a pas pu être déterminé avec certitude pour un individu.

Aucune tendance claire n'a pu être dégagée entre la date de capture (et donc d'arrivée en estuaire) et l'âge des Saumons.

La moitié des Saumons marqués avaient un état sanitaire externe plus ou moins dégradé. Différents types de lésions ont été remarqués (Figure 35) :

- Ecailles arrachés (principalement vers la queue)
- Plaies dorsales profondes
- Rougeurs ventrales
- Nageoires abimées



Figure 35 : différentes lésions remarquées sur les Saumons

Ces lésions, déjà constatées sur les Saumons capturés dans les passes à poisson, peuvent donner lieu à des infections en lien avec l'augmentation de la température de l'eau au fur et à mesure de la migration. Elles sont susceptibles de compromettre fortement les chances de survie de ces poissons et leur capacité à rejoindre les zones de frayères pour réaliser leur reproduction (BACH, et al., 2011).

### 3-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS

Sur les 30 Saumons marqués, 16 ont été équipés de marques hybrides Lotek®, 13 de marques acoustique Thelma® et un d'une marque Vemco®. La grande majorité (23) a été capturée au filet barrage à la Méritré. Le reste de l'effectif a été capturé au filet fixe à la Pierre Percée (4) et à Varades (3).

Vingt-six ont été détectés par les systèmes de télémétrie employés (hydrophone ou radiopistage) soit un taux de détection de 87%. Sur les 16 saumons équipés de marques hybrides, 9 individus ont été retrouvés par radiopistage.

### 3-3 ANALYSE DES PATRON DE MIGRATION

Après l'analyse des graphiques de migration (voir légende en annexe 2), cinq patrons de migration peuvent être identifiés.

#### a) Groupe A

Ce groupe de quatre individus rassemble les Saumons ayant effectué une dévalaison post-marquage. Trois d'entre eux ont dévalé jusqu'à l'océan sans se représenter dans l'estuaire (Figure

36). La migration de ces individus a donc été fortement compromise pour cette année. L'autre individu (SASA-1203) a effectué une dévalaison plus lente entre son site de marquage (La Pierre Percée) et la station de Nantes puis n'a plus été détecté.

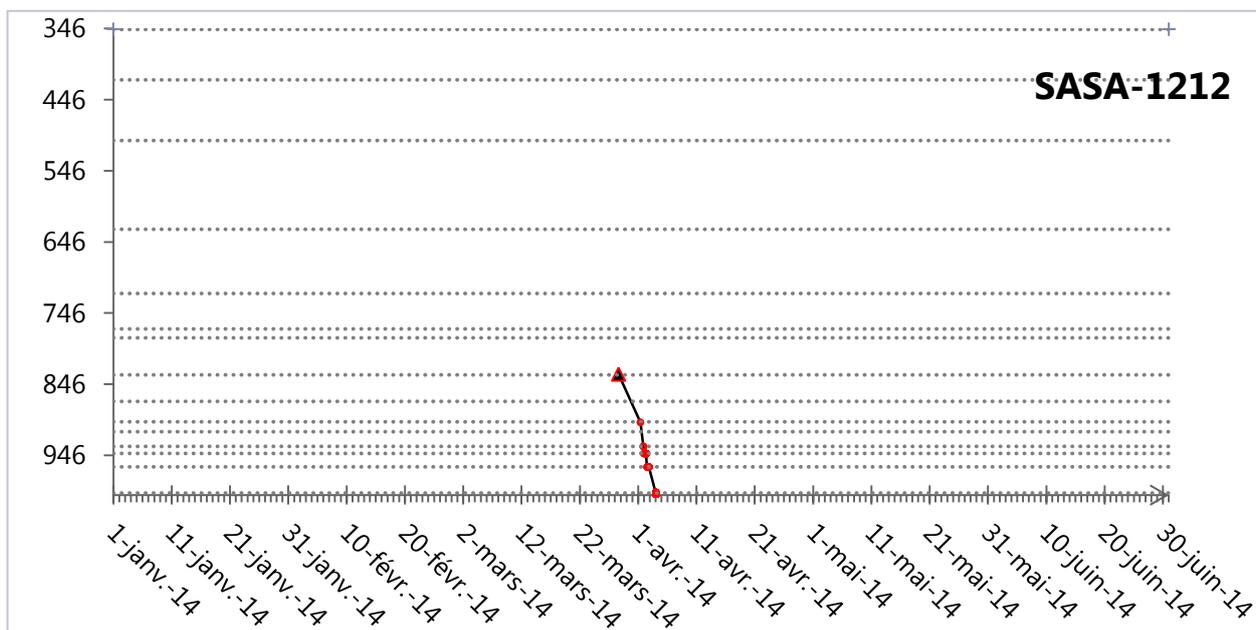


Figure 36 : exemple de graphique de migration du groupe A (SASA-1212)

Pour les trois individus repartis en mer, la dévalaison s'est faite à des vitesses comprises entre -9 et -87 km/j avec une moyenne de  $-35 \pm 9,6$  km/j (e.s. 0,95). Ces vitesses sont donc rapides et permettent aux individus de regagner l'océan en quelques jours ; ce qui laisse à penser que les individus sont bien vivants.

En revanche, SASA-1203 présente des vitesses de dévalaison beaucoup plus faibles (-,05 et -1,5 km/j). Ces vitesses laissent à supposer que le Saumon était mort et qu'il dérivait lentement vers l'aval. De plus ce Saumon a été capturé au filet posé et a eu des difficultés à repartir après le marquage (réveil post-anesthésie long).

#### b) Groupe B

Ce groupe de neuf individus rassemble les Saumons ayant effectué un mouvement global de montaison après le marquage. Cette montaison a pu être suivie sur une grande distance pour deux d'entre eux marqués au filet-barrage à la Ménitré. Pour les sept autres, la montaison n'a été enregistrée que par une ou deux stations en amont du site de relâcher.

Le premier Saumon suivi sur une longue distance est SASA-1210. C'est également le plus gros Saumon marqué depuis le début du projet (1,0m de long pour 8,4 kg). Ce Saumon a été marqué à la Ménitré et suivi jusqu'à Château-sur-Allier (Figure 37).

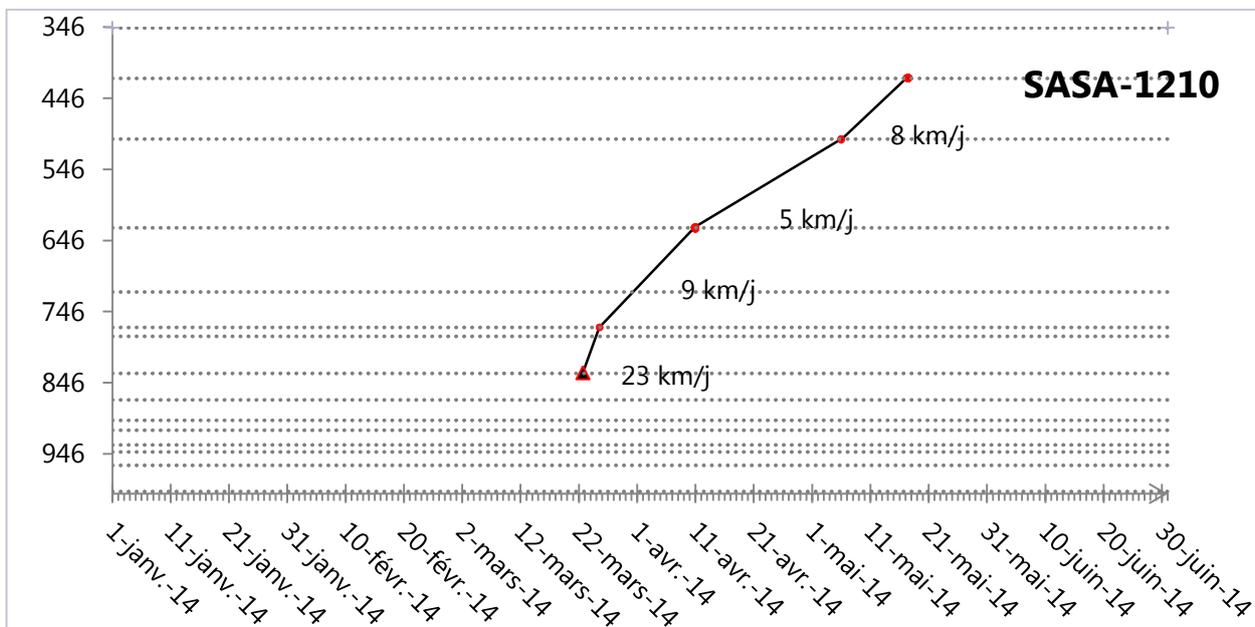


Figure 37 : graphique de migration de SAsA-1210

La vitesse de migration est relativement élevée après le marquage (23 km/j entre la Ménitré et Langeais) puis réduit à 5-9 km/j. SAsA-1210 a mis 56 jours à parcourir le trajet La Ménitré / Château-sur-Allier.

Le deuxième Saumon suivi sur une longue distance est SAsA-1214 (Figure 38). Ce Saumon de 78cm et 4 kg a été suivi depuis la Ménitré jusqu'à Cosne sur Loire. Contrairement au précédent, la vitesse est allée en augmentant au fur et à mesure de la migration.

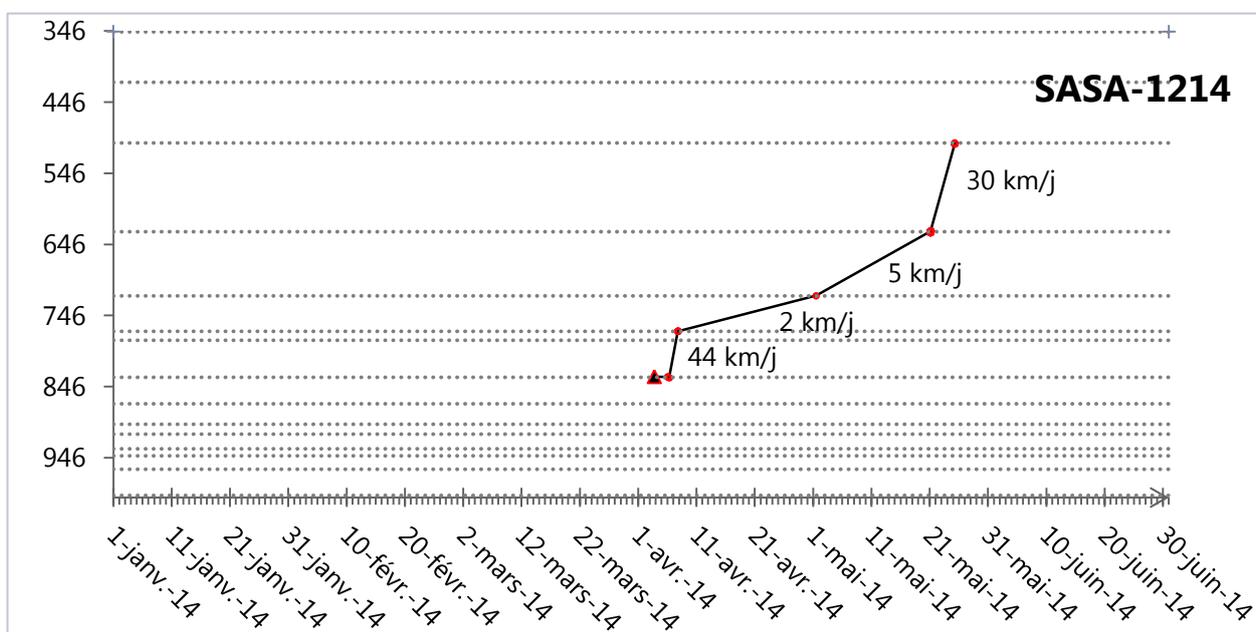


Figure 38 : graphique de migration de SAsA-1214

SAsA-1214 a mis 52 jours à parcourir La Ménitré/Cosne-sur-Loire contre 44 jours pour SAsA-1210. Cette différence de vitesse pourrait s'expliquer par la plus grande taille de SAsA-1210 et donc des

capacités de nages plus importantes.

Les vitesses de montaison de ce groupe varient entre 2 et 44 km/j avec une moyenne de  $21 \pm 3$  km/j.

Dans ce groupe, SASA-1227 est le seul Saumon à avoir pris la direction de la Vienne depuis le début du projet. La migration entre la Ménitré et Chinon s'est effectuée à 19 km/j. Ce Saumon de 75 cm et 3,72 kg avait une adipeuse coupée et provenait donc d'une opération de repeuplement.

### c) Groupe C

Ce groupe de 7 individus rassemble les Saumons qui ont effectué un mouvement global de montaison puis ont été retrouvés immobiles grâce au radiotracking (Figure 39). La majorité de ces Saumons ont été détectés par une ou plusieurs stations d'hydrophones avant de s'immobiliser et d'être retrouvé lors des opérations de radiopistage.

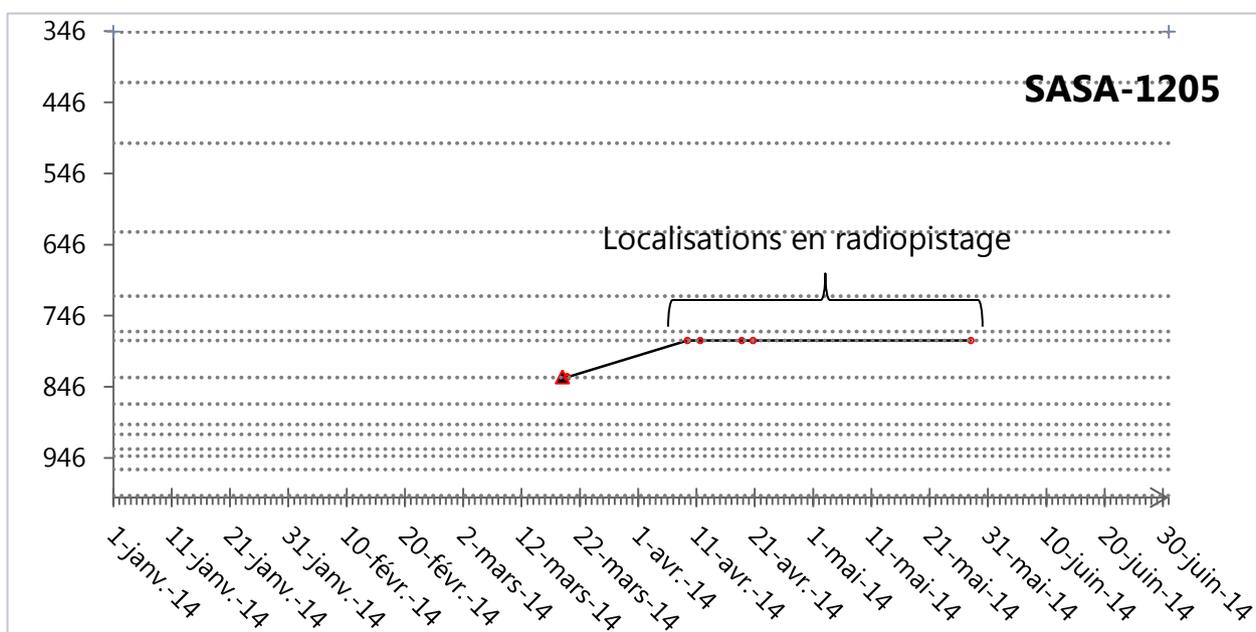


Figure 39 : exemple de graphique de migration du groupe C (SASA-1205)

Les Saumons de ce groupe ont été localisés en radiopistage entre 18 et 67 jours après leur marquage. Certains de ces Saumons ont pu être localisés précisément grâce à la triangulation :

Tableau 4 : localisation par triangulation des Saumons

N° Identifiant	Commune localisation	Site
<b>SASA-1204</b>	Saint-Laurent des Eaux (départ. 41)	Dans la retenue en amont du barrage
<b>SASA-1215</b>	Cour-sur-Loire (départ. 41)	Fosse
<b>SASA-1205</b>	Rigny-Ussé (départ. 37)	Fosse avec arbres immergés
<b>SASA-1209</b>	Chênehutte (départ. 49)	« Cul de grève »

La carte globale des Saumons retrouvés immobiles est disponible dans le paragraphe suivant.

Une opération de plongée a été organisée sur le site où SASA-1205 a été localisé le 20/04/2014 soit 32 jours après son marquage et la dernière détection par un hydrophone. Cette opération n'a pas permis de retrouver le Saumon ou même l'émetteur. Un détecteur de métaux aurait été nécessaire pour cela car l'endroit était très encombré par de nombreux déchets végétaux. Cependant, l'endroit a pu être caractérisé (Figure 40). Il s'agit d'une fosse d'environ 3 mètres de profondeur abritée du courant par plusieurs arbres immergés. Lors de cette plongée, plusieurs Silures ont été observés dont certains estimés à environ 2m.



*Figure 40 : vue globale du site et Silure observé depuis la surface lors de la plongée*

#### d) Groupe D

Ce groupe de deux individus rassemble également des Saumons retrouvés en radiopistage mais, cette fois, après une dévalaison. Ces deux individus n'ont jamais dépassé leur site de marquage et ont dévalé après leur relâcher. Ils se sont ensuite immobilisés à 10 et 20 km de leur site de relâcher. Ces deux Saumons ont été localisés dans des fosses à la Bohalle (dép. 49) et les Ponts-de-Cé (dép. 49).

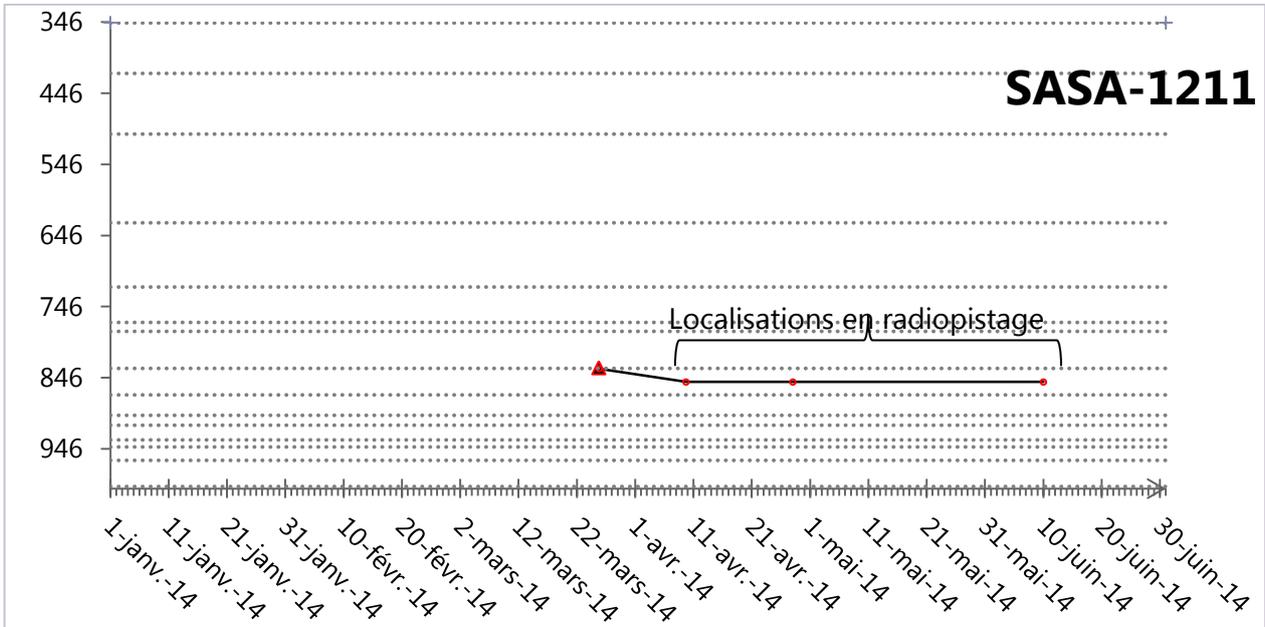


Figure 41 : exemple de graphique de migration du groupe D (SASA-1211)

Un des deux Saumons de ce groupe a cessé d'être détecté lors des opérations de radiopistage 36 jours après son marquage. Deux hypothèses sont donc envisageables : soit l'émetteur a subi une défaillance et a cessé d'émettre son signal radio, soit le Saumon s'est déplacé (en montaison ou dévalaison). Malheureusement, cette dernière hypothèse n'a pas pu être vérifiée car il aurait fallu procéder à une autre campagne de radiopistage sur la Loire et ses affluents. Cette opération n'a pu être menée par manque de temps (marquage des Aloses et des Lamproies).

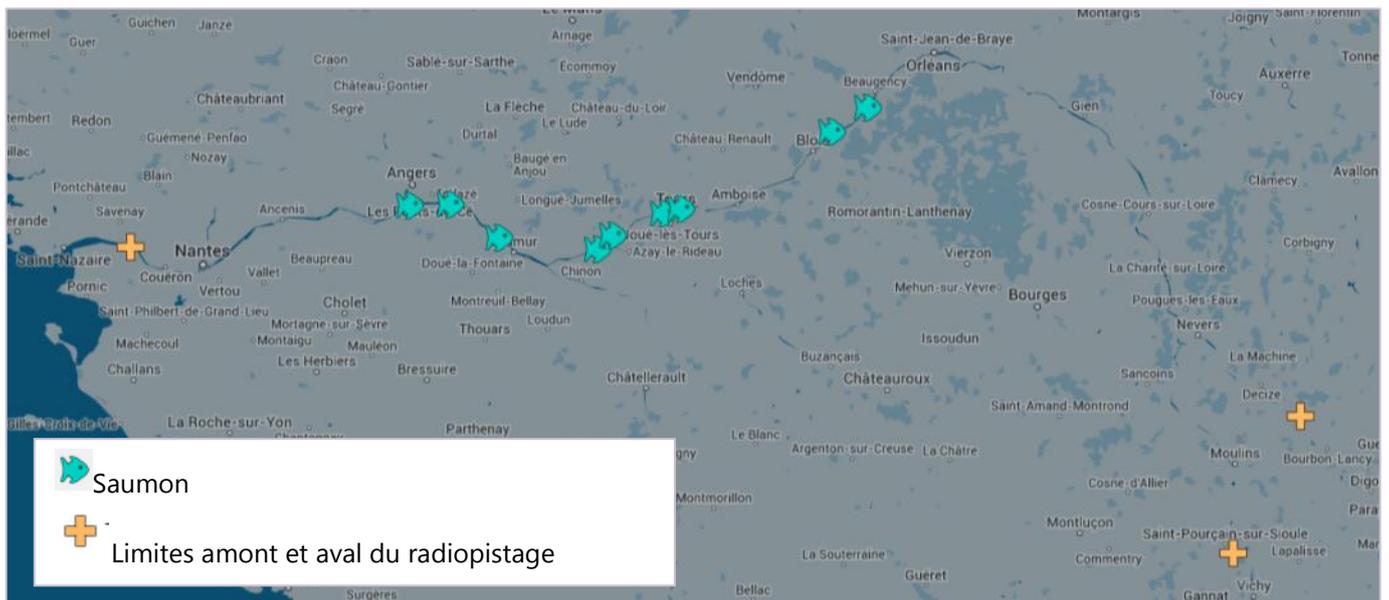


Figure 42 : carte de localisation des Saumons retrouvés en radiopistage

### e) Groupe E

Ce groupe de 4 individus rassemble des poissons ayant eu peu de détections ce qui ne permet pas d'exploiter les résultats. Ces individus ont été détectés par les hydrophones les plus proches de

leur site de relâcher (Figure 43).

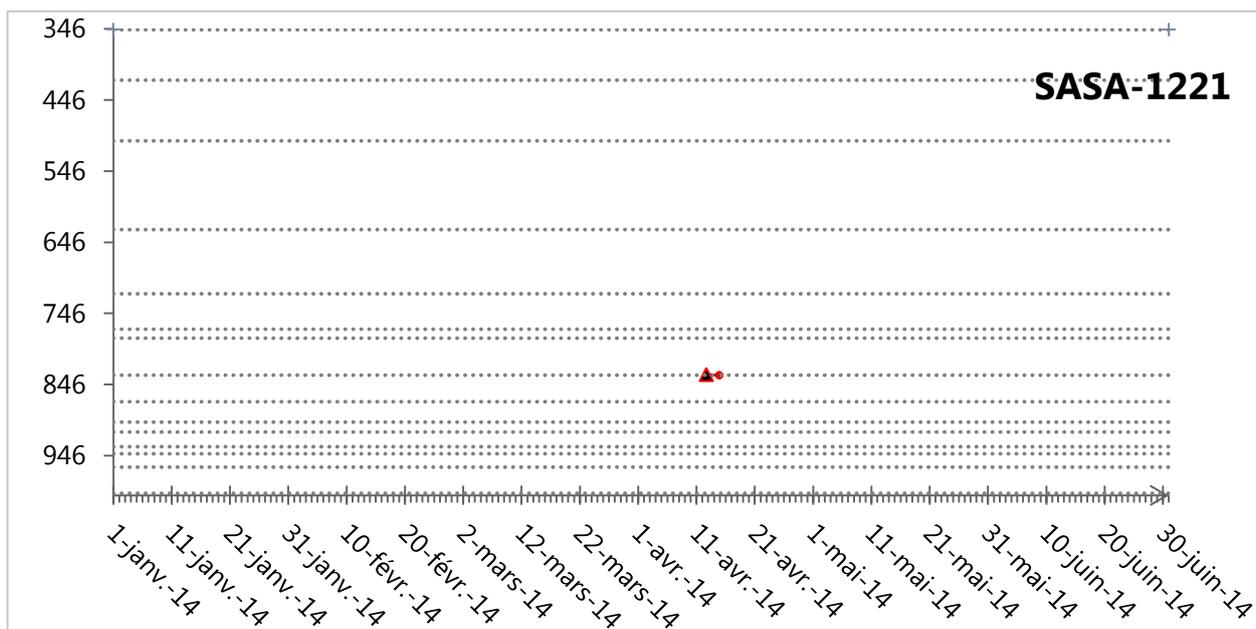


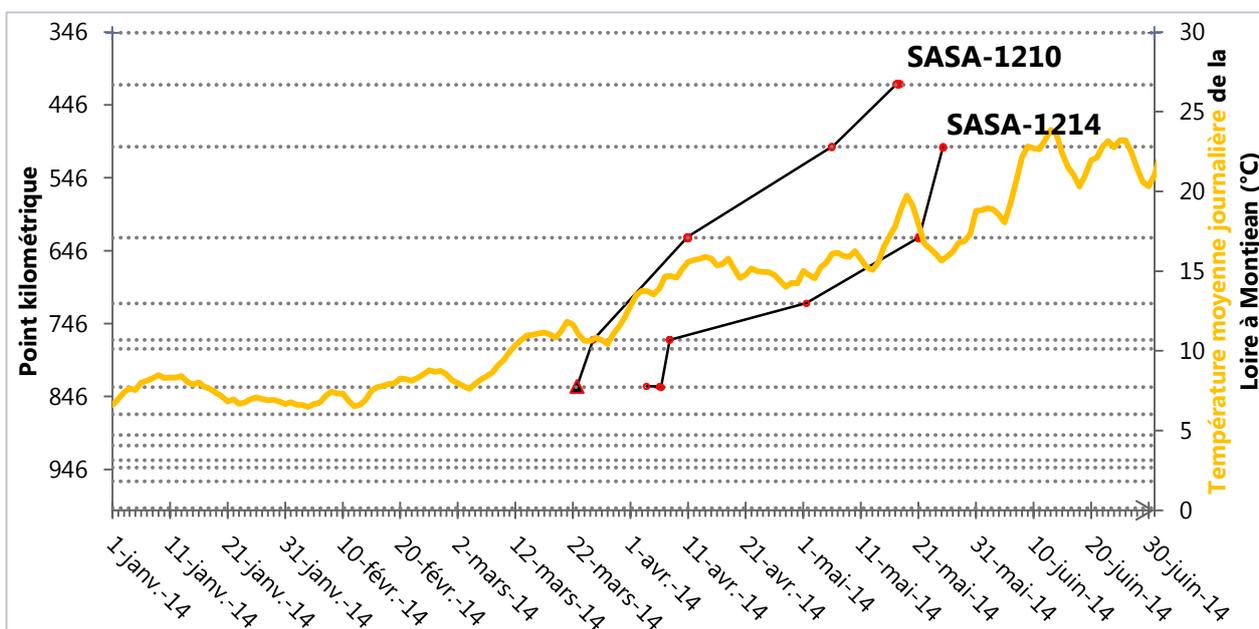
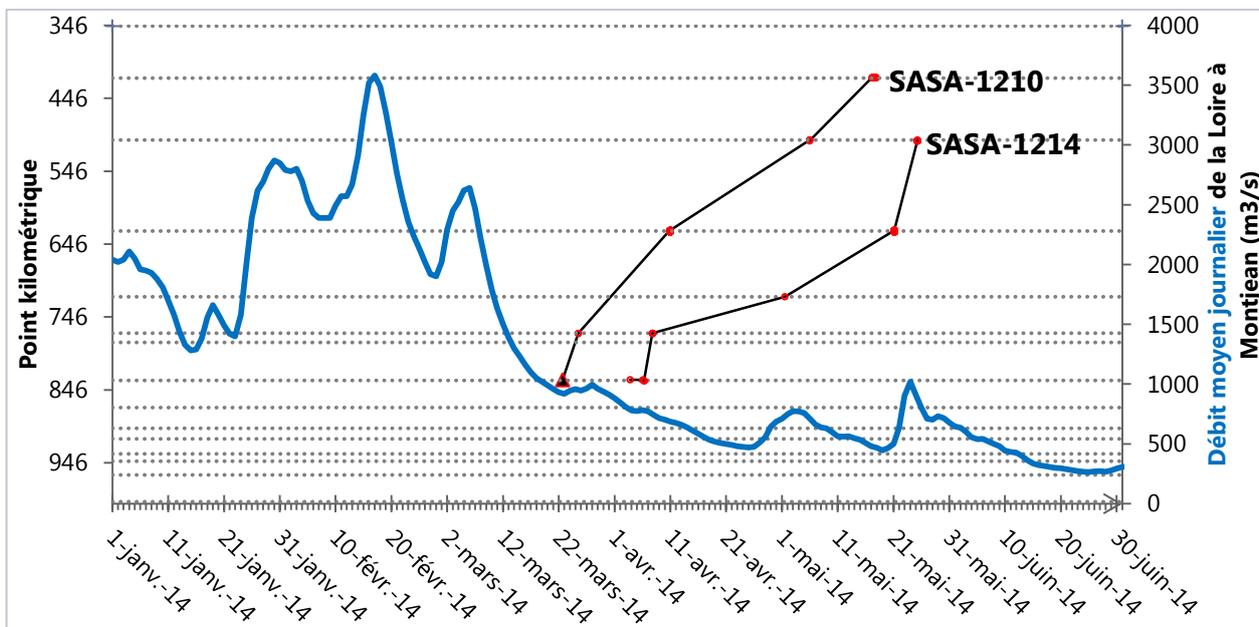
Figure 43 : exemple de graphique de migration du groupe E (SASA-1221)

### 3-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

L'influence des paramètres hydroclimatiques (débit et température) a été étudiée sur les deux individus qui ont pu être suivis sur une longue migration. Il s'agit de SASA-1210 et SASA-1214 qui ont été marqués à la Ménitré et ont été suivis respectivement jusqu'à Château-sur-Allier et Cosne-Cours-sur-Loire.

Ces deux Saumons ont effectué leur migration dans un contexte de baisse du débit et d'augmentation de la température. En prolongeant la courbe de migration en aval du point de relâcher et aux vues des graphiques de migration en estuaire obtenus lors de la phase 1, on peut supposer que les deux Saumons sont entrés en estuaire au début de la décrue de la Loire soit vers le 10 mars 2014.

La température est montée progressivement durant la migration de ces deux Saumons. Bien que celle-ci ait été mesurée à Montjean alors que les Saumons se situaient bien à l'amont, un pic à 19°C est survenu le 19 mai.



## 4 ALOSSES

### 4-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES

Quarante-huit grandes Aloses ont été marquées entre le 11 Mars et le 23 Avril majoritairement à Varades hormis 4 individus marqués à Couëron en Mars.

Le poids n'a pu être mesuré que sur 29 individus en raison d'une panne de balance survenue en début d'une journée de marquage. Les Aloses marquées avaient donc une longueur totale moyenne de  $548 \pm 6$  mm et un poids moyen de  $1932 \pm 92$  g. L'amplitude de taille des individus marqués allait de 455 à 630 mm de longueur totale (Figure 44) et de 1000 à 2839 g en poids.

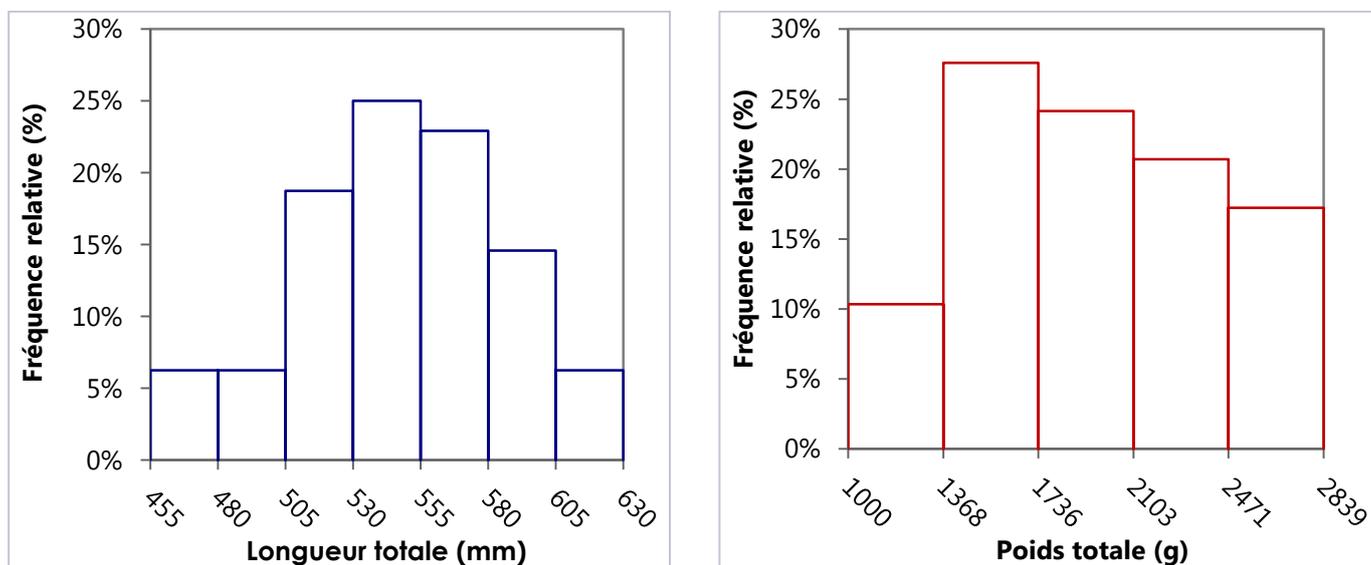


Figure 44 : histogrammes de tailles et poids des Aloses marqués

## 4-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS

Seulement une Alose n'a pas été détectée ce qui porte le taux de détection à 98%. Trois Aloses ont été recapturées dans l'estuaire par des pêcheurs professionnels.

Pour la première fois depuis le début des opérations de marquage pit-tag entreprises en 2012 par le MNHN, une Alose a été détectée à la station de comptage de Descartes sur la Creuse. Soit une Alose sur 229 marquées.

## 4-3 ANALYSE DES PATRONS DE MIGRATION

Comme chez les Saumons, différents patrons de migration ont pu être remarqués chez les Aloses.

### a) Groupe A

Ce groupe rassemble 7 individus ayant tous effectué un mouvement global de dévalaison après le marquage ou possédant très peu de détection (seulement sur le site de relâcher). Deux Aloses de ce groupe ont été recapturées en aval de leur point de relâcher (Figure 45) et une est restée morte à proximité d'un hydrophone (Figure 46).

Les autres Aloses ont dévalé jusqu'à l'océan et ne se sont pas représentées à l'estuaire. La vitesse de dévalaison a été de  $80 \pm 11$  km/j (e.s. 0,95) avec un maximum à 150 km/j. La vitesse de dévalaison a été uniforme tout au long du trajet jusqu'à l'océan.

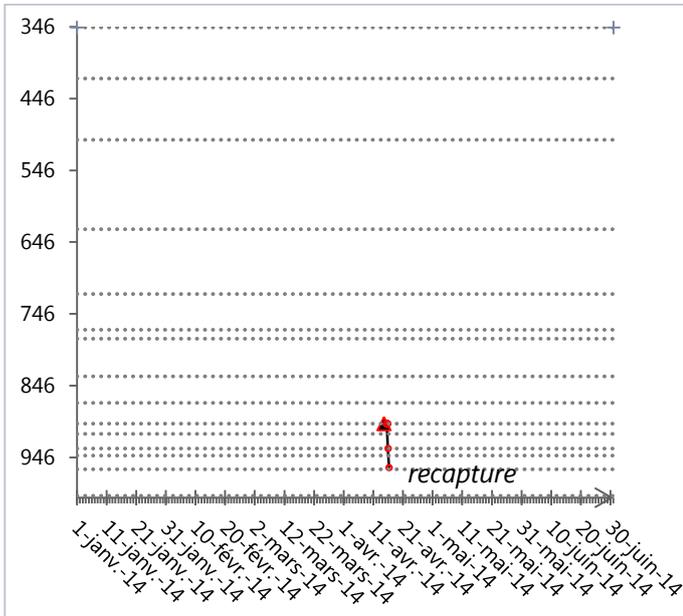


Figure 45 : graphique de migration d'ALAL-2004

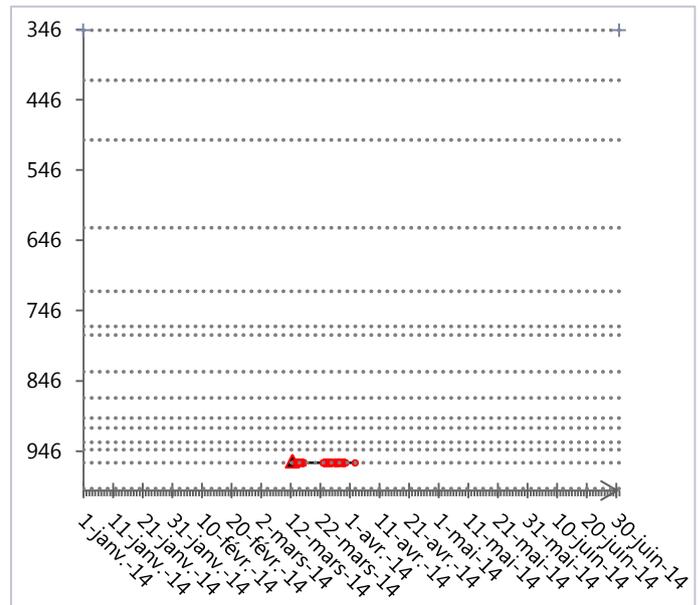


Figure 46 : graphique de migration d'ALAL-1301

### b) Groupe B

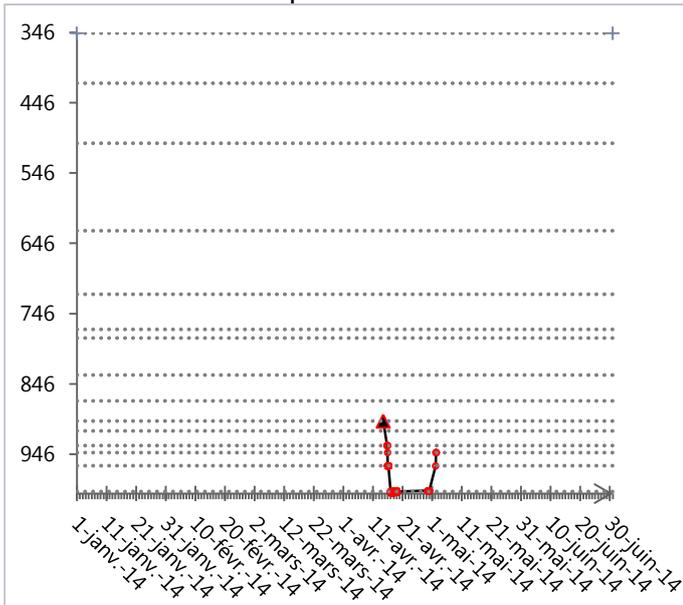
Les 24 Aloses de ce groupe ont effectué une dévalaison après leur marquage comme dans le groupe précédent mais se sont représentées au moins une fois à l'estuaire. Elles ont ensuite effectué une montaison sur une plus ou moins grande distance.

La durée du séjour en mer a été de  $9 \pm 1$  jours (e.s. 0,95) calculée sur 20 individus. Seulement 11 individus sur les 24 de ce groupe ont pu être suivi en amont de leur point de relâché soit Varades pour la quasi-totalité des individus.

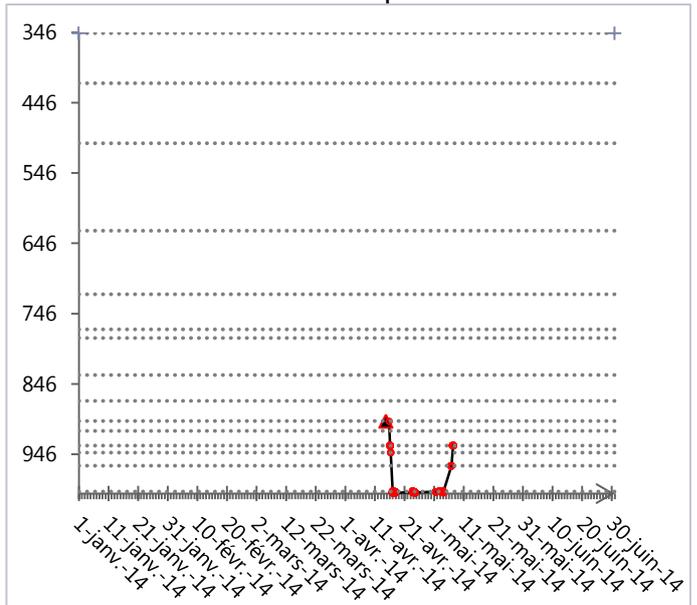
Sur les dix individus de ce groupe ayant pu être suivi en amont de la confluence Loire-Vienne, cinq sont restés sur la Loire et cinq se sont engagés sur la Vienne. Un de ces individus a même été détecté à la station Pit-tag de Descartes sur la Creuse (affluent de la Vienne).

Différents patrons de migration illustrant ce groupe peuvent être présentés (Figure 47).

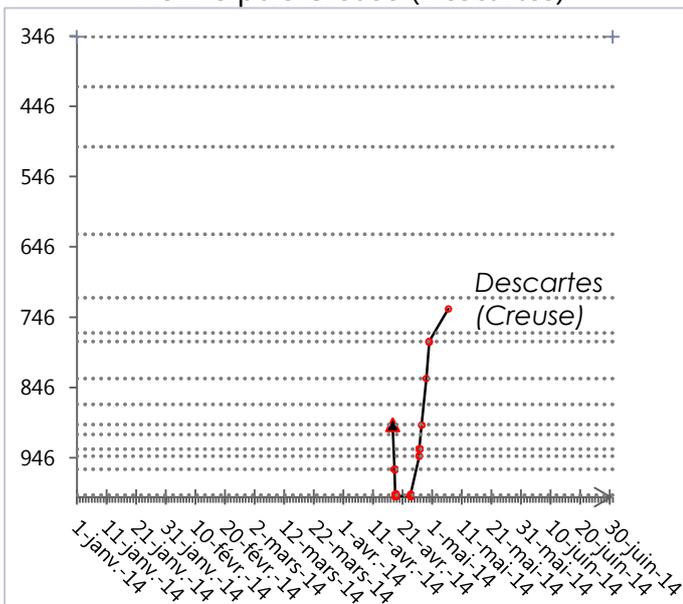
Dévalaison, un séjour en mer et détection en aval du point de relâché



Dévalaison, plusieurs séjours en mer et détection en aval du point de relâché



Dévalaison, séjour en mer et montaison en Vienne puis Creuse (Descartes)



Dévalaison, séjour en mer et montaison en Loire (Orléans)

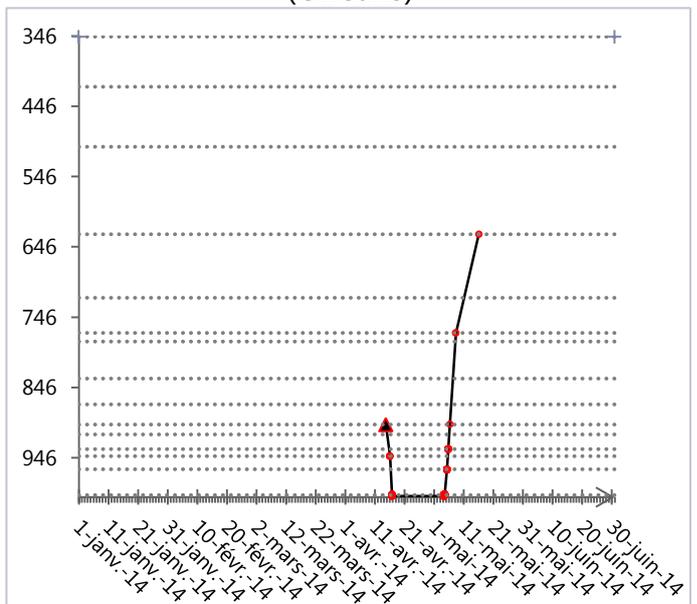


Figure 47 : illustrations de différents patrons de migration du groupe B

La vitesse de montaison est globalement homogène quel que soit la section considérée. Elle est en moyenne de  $42 \pm 11$  km/j (e.s. 0,95).

### c) Groupe C

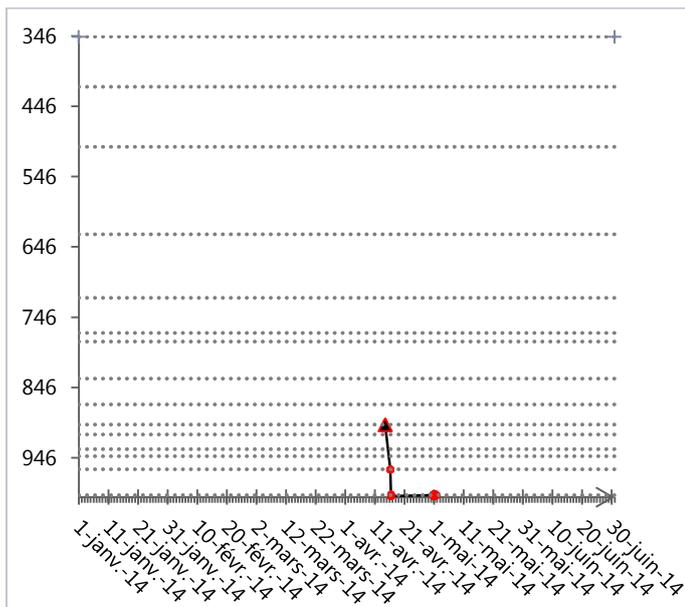


Figure 48 : exemple de patron de migration du groupe C (ALAL-2002).

Ce groupe de 4 individus rassemble les Aloses ayant effectué une dévalaison après le marquage jusqu'à l'océan puis s'étant représentées à Saint-Nazaire sans pour autant migrer plus en amont.

La durée du séjour en mer varie entre 10 et 20 jours. Aucune Alose de ce groupe n'a dépassé son point de relâcher.

### d) Groupe D

Ce groupe de 10 Aloses rassemble les individus ayant effectué une montaison directement après leur relâcher. Il n'y a pas eu de dévalaison post-marquage (du moins pas supérieur à la ligne d'hydrophone en aval du point de relâcher). Huit Aloses ont migré sur la Vienne et ont été détectées à Chinon. Une a remonté la Loire et a été détectée à Orléans et une dernière n'a été détectée qu'à la Possonnière (aval de la confluence Vienne-Loire). Les vitesses de montaison varient entre 7 et 28 km/j avec une moyenne à  $20 \pm 2$  km/j.

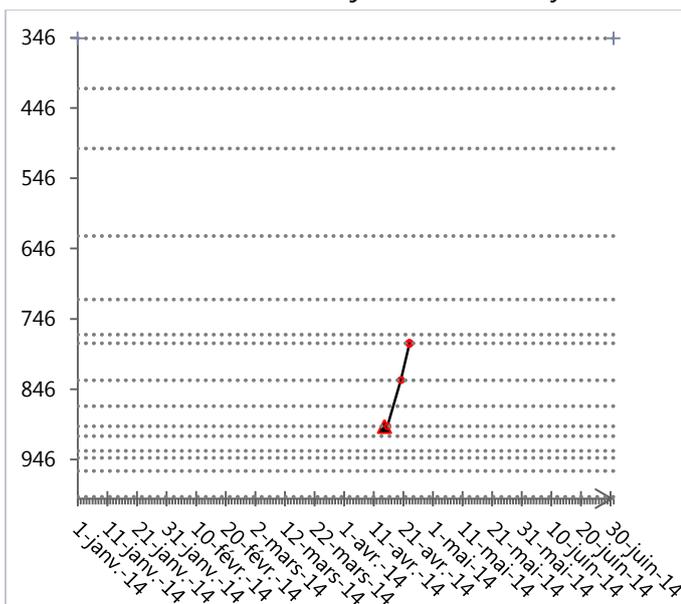


Figure 49 : exemple de patron de migration du groupe D (ALAL-2007).

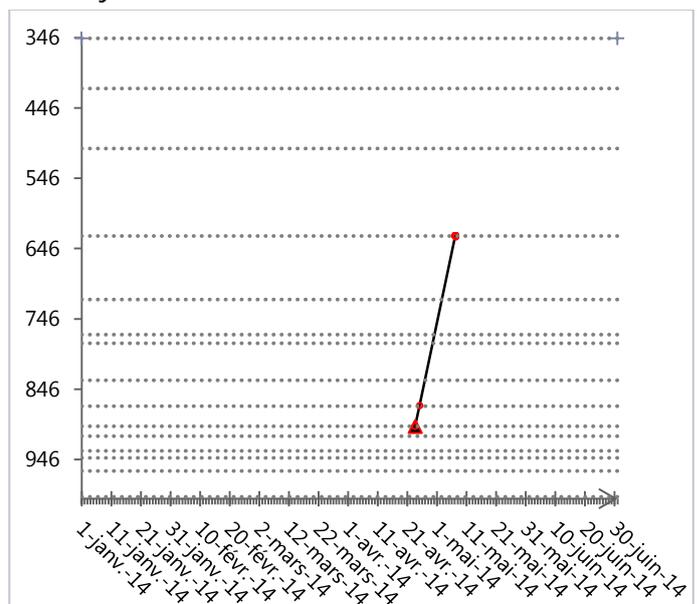


Figure 50 : exemple de patron de migration du groupe C (ALAL-2028).

L'Alose ALAL-2028 a été marquée à Varades et détectée à la Possonnière puis à Orléans. Un grand nombre d'hydrophone n'a donc pas détecté son passage (4 stations). Cette constatation se retrouve chez plusieurs individus ce qui laisse à penser à une défaillance du système de détection (coté émetteur et/ou hydrophones).

### e) Groupe E

Ce dernier groupe de deux individus rassemble deux particularités. Le premier individu a effectué une dévalaison post-marquage et un séjour en mer avant de remonter jusqu'à Langeais sur la Loire (Figure 51). Plutôt que de continuer sa migration sur la Loire, cet individu est redescendu à la confluence Vienne-Loire pour s'engager dans la Vienne où il a été détecté à Chinon. Ceci représente un détour d'environ 64 km. Ce type de comportement avait déjà été observé chez des Saumons de l'Adour s'engageant dans le gave de Pau avant de faire demi-tour pour remonter le gave d'Oloron (BEGOUT, M-L. travaux non publiés).

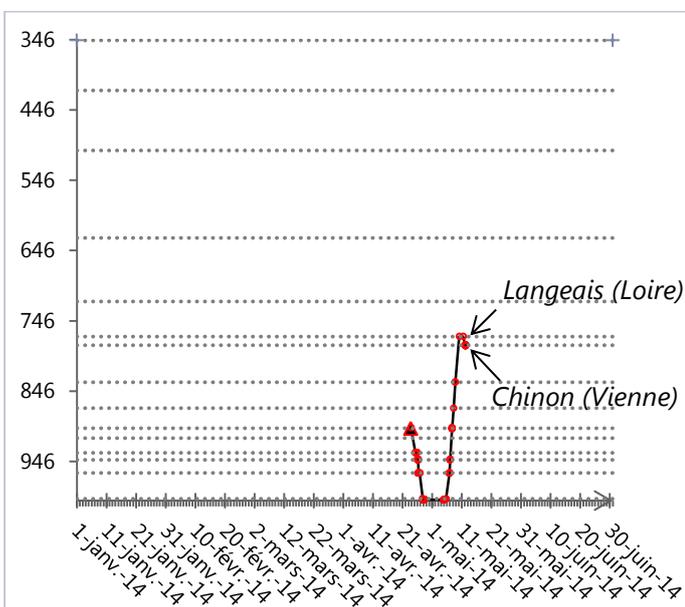


Figure 51 : graphique de migration d'ALAL-2033

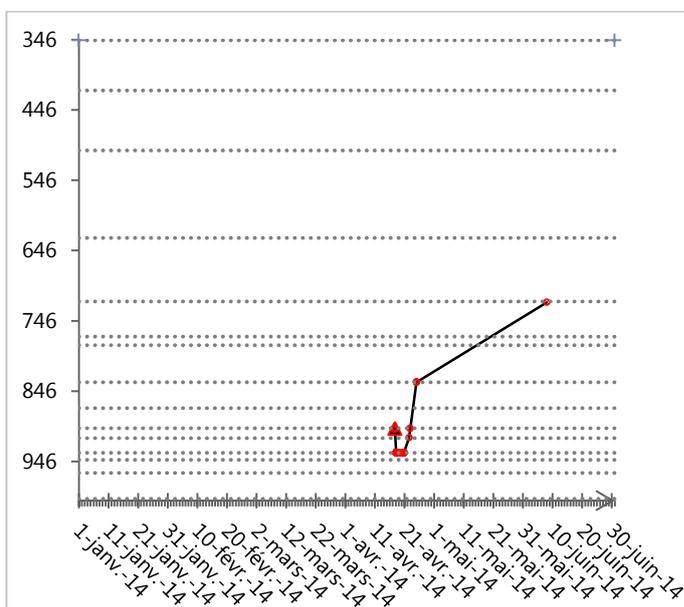


Figure 52 : graphique de migration d'ALAL-2023

Le deuxième individu a effectué une dévalaison post-marquage avant de remonter jusqu'à la station de la Ménitré. Il a ensuite cessé d'être détecté pendant 44 jours puis a été détecté à Amboise. Une migration si lente (2,6 km/j) comparativement aux autres individus semble peu probable. Différentes hypothèses sont donc envisageables :

- « Fausse détection » à Amboise : des fausses détections peuvent survenir sur les hydrophones. Cependant, la probabilité qu'elle corresponde à un code d'individu effectivement marqué et qu'elle soit cohérente dans le temps et l'espace est rarissime.
- Fraie en amont d'Amboise et détection d'un individu mort dévalent après la fraie : cette hypothèse paraît plus plausible car des comportements de fraie ont déjà été observés dans le secteur d'Orléans (*comm. pers.* GUILLIOD, R. pêcheur professionnel).

#### 4-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

Face à la diversité des comportements migratoires décrits précédemment, l'influence des paramètres environnementaux n'a été étudiée que sur les Aloses ayant effectué une montaison (groupe B, D et E).

Les déplacements de montaison et d'avalaison se sont déroulés dans un contexte de stabilité relative des débits et une hausse légère des températures (Figure 53). Cette dernière était en moyenne de 15°C. Comme le montre les graphiques de la Figure 53, il apparaît très difficile voir impossible de dégager une relation entre ces paramètres et le comportement des poissons. En effet, pour une même période, certaines Aloses sont montées, d'autres en descendues et d'autres enfin étaient en mer.

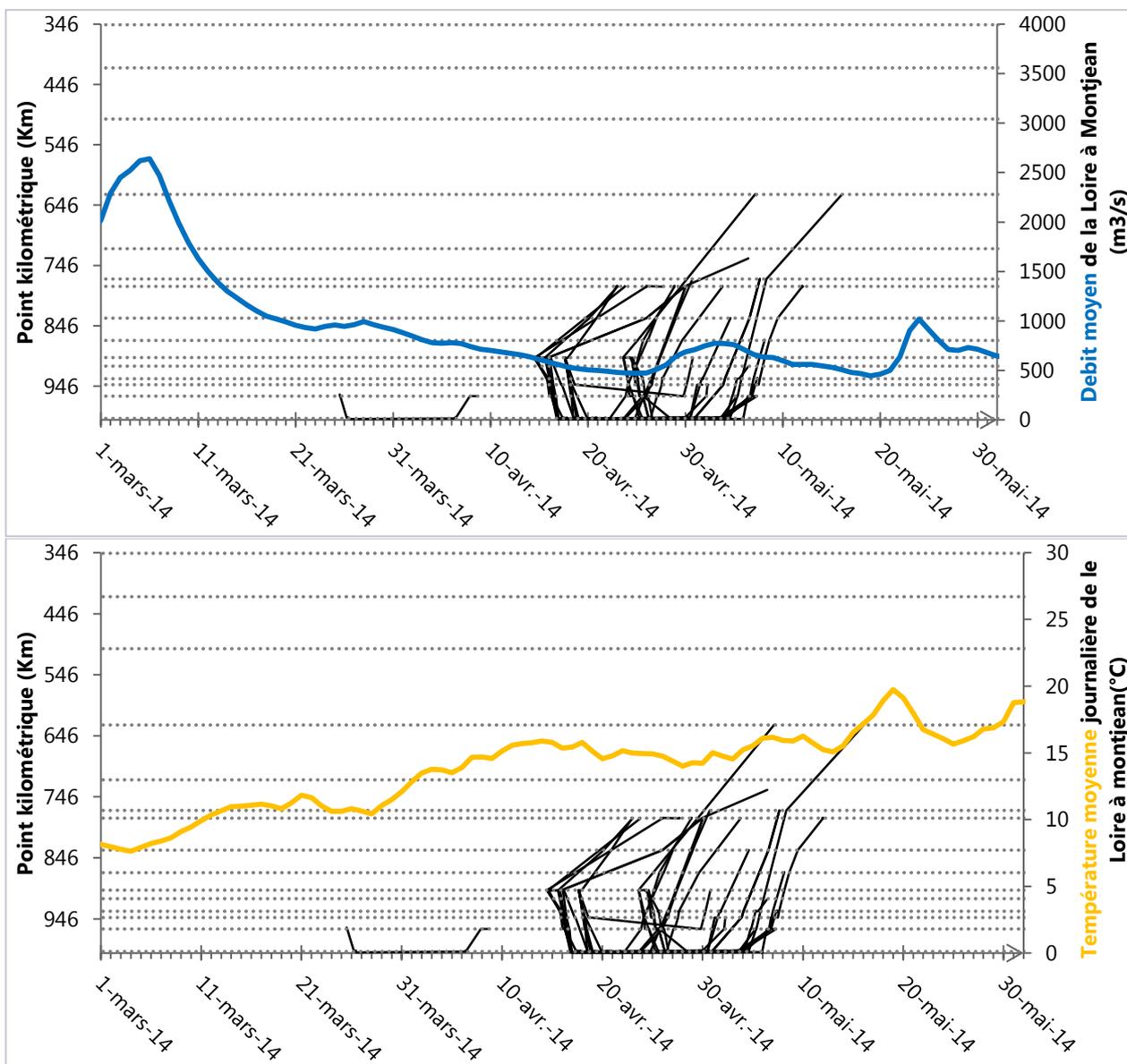
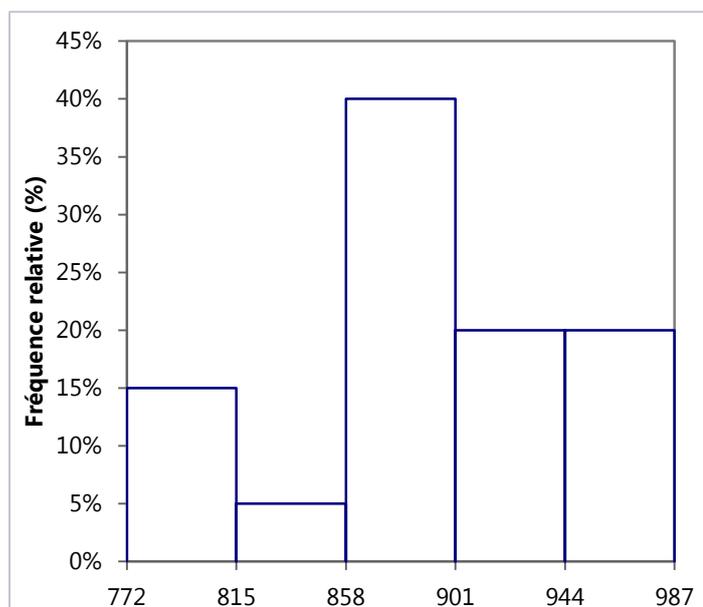


Figure 53 : conditions de débit et de température de la Loire durant la migration des Aloses

## 5 LAMPROIES MARINES

### 5-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES

Vingt Lamproies ont été marquées le 20 mars 2014. Elles avaient été capturées la veille. En complément, cinq Lamproies ont été marquées avec différents protocoles et conservées dans un vivier en Loire afin de suivre l'évolution de la cicatrisation suite à l'implantation des marques.



La longueur totale des individus est comprise entre 772 et 987 mm avec une moyenne de  $890 \pm 12$  mm (e.s. 0,95). Le poids est compris entre 980 et 1810 g avec une moyenne de  $1382 \pm 47$  g (e.s. 0,95).

L'échantillon se composait de 10 femelles (présence d'œufs remarquée lors de la chirurgie) et de 10 individus au sexe non déterminé avec certitude (notés M? ci-dessous) mais qui sont probablement des mâles, les œufs étant visibles très tôt sur *P. marinus* (Com. pers. ROUGEMONT, Q. 2014).

Figure 54 : histogramme des fréquences de Longueur totale

### 5-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS

Sur les 20 individus marqués, seulement 7 ont été détectés par les hydrophones et un par la station Tiris de Descartes sur la Creuse soit un taux de détection de 40%. Parmi ces 8 individus, 4 ont été détectés à l'amont du site de relâché et 4 à l'aval. Enfin, un individu a été recapturé par un pêcheur professionnel.

### 5-3 ANALYSE DES PATRONS DE MIGRATION

Au vue des patrons de migrations établis à partir des détections, 3 groupes d'individus peuvent être distingués.

### a) Groupe A

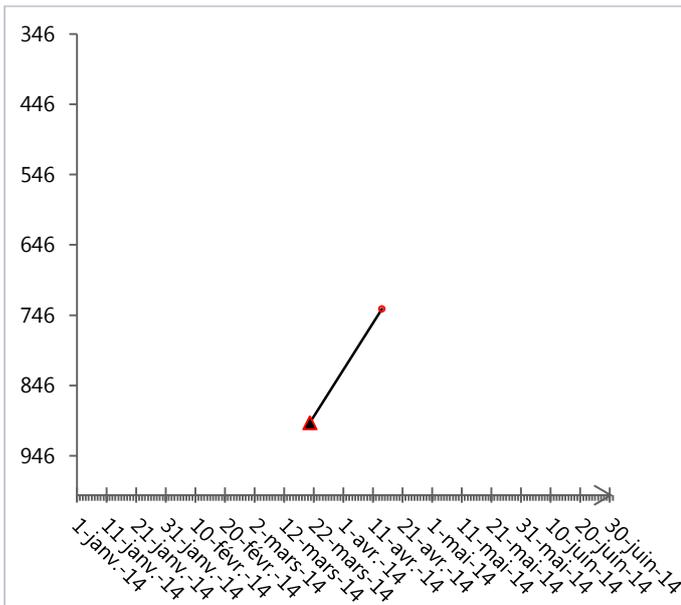


Figure 55 : graphique de migration de PEMA-2104

Ce groupe rassemble 2 Lamproies détectées à l'amont de leur site de relâcher (Varades) par les hydrophones ainsi que la Lamproie détectée par la station TIRIS de Descartes.

Le nombre de détection pour ces deux première Lamproies est extrêmement faible (1 et 5 détection).

Les vitesses de montaison de ces individus sont de 16 et 22 km/j pour les deux premières Lamproies et de 7 km/j pour la Lamproie ayant effectué le trajet Varades-Descartes (162 km) (Figure 55).

### b) Groupe B

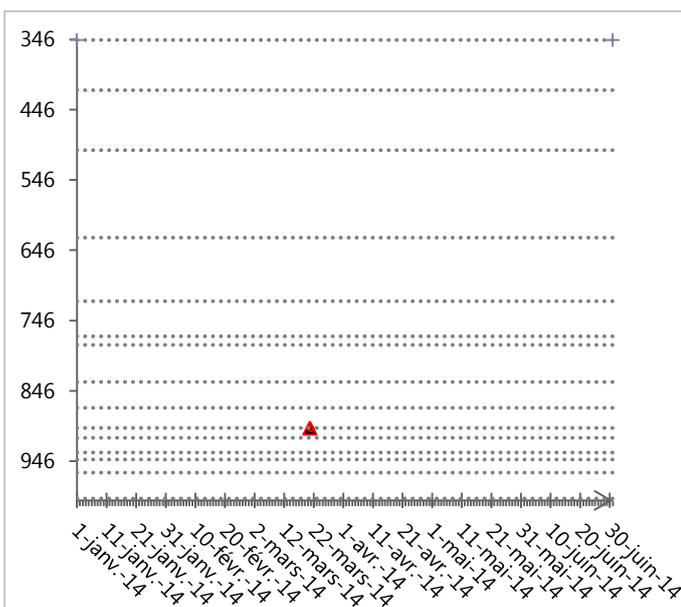


Figure 56 : graphique de migration de PEMA-2107

Ce groupe rassemble 4 individus qui ont effectués des dévalaisons après leur relâché sans jamais avoir effectué de montaison (Figure 56). Ces individus ont été détectés seulement par les hydrophones de Varades situés quelques centaines de mètres en aval du point de relâcher.

Ils ne possèdent que très peu de détections à la station de Varades (entre une et quatre). Elles ont lieu quelques minutes après l'heure du relâcher.

### c) Groupe C

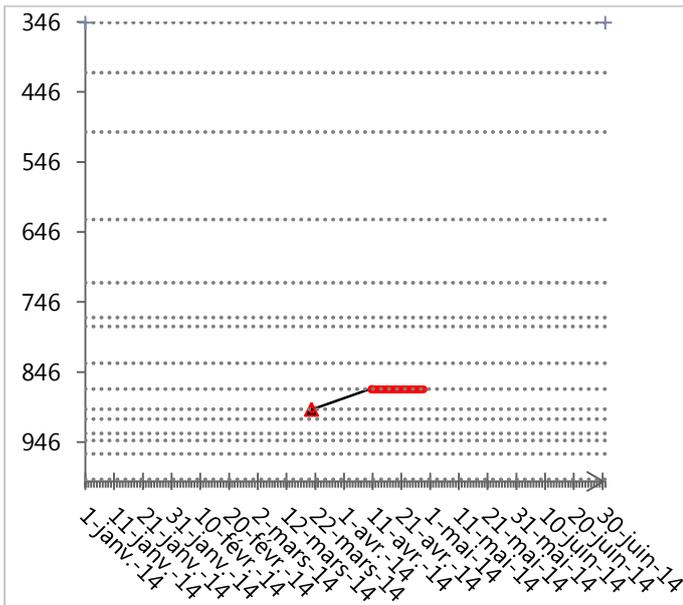


Figure 57 : graphique de migration de PEMA-2114

Ce dernier groupe de deux individus rassemble d'une part la Lamproie PEMA-2113 qui a été recapturée à Varades par un pêcheur professionnel 11 jours après avoir été relâchée. Cette Lamproie n'a été détectée par aucun hydrophone.

Le deuxième individu de ce groupe a effectué une montaison très lente (1,4 km/j) entre la station de Varades et celle de la Possonnière (Figure 57). Elle a ensuite été détectée à cette station durant 18 jours avec un nombre de détection très important.

## 5-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

Face au peu d'individus détectés, il apparaît difficile d'évaluer l'influence des paramètres environnementaux sur la migration des Lamproies. Seule la migration de PEMA-2104 a été caractérisée à titre d'exemple (Figure 58).

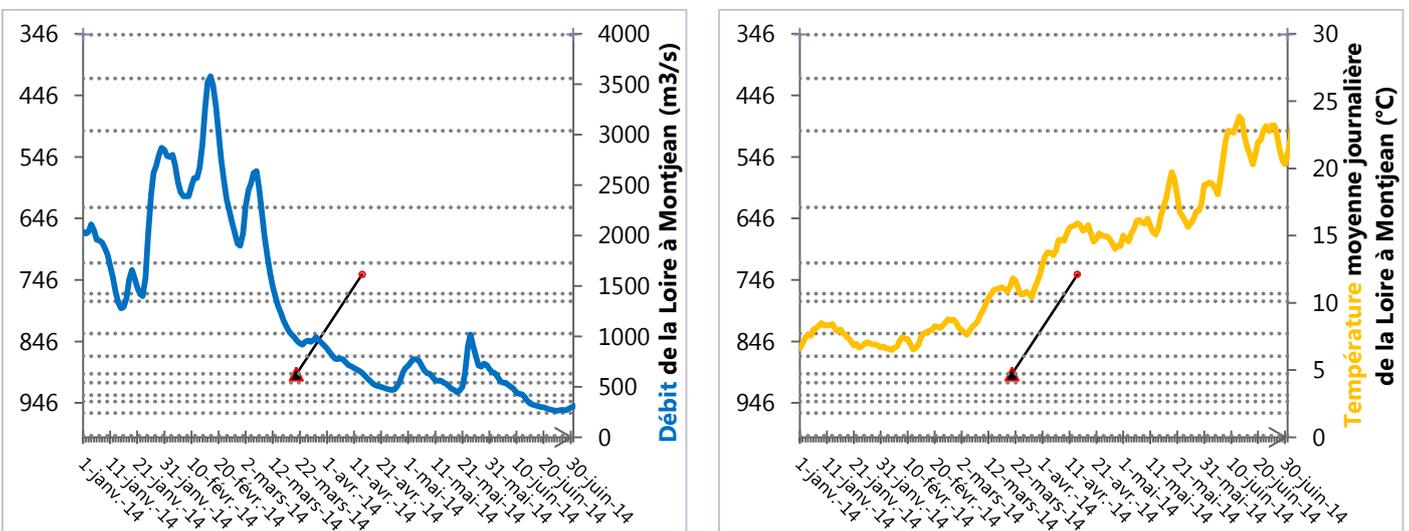


Figure 58 : conditions de débit et de température de la Loire durant la migration de PEMA-2104

La montaison de PEMA-2104 s'est effectuée dans un contexte de baisse du débit et d'augmentation de la température de la Loire. Cependant, il existe un biais dans cette analyse pour deux raisons : premièrement, le débit et la température ont été mesurés à Montjean (à quelques kilomètres du point de relâché) et non pas dans l'environnement proche de la Lamproie, celle-ci se déplaçant. Deuxièmement, le contexte hydroclimatique de la Vienne et de la Creuse pouvait être différent de celui de la Loire or il n'est pas possible de connaître la date d'entrée en Vienne et en Creuse.

# DISCUSSION

L'effectif de Saumon marqués a été supérieur aux deux précédentes années (pour rappel : 3 saumons en 2012 et 4 en 2013). L'augmentation de l'effort de pêche grâce à un plus grand nombre de journées de filet barrage et l'utilisation de nouvelles techniques (filet fixe) a permis d'augmenter cet effectif.

Les conditions hydroclimatiques ont également facilité la pêche puisque le débit est resté modéré et l'eau s'est réchauffée assez rapidement favorisant la remontée des Aloses. Cependant, les débits restent trop importants au début de la période de migration et rendent impossible la pêche quel que soit la technique employée. Un biais d'échantillonnage existe donc car les premiers Saumons (les plus âgés) ne sont pas capturables.

L'utilisation de filets fixes a permis de commencer pêcher avant que les débits soient assez bas pour permettre la mise en place des filets barrages. Cette technique a été arrêtée dès que l'eau est devenue trop chaude car elle comporte un risque supplémentaire de mortalité.

Les différents tests menés sur les émetteurs et les récepteurs télémétriques employés ont également apporté de nombreuses informations qui n'étaient que des suppositions jusqu'alors. La fiabilité des marques est fortement remise en cause notamment pour les marques Thelma® qui avaient été employées jusqu'à présent. Il est cependant à noter qu'il existe un phénomène de « vieillissement » des marques même lorsque celle-ci ne sont pas activées (*com. pers. Thelma, 2014*). En effet la batterie commence à se décharger dès leur fabrication (à un rythme plus réduit lorsqu'elles ne sont pas allumées) affaiblissant ainsi progressivement la puissance du signal. Le reliquat de marques « anciennes » a donc été implanté en priorité sur des Aloses et des Lamproies et des marques neuves ont été privilégiées pour les Saumons. Ce phénomène pourrait expliquer le fait que peu d'Alose aient été détectées en amont de Varades.

Concernant les techniques de marquage employées, le taux de rétention de marque semblerait très satisfaisant car aucun poisson marqué n'a été recapturé sans sa marque interne depuis le début des opérations de marquages menées sur la Loire par le MNHN et l'INRA (pour rappel, les espèces commerciales sont également équipées d'une marque externe en cas de recapture). L'implantation intra-stomacale est d'ailleurs reconnue comme le mode de marquage apportant les meilleurs garanties de rétention (BARAS, et al., 2001)

Cependant, depuis le début des marquages dans la partie fluviale de la Loire (Varades et la Ménitré), des phénomènes de dévalaison post-marquage sont observés chez certains individus de toutes les espèces. Dans la majorité des cas, les poissons marqués dévalent jusqu'en mer avant de se représenter une nouvelle fois dans l'estuaire et d'entamer leur deuxième montaison. Certains ne se représentent pas. Soit ils abandonnent la migration soit ils se présentent sur d'autres fleuves. Cette dernière hypothèse mériterait d'être testée en disposant des hydrophones dans d'autres

fleuves de la façade atlantique. Cette dévalaison post-marquage avait déjà été observé chez les Grandes Aloses (ROCHE, et al., 2007) et semble être liée au traumatisme crée par le marquage.

Ces phénomènes de dévalaison post-marquage étaient peu observés lorsque les marquages avaient lieux dans l'estuaire (GADAIS, 2011). Il serait probable que l'étale de pleine mer donne le temps nécessaire au rétablissement post marquage des poissons avant d'entamer leur migration. Le courant est, en effet, unidirectionnel et plus puissant sur les sites de marquage plus amont. Cependant, la technique du filet barrage est bien sur inutilisable en estuaire. Des essais de filets fixes ont été menés lors de cette dernière phase mais se sont révélés infructueux. De plus, à chaque fois que cela a été possible, les poissons marqués ont été relâchés dans les zones calmes.

L'emploi pour cette année de la technologie hybride acoustique + radio a permis de retrouver 9 individus sur les 13 équipés de ce type de marque. Sept de ces 9 individus ont été pointés à intervalle régulier sans qu'ils aient bougé. Il est donc fort probable que ces individus soient morts. Les deux autres poissons n'ont pu être pointés qu'une seule fois. Même si ce pointage a eu lieu relativement longtemps après leur marquage, il n'est pas possible d'affirmer avec certitude qu'ils soient morts.

Le nombre de Saumons n'ayant pu atteindre les zones de frayère pourrait être plus élevé car le radiopistage présente certaines limites : premièrement il n'est pas exhaustif dans le temps et l'espace, des Saumons pouvant être morts sur des affluents non prospectés ou après la prospection. Deuxièmement, les Saumons peuvent ne pas avoir été détectés au moment du radiopistage pour diverses raisons (ondes parasites, écran de végétation ou topographique, profondeur ou conductivité trop élevée) (BARAS, et al., 2001).

Cependant, si le chiffre de 7 sur 13 s'approche du taux de perte en ligne réel, il apparait très élevé par rapport aux suppositions qui étaient faites sur les quantités de perte (Anonymes, 2009). Ce chiffre est toutefois à modérer car les Saumons marqués peuvent avoir été affaiblis par la pêche, l'anesthésie et les manipulations de marquage. Ils peuvent donc être plus sensibles aux maladies et à la prédation.

Ce dernier facteur devrait faire l'objet d'études complémentaires car plusieurs Saumons ont été retrouvés immobiles sur des sites typiques des habitats à Silure. De plus des cas de Silure capturés puis régurgitant des Saumons ont déjà été signalés sur la Loire (CONAPPED, s.d.).

Les pertes en lignes dues à la prédation pourraient être largement supérieures chez les autres espèces (Aloses et Lamproies). En effet, les Saumons présentent des capacités de nage et une taille refuge supérieure à ces deux autres migrateurs. De plus, comme pour les Saumons, des cas de prédation d'Aloses et de Lamproies ont été observés sur la Loire.

Récemment, BOISNEAU & BELHAMITI, 2015 ont démontré que la prédation des Saumons, Aloses et Lamproies était fréquente par le Silure en Loire en parcours libre spécialement par les individus

de grande taille. En effet, « Il semble que les silures de la Loire, au-delà de 1,2 m soient également spécialisés sur les poissons migrateurs anadromes ». Ces analyses sont également confirmées par GUILLERAULT, et al., 2015.

Parmi les autres causes de perte en ligne, le mauvais état sanitaire des Saumons a également été remarqué (cf. Résultats §3-1). Des nombreuses plaies ont été constatées notamment au niveau de la queue et du dos. Des problèmes similaires avaient déjà été signalés par l'association LOGRAMI sur les Saumons capturés dans les passes à poisson (BACH, et al., 2011). L'origine de ces plaies, survenues avant la capture, reste encore inconnue.

Enfin, pour l'ensemble des espèces, il est très difficile de déterminer l'influence des paramètres hydroclimatiques (débit et température) sur le comportement migratoire. En effet, d'une part, les comportements sont très variables pour une même période (montaison, dévalaison ou stationnement) et les effectifs par groupe de comportement sont très faibles.

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette troisième et dernière phase du projet « Évaluation du stock de saumons entrant en estuaire de la Loire et étude du comportement migratoire jusqu'aux secteurs amont » a apporté de nombreuses informations. L'expérience acquise durant les deux précédentes phases combinée à de meilleures conditions de pêche a permis de marquer un plus grand nombre de Saumon (30 individus). Des Aloses et des Lamproies ont également été marquées.

La mesure 49 du PLAGEPOMI a été partiellement atteinte. En effet, il apparaît très difficile de quantifier précisément le stock de Saumon entrant dans l'estuaire de la Loire. Pour atteindre cet objectif, un effort de pêche considérable devrait être déployé pour, d'une part, le marquage et d'autre part la recapture or la capturabilité des Saumons semble très faible.

En revanche la mesure 50 visant à suivre la migration et à évaluer les pertes en lignes a pu être étudiée plus efficacement. Le marquage hybride et le radiopistage ont permis de retrouver 7 Saumons probablement morts sur 13 équipés de marques hybrides soit un taux de perte en ligne estimées à au moins 54%. Les secteurs dans lesquels ces Saumons ont été retrouvés sont en grande majorité en parcours libre (sans barrage ou obstacle) et se situent dans de grandes profondeurs. Certains correspondraient à des habitats typiques du Silure. Même si ces poissons ont été observés à proximité d'une zone de perte d'un Saumon, des études complémentaires visant à identifier les causes des pertes en lignes devraient être menées. L'état sanitaire dégradé de certains poissons pourrait également expliquer leur mortalité et potentiellement les rendre plus vulnérables à la prédation.

Pour les Saumons ayant effectué une montaison, les vitesses de migration ont pu être évaluées. Elles sont en moyenne de 21 kilomètres par jours avec des maximums à 44 km/j. Chez les Aloses, cette vitesse est en moyenne de 20 km/j et de 15 km/j pour les Lamproies.

Deux Saumons ont pu être suivis sur un long parcours. Il aura fallu 56 jours à SASA-1210 pour parcourir le trajet La Ménitric / Château-sur-Allier soit 414 km et 52 à SASA-1214 pour faire le trajet la Ménitric / Cosne-sur-Loire soit 330 km. Un Saumon est également remonté sur la Vienne.

Enfin, un comportement migratoire original a été remarqué sur une Alose : ALAL-2033 a dépassé la confluence Loire-Vienne au moins jusqu'à Langeais avant de redescendre pour rattraper le bec de Vienne et remonter dans cet affluent soit un détour d'au moins 64 km.

De nombreuses hypothèses restent ouvertes et nécessiteraient des études complémentaires : quelles sont les causes exactes des pertes en lignes remarquées en parcours libre (prédation, maladies, braconnage, ...) ? Quel effectif de Saumon se présente à l'entrée de l'estuaire ?... etc.

# BIBLIOGRAPHIE

Anonymes, 2009. *Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin de la Loire, des côtiers vendéens et de la sèvre niortaise*, s.l.: s.n.

Anonymes, 2012. *Plan Saumon Loire-Allier 2009-2013, dossier de presse*, Orléans: Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Centre.

Anonymes, s.d. *Fiche frayère - espèce de la liste 2*. s.l.:ONEMA.

BACHELIER, R., 1964. L'histoire du Saumon en Loire - tome 3. *Bull. Fr. Piscic.*, Issue 213, pp. 121-135.

BACH, J.-M., BAISEZ, A., LEON, C. & PAROUTY, T., 2011. *Suivi de la migration du saumon sur l'Allier par radiopistage entre Vichy et les zones de frayères en 2009*, s.l.: LOGRAMI.

BACH, J.-M. et al., 2010. *Recueil de données biologiques 2009*. [En ligne] Available at: [http://www.logrami.fr/sites/all/files/Rapport-Recueil-donn%C3%A9es-biologiques-LOGRAMI-2009\\_1.pdf](http://www.logrami.fr/sites/all/files/Rapport-Recueil-donn%C3%A9es-biologiques-LOGRAMI-2009_1.pdf) [Accès le 30 05 2011].

BACH, J.-M. et al., 2012. *Recueil de données biologiques 2011*, s.l.: LOGRAMI.

BAGLINIERE, J. & ELIE, P., 2000. *Les Aloses (Alosa alosa et Alosa fallax spp.) écobiologie et variabilité des populations*. CEMAGREF Editions, INRA Editions éd. Paris: Institut National de la Recherche Agronomique.

BARAS, E., BENECH, V. & MARMULLA, G., 2001. *Manuel de biotéléométrie aquatique*. Sélingué: FAO.

Bensettiti, F. & Gaudillat, V. (coord), 2000. « *Cahiers d'habitats* » *Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 7 - Espèces animales.*, Paris: La documentation française.

BOISNEAU, C. & BELHAMITI, N., 2015. *SILURUS : Etude du silure à l'échelle de la Loire en*, Tours: s.n.

BOISNEAU, C., BOISNEAU, P. & RUAUX, B., 2011. *Reconstitution des cohortes de grande Alose (Alosa alosa L.) en Loire de 1980 à 2010, liens entre indice d'abondance et facteurs environnementaux*, Tours: Université de Tours.

Boisneau, C., Ruau, B. & Boisneau, P., 2011. *Reconstitution des cohortes de grande Alose (Alosa alosa L.) en Loire de 1980 à 2005, lien entre indice d'abondance et facteurs environnementaux*, Tours: Université de Tours.

CHAUDON, A., 2005. *Les crises d'anoxie dans l'estuaire de la Loire : caractérisation et approche de*

leur incidence sur la transparence migratoire, s.l.: s.n.

CONAPPED, s.d. *Dans l'assiette, le silure ne fait pas mauvaise chère !*. [En ligne] Available at: <http://www.lepecheurprofessionnel.fr/index.php/actualites/divers/le-silure-se-met-a-table> [Accès le 28 04 2015].

CONNORS, K., SCRUTON, D., BROWN, J. & MCKINLEY, R., 2002. *The effects of surgically-implanted dummy radio transmitters on the behaviour of wild Atlantic salmon smolts*. s.l.:Hydrobiologia.

DREAL Centre, 2013. *Bulletin de situation hydrologique*, Orléans: Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Centre - Bassin Loire-Bretagne.

GADAIS, R., 2011. *Etude par télémétrie hydroacoustique du comportement migratoire d'une espèce amphihaline : la grande Alose dans l'estuaire de la Loire*, Tours: Muséum National d'Histoire Naturelle.

GIP Loire Estuaire, 2008. *La Loire des Ponts-de-Cé à Nantes, le relèvement de la ligne d'eau d'étiage*, Nantes: s.n.

GIP Loire Estuaire, 2009. "La Loire estuarienne". [En ligne] Available at: [http://www.loire-estuaire.org/la\\_loire/la\\_loire\\_en\\_chiffres.html](http://www.loire-estuaire.org/la_loire/la_loire_en_chiffres.html) [Accès le 31 mai 2011].

GUILLERAULT, N., DELMOTTE, S., POULET, N. & SANTOUL, F., 2015. *Etudes des interactions du Silure glane (Silurus glanis) avec l'ichtyofaune métropolitaine*, Toulouse: ONEMA.

LUNEAU, S., MERTENS, D. & CHANGEUX, T., 2003. *Guide des engins de pêche fluviale et lacustre en France Métropolitaine*. Conseil Supérieur de la Pêche éd. Paris: Conseil Supérieur de la Pêche.

MESNIER, P., LEON, C., PAROUTY, T. & BAISEZ, A., 2011. *Etude des potentialités d'accueil du bassin de la Besbre vis-à-vis des espèces migratrices*, s.l.: s.n.

ONEMA, s.d. *Fiche frayère - espèce de la liste 2*. s.l.:ONEMA.

PRIEDE, I., 1991. Telemetry in assessment of environmental effects on individual fishes. *University of Aberdeen, Department of zoology*.

ROCHE, P. et al., 2007. *Etude par radiopistage de la migration de l'Alose dans le Rhône aval, rapport final - synthèse 2004, 2005, 2006*, Lyon: Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

STEINBACH, P., 2001. *Effets cumulés sur les poissons migrateurs, état et restauration des grands axes de migration du bassin de la Loire*. Paris: Hydroécologie appliquée.

STEINBACH, P., GUENEAU, P., AUTUORO, A. & BROUSSARD, D., 1986. *Radio-pistage de Grandes Aloses adultes en Loire*, Paris: Bulletin Francais de Pêche et de Pisciculture.

THORSTAD, E. & OKLAND, F., 2000. A system for automatic recording of fish tagged with coded acoustic transmitters.. *Fisheries Management and Ecology*, 7(4), pp. 281-294.

TRANCART, T. et al., 2011. Swimming activity responses to water current reversal support selective tidal-stream transport hypothesis in juvenile thinlip mullet *Liza ramada*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Issue 399, pp. 120-129.

Vemco, 2013. *Customer Service*. [En ligne]  
Available at: <http://vemco.com/customer-service/?cs-range-testing>  
[Accès le 22 08 2013].

# ANNEXES

## Annexe 1

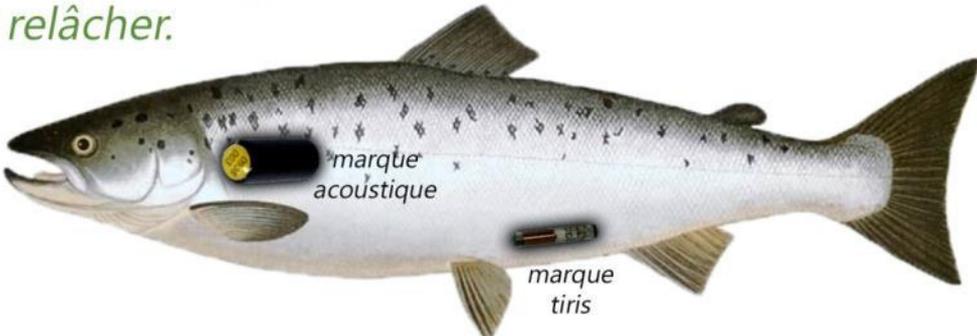
Exemple d'information à destination des pêcheurs



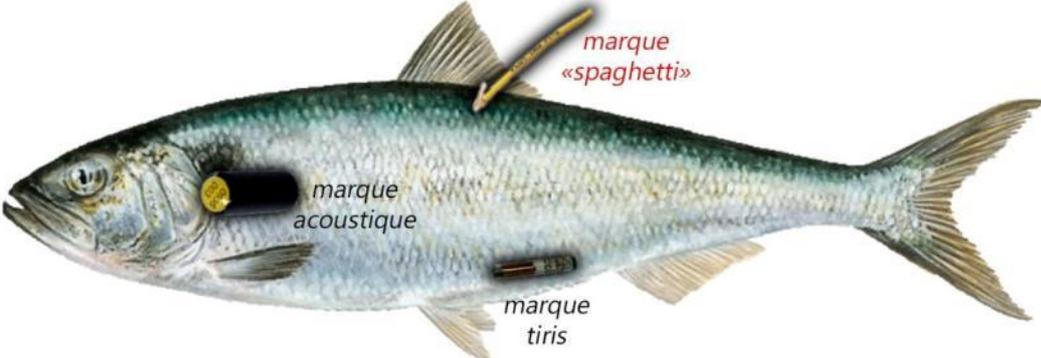


# DES SAUMONS ET DES ALOSES MARQUÉS CIRCULENT EN LOIRE

*SAUMON : 2 types de marques → dans tous les cas, le relâcher.*



*ALOSE : 3 types de marques → noter le numéro de la marque spaghetti et la relâcher.*











## Annexe 2

### Guide de lecture des graphiques de migration

