



Rapport phase 2

EVALUATION DU STOCK DE SAUMONS  
ENTRANT EN ESTUAIRE DE LA LOIRE ET  
ETUDE DU COMPORTEMENT MIGRATOIRE  
JUSQU' AUX SECTEURS AMONT, PHASE 2

Romain GADAIS, Adrien OGER, Nicolas HOUDOUIN, Eric FEUNTEUN, Guillaume EVANNO  
2013

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

Rapport de phase 2

## **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,
- La DREAL Pays-de-la-Loire pour la fourniture de données hydro-climatiques.
- M. Frederic TOUZALIN pour son aide pour le 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 DERIVANT .....	15
1-2 TECHNIQUE DU FILET BARRAGE .....	16
1-3 TECHNIQUE DES NASSES A LAMPROIES .....	18
2 MARQUAGE .....	19
2-1 ANESTHESIE, BIOMETRIE ET PRELEVEMENTS .....	19
2-2 MARQUAGE HYDROACOUSTIQUE .....	20
2-3 MARQUAGE PIT-TAG .....	22
2-4 MARQUAGE EXTERNE .....	22
3 SYSTEME DE DETECTION .....	23
3-1 RESEAU D'HYDROPHONES .....	23
3-2 STATIONS DE DETECTIONS PIT-TAG .....	24
4 PRINCIPE DE TRAITEMENT DES DONNEES .....	24
4-1 FORME DES DONNEES RECOLTEES .....	24
4-2 EXPLOITATION DES DONNEES .....	25
4-3 DONNEES EXTERNES .....	25
RESULTATS .....	27
1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE LA PERIODE DE MARQUAGE .....	27
2 DETECTIONS PAR LES DIFFERENTS RECEPTEURS .....	28
2-1 RECEPTION PAR LE RESEAU D'HYDROPHONES .....	28
2-2 RECEPTION PAR LES STATIONS PIT-TAG .....	29
3 SAUMONS .....	29
3-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES .....	29
3-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS .....	29
3-3 ANALYSE DU PATRON DE MIGRATION .....	30
3-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX .....	31
4 ALOSES .....	32
4-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES .....	32
4-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS .....	32
4-3 ANALYSE DES PATRONS DE MIGRATION .....	33
4-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX .....	37
5 LAMPROIES MARINES .....	39
5-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES .....	39
5-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS .....	39
5-3 ANALYSE DES PATRONS DE MIGRATION .....	40
5-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX .....	42
DISCUSSION .....	43
5-1 FAIBLE EFFECTIF DE SAUMON CAPTURE .....	43
5-2 FAIBLE TAUX DE DETECTION PAR LE RESEAU D'HYDROPHONES .....	44
5-1 ABSENCE DE DETECTION PAR LES STATIONS PIT-TAG .....	44
CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	45
BIBLIOGRAPHIE .....	47
ANNEXES .....	50

## **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 : principe de fonctionnement du filet tramail - source : (LUNEAU, et al., 2003).....	16
Figure 11 : schéma de principe du filet-barrage – 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 14 : zone de prélèvement optimale des écailles sur les Aloses - source : (BOISNEAU, et al., 2011).....	20
Figure 15 : Représentation schématique du signal émis par les tags acoustiques – source : GADAIS, R. 2011.....	21
Figure 16 : mise en place de l'émetteur sur un Saumon.....	21
Figure 17 : Modèle de PIT-Tag implanté sur les poissons.....	22
Figure 18 : marque externe insérée sous la nageoire dorsale d'une Lamproie marine.....	22
Figure 19 : schéma de principe des installations d'hydrophones.....	24
Figure 20 : exemple de données de détection téléchargées des hydrophones.....	24
Figure 21 : emplacement des stations de mesure SYVEL - source : GIP Loire Estuaire.....	26
Figure 22 : format des données de niveau d'eau dans l'estuaire – source : <a href="http://www.nantes.port.fr">www.nantes.port.fr</a> .....	26
Figure 23 : graphique des conditions hydro-climatiques durant la période de marquage et effectifs marqués.....	27
Figure 24 : taux de détection des différentes stations d'hydrophones.....	28
Figure 25 : patron de migration de SASA-1102.....	30
Figure 26 : variation du niveau d'eau à Saint Nazaire et vitesses significatives.....	31
Figure 27 : histogrammes des fréquences de taille et poids.....	32
Figure 28 : graphique de migration d'ALAL-1238.....	33
Figure 29 : graphique de migration d'ALAL-1228.....	33
Figure 30 : exemple de patron de migration avec attente en estuaire.....	34
Figure 31 : exemple de patron de migration sans attente en estuaire.....	34

<i>Figure 32 : patron de migration d'ALAL-1202</i> .....	34
<i>Figure 33 : patron de migration d'ALAL-1222</i> .....	34
<i>Figure 34 : exemple de patron de migration avec deux tentatives d'entrée en estuaire</i> .....	35
<i>Figure 35 : patron de migration d'ALAL-1252</i> .....	35
<i>Figure 36 : patron de migration d'ALAL-1161</i> .....	36
<i>Figure 37 : patron de migration d'ALAL-1170</i> .....	36
<i>Figure 38 : patron de migration d'ALAL-1172</i> .....	36
<i>Figure 39 : patron de migration d'ALAL-1253</i> .....	37
<i>Figure 40 : variations de la température et du débit à Montjean durant la migration des Aloses du groupe E</i> .....	38
<i>Figure 41 : histogramme des fréquences de Longueur totale</i> .....	39
<i>Figure 42 : exemple de patron de migration caractéristique du groupe</i> .....	40
<i>Figure 43 : patron de déplacement de PEMA-2051</i> .....	40
<i>Figure 44 : patron de déplacement de PEMA-2031</i> .....	41
<i>Figure 45 : patron de déplacement de PEMA-2010 et 2052</i> .....	41
<i>Figure 46 : effet des marées sur le déplacement de PEMA-2031</i> .....	42
<i>Figure 47 : comparaison des débits de l'année 2013 aux valeurs moyennes interannuelles sur 151 ans</i> .....	43
<i>Figure 48 : comparaison des températures moyennes mensuelles entre l'année 2013 et la moyenne interannuelle depuis 2006</i> .....	43

## **LISTE DES TABLEAUX**

<i>Tableau 1 : mesures annexes étudiées dans ce projet</i> .....	8
<i>Tableau 2 : caractéristiques techniques des filets employés en fonction du site de pêche</i> .....	16
<i>Tableau 3 : composition du réseau d'hydrophone</i> .....	23
<i>Tableau 4 : effectif d'Aloses marquées et détectées en fonction des sites de marquage</i> .....	32

# INTRODUCTION

## 1 OBJECTIFS ET ENJEUX DE L'ETUDE

### 1-1 ENJEUX GENERAUX

La 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 dans l'estuaire. Or, des mortalités de géniteurs sont très probables lors de la longue migration en eau douce jusqu'aux 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
<p><b>Mesure 17 :</b> Préciser l'impact de la qualité de l'eau sur les grands migrateurs</p> <p><b>Mesure 20 :</b> Organiser des colloques, des journées d'information</p>	<p><b>Mesure 58 :</b> Evaluer la part de la contribution du repeuplement et de la reproduction naturelle à la population de Saumon du bassin</p> <p><b>Mesure 61 :</b> Associer les structures scientifiques existantes</p>	<p><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</p>

## 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 migrants 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).



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

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).

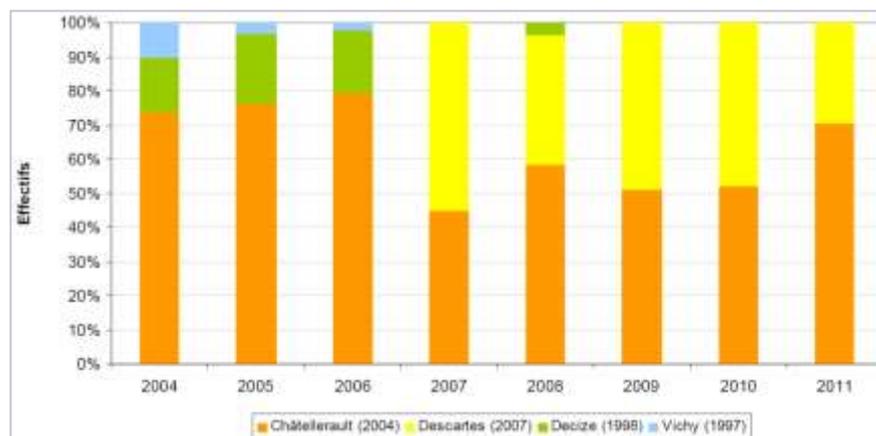


Figure 4 : répartition des effectifs de Lamproies marines comptabilisés aux stations de comptage de LOGRAMI - source : (BACH, et al., 2012)

Cette espèce fait l'objet d'une pêcherie 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 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 fluvio-maritime 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 Figure 9 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 DERIVANT

La technique du filet tramail dérivant a été employée pour cibler les Saumons et les Aloses. Ce filet se compose d'une nappe de filet centrale (*flue*) disposée entre deux nappes externes (*aumées*) de maille plus importante (Tableau 2). Ces trois nappes (d'où le nom de « tramail » ou « trémil ») sont maintenues dans la colonne d'eau par une ralingue flottée en haut et une ralingue plombée en bas (Figure 10). En fonction du plombage, le filet peut être flottant (filet de surface) ou coulant (filet dérivant en touchant le fond). Ce filet est déployé perpendiculairement au courant et n'est pas retenu de telle sorte qu'il dérive sous l'action du courant fluvial et tidaux (pour la zone estuarienne).

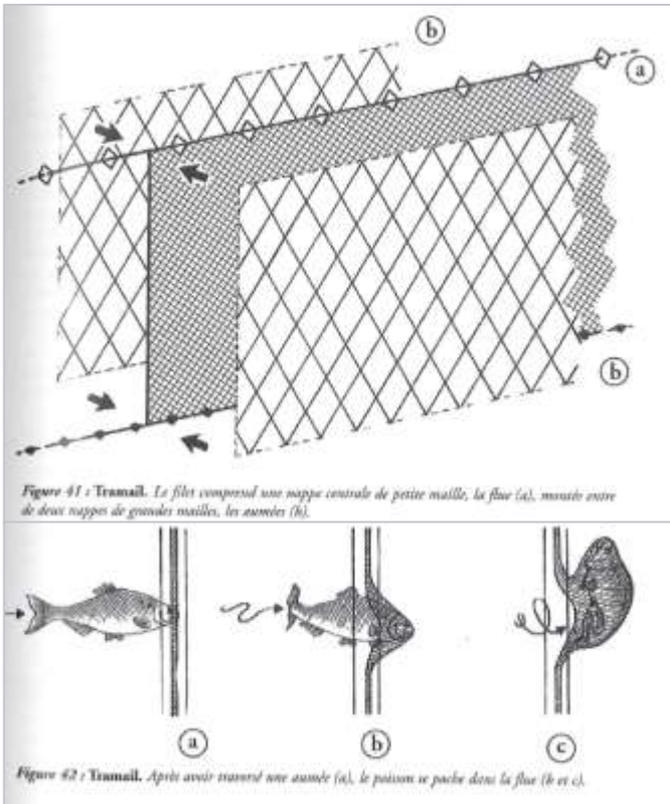


Figure 10 : principe de fonctionnement du filet tramail - source : (LUNEAU, et al., 2003)

Il peut cependant être maintenu droit en remorquant les extrémités vers les berges.

Cet engin a été employé historiquement en Loire 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

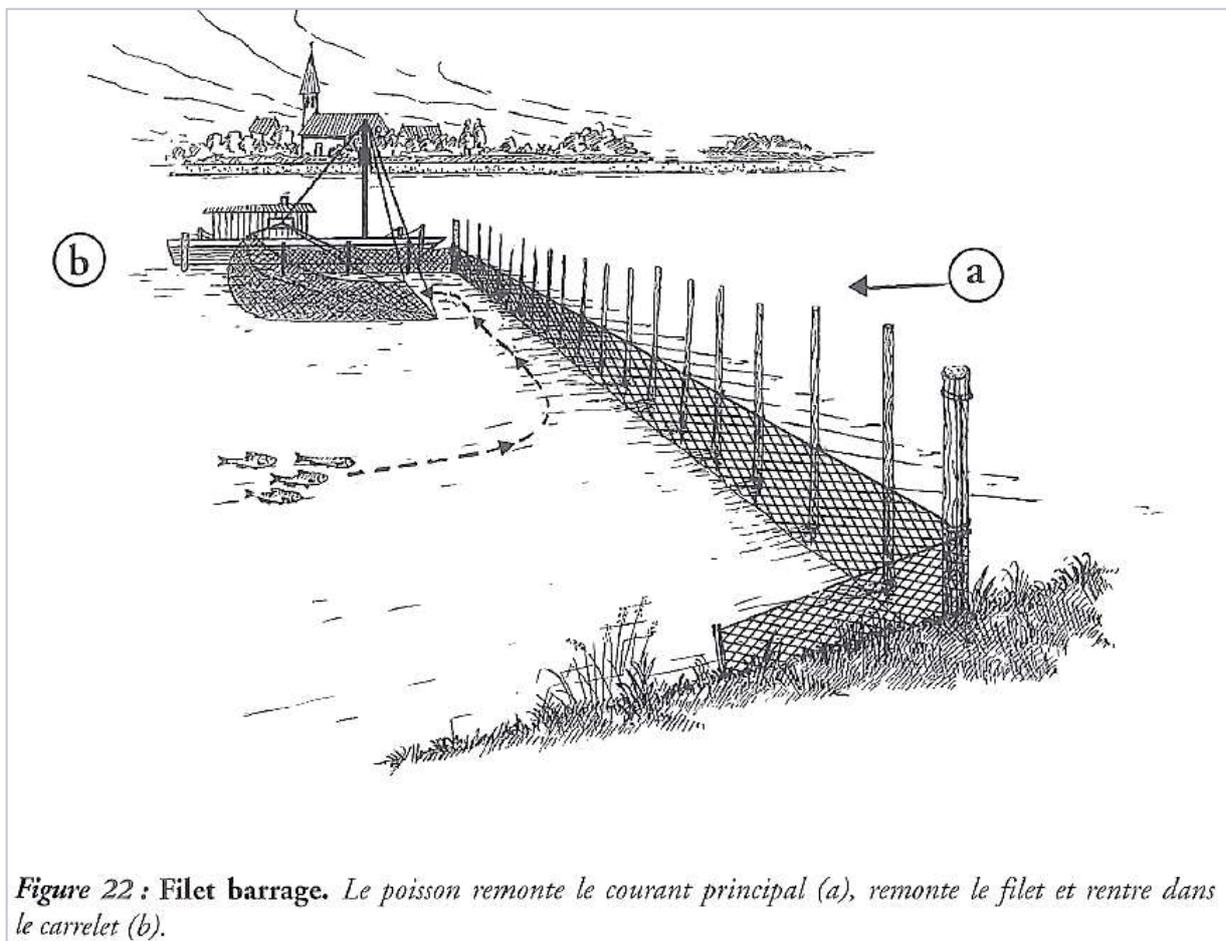
Zone	Site	Flottabilité	Longueur	Maille du flue	Maille des aumées
Estuaire	Cordemais	de surface	160-320 m	60 mm	200 mm
	Couëron	de surface	200 m	55 mm	200 mm
Fleuve	Varades	de fond	100 m	60 mm	200 mm

## 1-2 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 11). 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 11 : 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.

### 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 progresse 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).

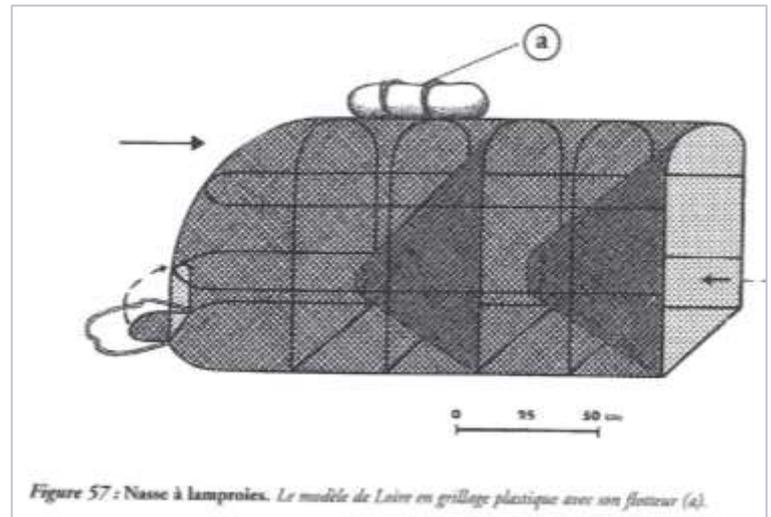


Figure 12 : nasse à Lamproie utilisée sur la Loire - source : (LUNEAU, et al., 2003)

## 2 MARQUAGE

Une cartographie des sites de marquage est disponible au début de la partie Matériel et Méthodes.

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

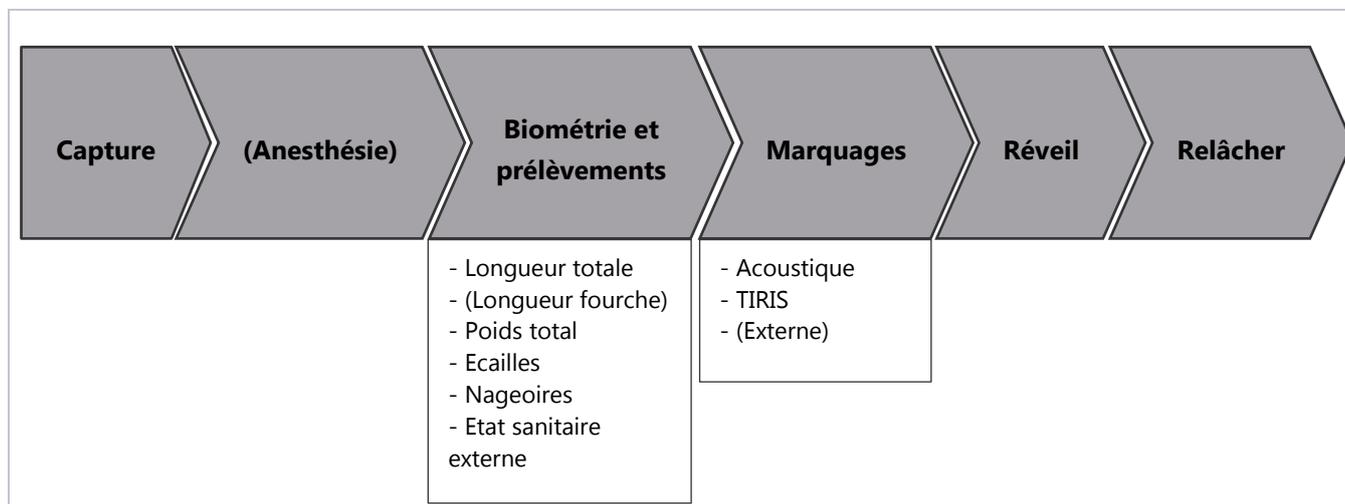


Figure 13 : schéma récapitulatif du protocole de marquage, (...) : étape facultative

### 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 fluviomaritime 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, précision inconnue*).

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).

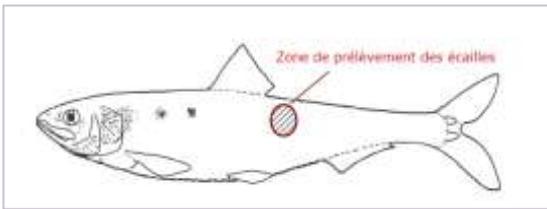


Figure 14 : zone de prélèvement optimale des écailles sur les Aloses - source : (BOISNEAU, et al., 2011)

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

La télémétrie hydroacoustique utilise la propagation d'ondes ultrasonores entre un émetteur (ou « tag ») et un récepteur (ou « hydrophone ») (Annexe 3) 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<sup>®</sup>.

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 15).

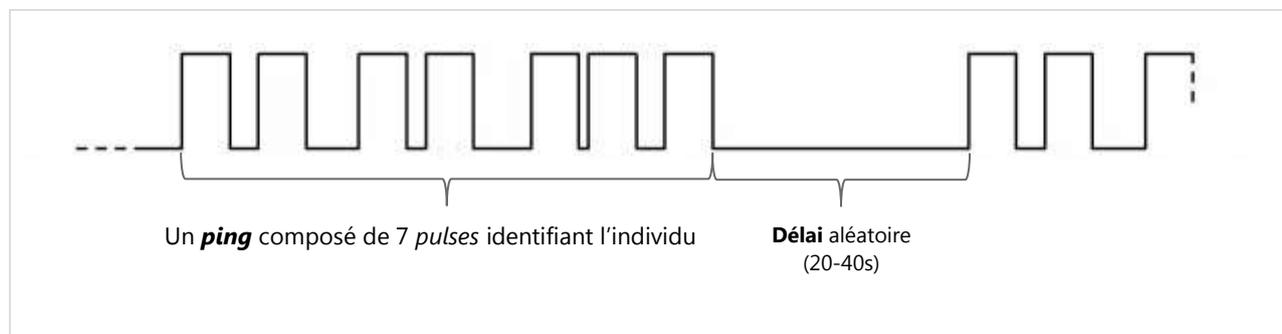


Figure 15 : Représentation schématique du signal émis par les tags acoustiques – source : GADAIS, R. 2011

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.

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 16).



Figure 16 : 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.

Cette méthode de marquage a été effectuée par un vétérinaire expérimenté dans le marquage des animaux sauvages (F. TOUZALIN).

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.).

### 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 17). 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.

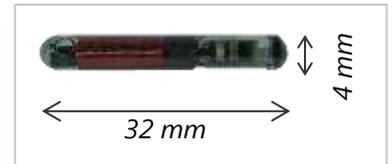


Figure 17 : Modèle de PIT-Tag implanté sur les poissons

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 18). Il s'agit d'une marque physique passive externe dans la nomenclature de BARAS & Al.



Figure 18 : 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

Une cartographie des différents dispositifs de détection est disponible au début de la partie Matériel et Méthodes.

#### 3-1 RESEAU D'HYDROPHONES

Un réseau de 42 hydrophones a été déployé en Loire entre le 5-7 novembre 2012 pour les stations aval (de Saint-Nazaire à La Patache) et le 15-16 décembre pour les stations amont (Varades à Orléans). 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. 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>Orléans</b>	628	3
<b>Amboise</b>	718	3
<b>Avoine</b>	792	2
<b>Varades</b>	899	3
<b>Amont Patache</b>	917	2
<b>Oudon</b>	920	2
<b>Aval Oudon</b>	923	3
<b>Thouaré</b>	934	2
<b>Boire-Courant</b>	936	2
<b>Bellevue</b>	939	2
<b>Nantes</b>	944	2
<b>Le Pellerin</b>	963	2
<b>Cordemais</b>	977	2
<b>Paimbœuf</b>	988	6
<b>Saint Nazaire</b>	1000	6

Dans la portion navigable de la Loire (de Saint-Nazaire à Varades), les hydrophones sont fixés à des élingues lestées accrochées aux bouées de navigation (Figure 19). Pour les stations situées en zone non navigable (Avoine, Amboise et Orléans), des mouillages spécifiques ont été installés, reprenant le même principe. Certains hydrophones sont également fixés à des pontons (Le Pellerin, Nantes, Varades, Orléans). Le lesté 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).

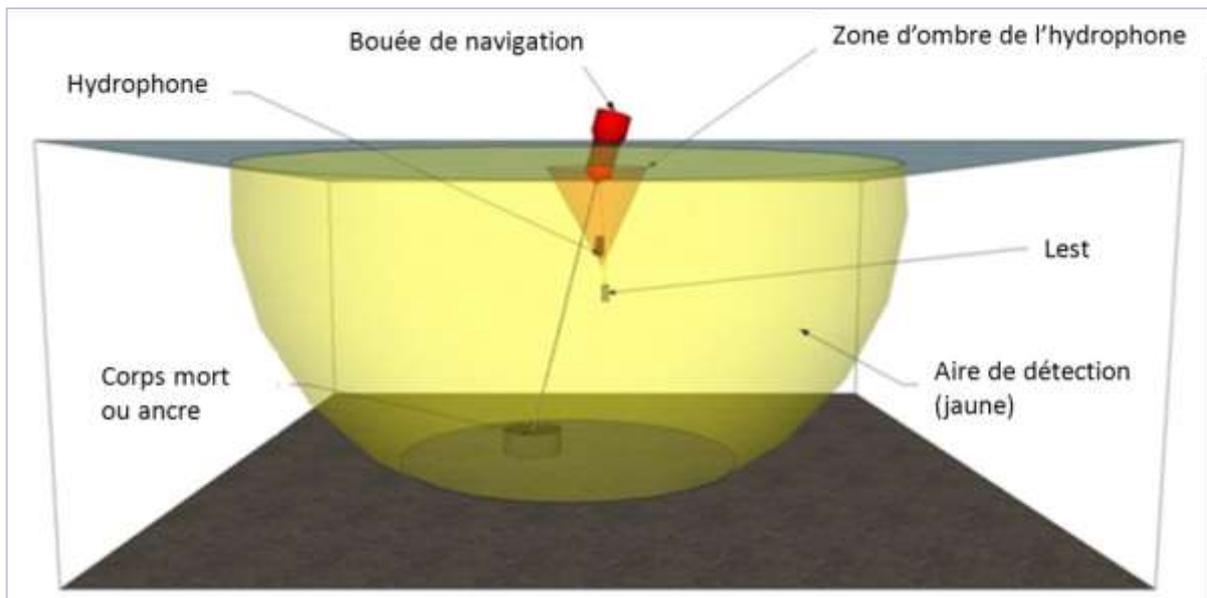


Figure 19 : schéma de principe des installations d'hydrophones

### 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® implantés sur les poissons (Cf. §2-3).

## 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 20 : 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 soit entre le 8 et le 12 juillet 2013.

## 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® 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 :

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

## 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. 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 21). Les mesures sont réalisées en sub-surface (de quelques dizaines de cm à 1 m de profondeur suivant les stations).



Figure 21 : 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 créer 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 22 : format des données de niveau d'eau dans l'estuaire – source : [www.nantes.port.fr](http://www.nantes.port.fr)

# RESULTATS

## 1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE LA PERIODE DE MARQUAGE

Les pêches de marquage ont eu lieu du 24 janvier au 20 mai 2013 d'abord au filet dérivant seulement puis au filet barrage, nasse à Lamproie et filet dérivant. Les premières captures (Saumon et grande Alose) ne sont apparues que début Mars mais de manière anecdotique. La majorité de l'effectif a été marqué durant le mois d'Avril (Figure 23).

Quatre épisodes de crue ont eu lieu pendant cette période de marquage perturbant fortement le déroulement des pêches. La température a avoisiné les 5°C jusque début Mars, date des premières captures. Les captures ont eu lieu à des températures supérieures ou égales à 8-10°C quel que soit les espèces. La capture de la majorité des Alose a eu lieu lorsque la température a dépassé 12°C juste après un pic de crue.

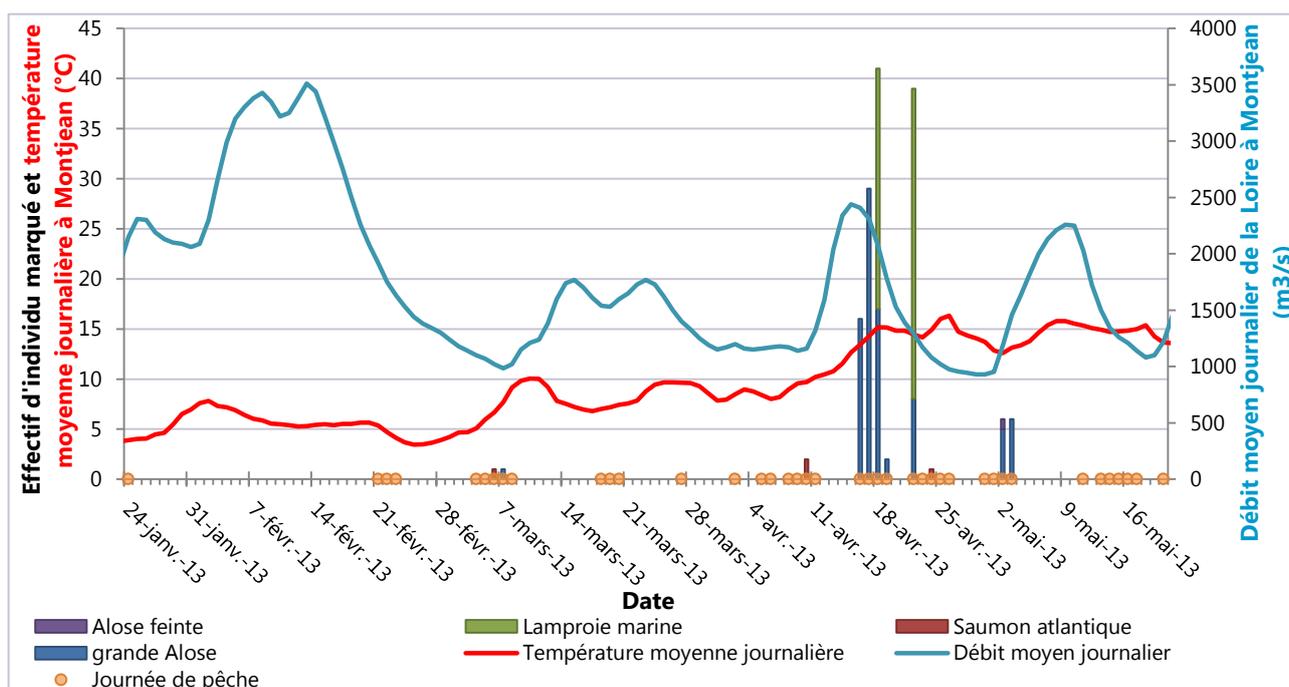


Figure 23 : graphique des conditions hydro-climatiques durant la période de marquage et effectifs marqués

## 2 DETECTIONS PAR LES DIFFERENTS RECEPTEURS

### 2-1 RECEPTION PAR LE RESEAU D'HYDROPHONES

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

- Du niveau de bruit de fond causé par exemple par le transport solide, les turbulences, le trafic fluviomaritime, ...
- De l'absorption du signal par la couche d'eau qui est étroitement lié à la conductivité, la température et la profondeur.
- De la distorsion des ondes acoustiques produite notamment pas les gradients de température.

L'évaluation du taux de détection des hydrophones de chaque station est relativement compliquée car elle dépend du nombre de poisson effectivement passé à cette station. Or, l'affirmation qu'un poisson est effectivement passé à une station ne peut se faire qu'en considérant les détections aux stations amont en cas de montaison, et aval en cas de dévalaison en sachant que ces stations sont elle-même soumises à des aléas de détection.

Malgré ces limites, un taux de détection a été calculé. Il correspond au rapport entre le nombre de poissons présumés passés par la station et le nombre de poissons effectivement détectés.

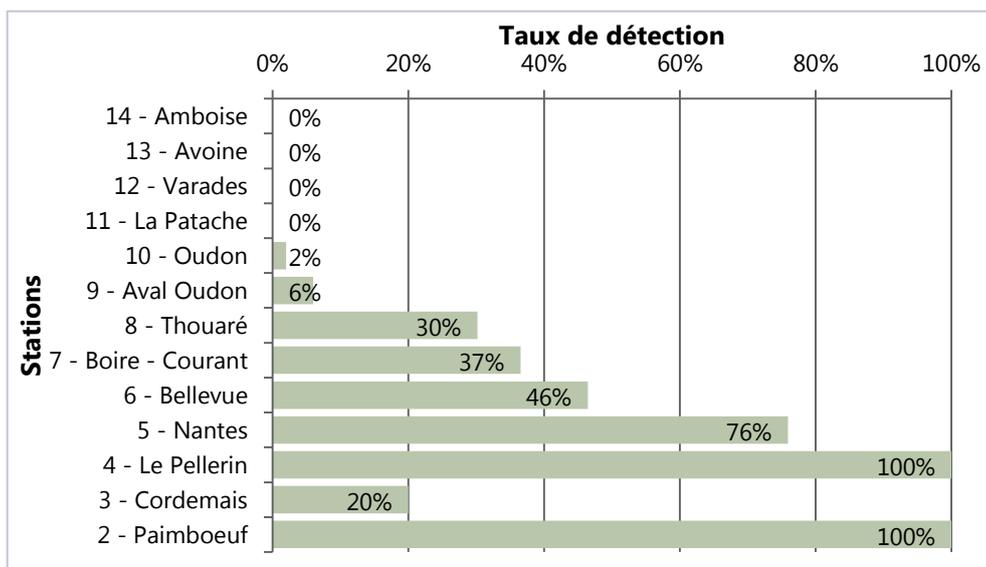


Figure 24: taux de détection des différentes stations d'hydrophones

Le taux de détection des deux stations extrêmes du réseau (Saint-Nazaire en aval et Orléans en amont) n'ont pas pu être calculé car, comme mentionné précédemment, ce calcul repose

sur les détections des stations voisines. Enfin, il faut également garder à l'esprit que l'emplacement des sites de marquage peut favoriser les stations se situant à proximité. En effet, le « flux » de poissons marqués est plus important à proximité de ces sites et se « dilue » ensuite.

## 2-2 RECEPTION PAR LES STATIONS PIT-TAG

Sur les 160 individus équipés de PIT-tag TIRIS, aucun n'a été détecté dans les cadres de réception situés dans les passes à poissons gérées par LOGRAMI. Pourtant ces récepteurs possèdent un très bon taux de détection pour les individus migrant vers l'amont (*comm. pers.* PORTAFAIX, P. LOGRAMI 2013).

# 3 SAUMONS

## 3-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES

Quatre Saumons ont été capturés et marqués. Le premier Saumon a été marqué le 6 mars à Couëron au filet dérivant. Ensuite, deux Saumons ont été capturés le 10 avril au filet barrage à la Ménittré et un dernier, le 24 avril, également à la Ménittré.

La taille moyenne était de  $834 \pm 32$ mm (e.s. 0,95) et le poids moyen de  $5439 \pm 939$ g (e.s. 0,95). Ce dernier n'a été mesuré que sur trois individus pour cause de panne de balance lors du premier marquage.

## 3-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS

Sur les quatre Saumons marqués, un seul a été détecté 13 jours après avoir été marqué.

### 3-3 ANALYSE DU PATRON DE MIGRATION

Un guide de lecture des graphiques de migration est disponible en Annexe 2.

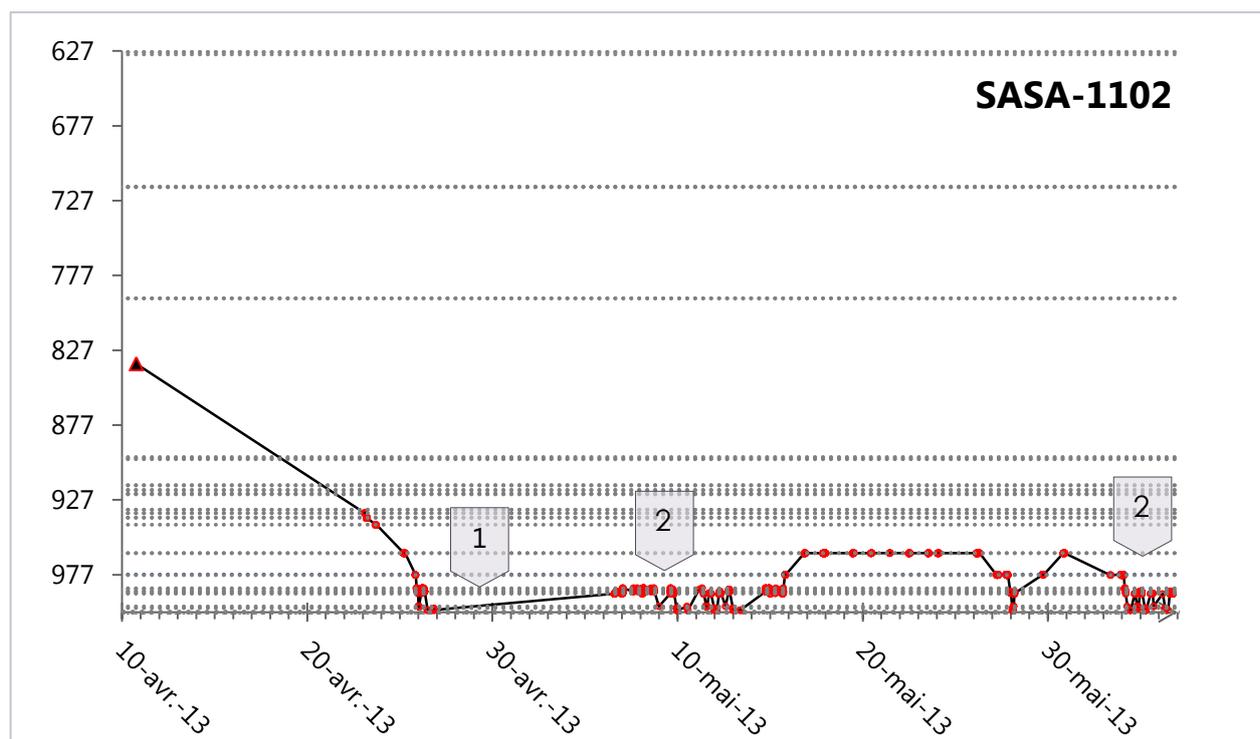


Figure 25 : patron de migration de SASA-1102

Après avoir été marqué le 10 avril 2013, SASA-1102 s'est déplacé vers l'aval et n'a été détecté qu'à la station de la Boire Courant, franchissant les stations de La Patache (2 hydrophones) ; Oudon (2), aval Oudon (3) et Thouaré (2) sans être détecté (Figure 25).

Cet individu est ensuite resté en estuaire entre Le Pellerin et Saint-Nazaire avant de ne plus être détecté le 5 juin 2013 probablement car ayant quitté l'estuaire. Au cours de cette longue période d'une quarantaine de jours où SASA-1102 est resté en estuaire, on note cependant divers événements particuliers (Figure 25) :

- (1) Une période de 9,7 jours d'absence de détection à partir du 26 avril où l'individu a été « perdu » à Saint-Nazaire puis re-détecté à Paimbœuf.
- (2) Des périodes d'oscillation dans la partie basse de l'estuaire (entre Paimbœuf et Saint-Nazaire).

Les vitesses instantanées significatives sont comprises entre 7,25 km/h en montaison et 8,35 km/h en dévalaison.

### 3-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

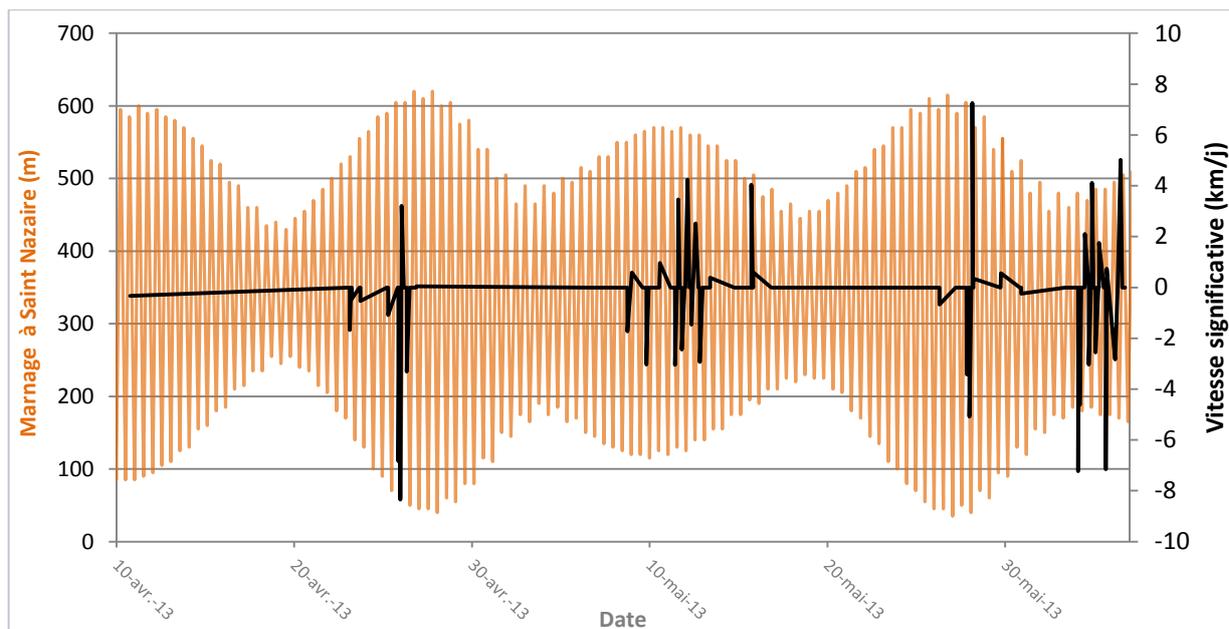


Figure 26 : variation du niveau d'eau à Saint Nazaire et vitesses significatives

Au cours des différentes incursions en estuaire de SASA-1102, on note des vitesses de déplacement élevées (en dévalaison et en montaison) durant les marées de fort coefficient (vives eaux) alors qu'il reste immobile durant les marées de faible coefficient (mortes eaux) (Figure 26).

Aucune tendance claire n'est visible au sujet de l'influence du débit de la Loire sur les déplacements. Les déplacements semblent plus importants avec l'augmentation de la température dans l'estuaire (à Donges) (Annexe 3).

## 4 ALOSES

### 4-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES

Quatre-vingt-quatre grandes Aloses et une Alose feintes ont été marquées entre le 7 mars et le 3 avril 2013. La majorité des Alose a été marqué à Varades entre le 16 et le 22 mars.

Ces 84 grandes Aloses avaient une longueur totale moyenne de  $554 \pm 6$  mm (e.s. 0,95) et un poids moyen de  $2032 \pm 68$  g (e.s. 0,95). L'amplitude de taille des individus marqués allait de 421 à 751 mm de longueur totale (Figure 27).

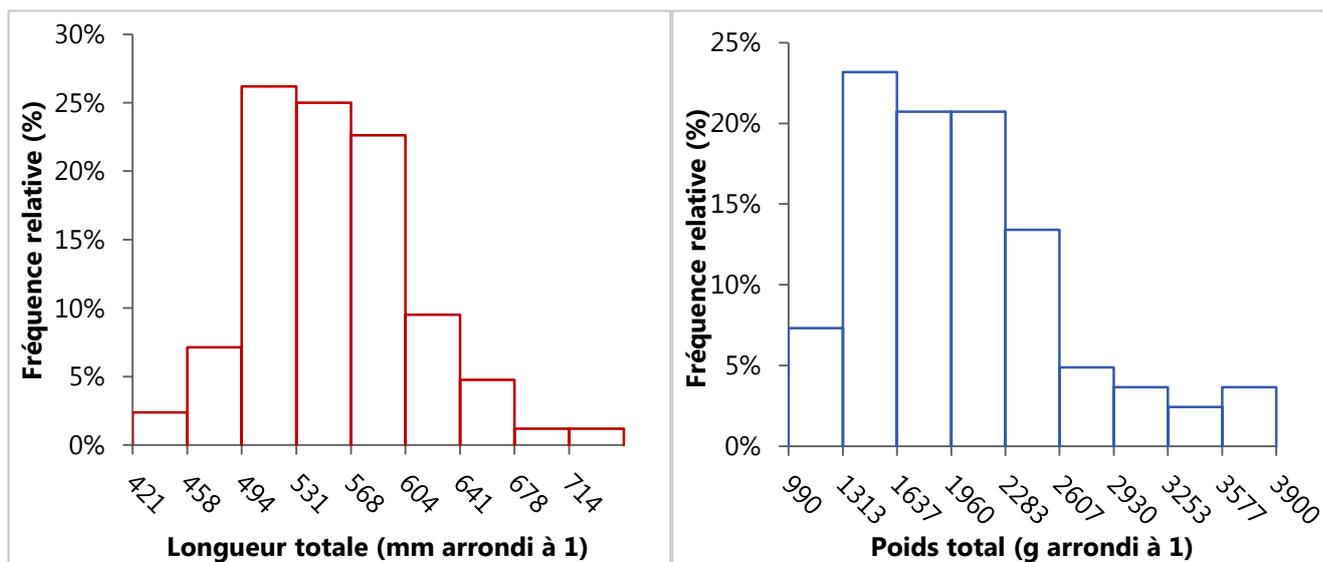


Figure 27 : histogrammes des fréquences de taille et poids

### 4-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS

Les 84 individus ont été équipés de marques acoustiques sur les sites de Cordemais, Couëron et Varades (Tableau 4). Le taux global de détection est de 68%.

Tableau 4 : effectif d'Aloses marquées et détectées en fonction des sites de marquage

Site de marquage	Nombre d'Alose marquées	Nombre d'Alose détectées (taux)
<b>Cordemais</b>	11 (+ 1 ALFA)	8 soit 58 %
<b>Couëron</b>	12	9 soit 75%
<b>Varades</b>	61	42 soit 69%

En plus de ces individus, 17 grandes Aloses de petite taille (Lt moyenne de  $273 \pm 5$  mm) ont été équipées seulement d'une marque Tiris en raison de leur faible poids.

### 4-3 ANALYSE DES PATRONS DE MIGRATION

Différents groupes présentant des patrons de migration similaires peuvent être distingués.

#### a) Groupe A

Ce groupe rassemble 8 individus ayant tous effectué un mouvement global de dévalaison après le marquage. Certains ont réalisé des montaisons sur une distance et pendant un temps très court. D'autres ont effectué des stationnements au niveau d'une station pendant 2-3 jours maximum.

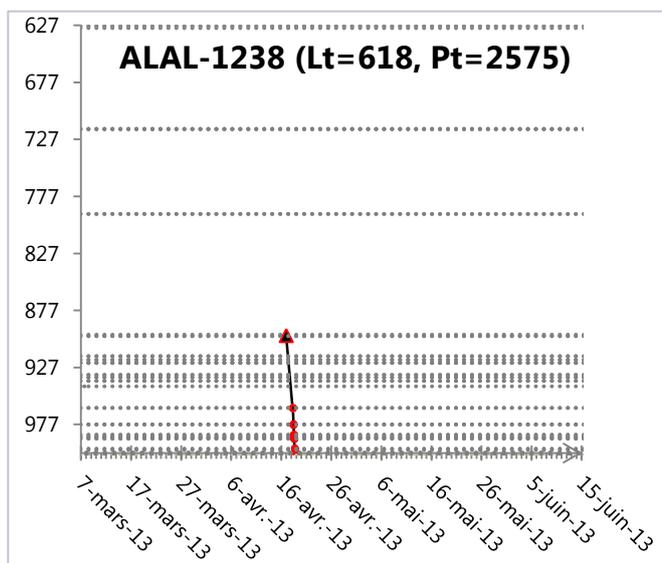


Figure 28: graphique de migration d'ALAL-1238

La fin de détection se produisant sur les stations les plus aval (Saint-Nazaire, Paimbœuf ou Cordemais) pour 70% des individus de ce groupe, un départ en mer peut être supposé fortement. Aucun des individus de ce groupe ne s'est représenté en estuaire par la suite.

La dévalaison post-marquage s'est effectuée à des vitesses variables (entre 2 et 50 km/j).

Comme le montre la Figure 29, la majorité des individus n'a pas été détecté avant la station du Pellerin alors qu'ils ont été marqués à Varades. Ceci est dû aux problèmes de réception du système (cf. Résultats §0).

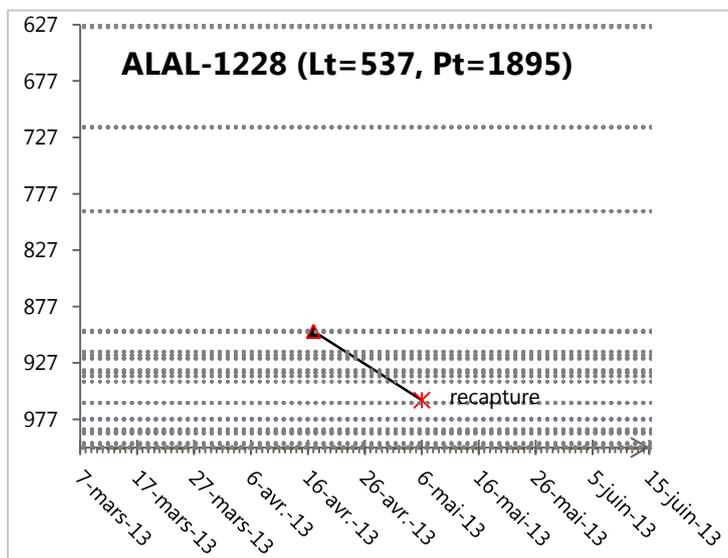


Figure 29: graphique de migration d'ALAL-1228

Deux individus supplémentaires peuvent être rattachés à ce groupe. Il s'agit de deux Aloses ayant été recapturées par des pêcheurs en aval du point de relâché 3 et 19 jours après avoir été marquées (Figure 29). Ces deux individus n'ont jamais été détectés par les hydrophones avant d'être recapturés.

#### b) Groupe B

Ce groupe concerne 23 individus ayant un patron de migration similaire : après avoir été marqués, les Aloses ont dévalé (1) jusqu'à ne plus être détectées (2), se sont représentées à

l'entrée de l'estuaire (4) puis ont migré instantanément ou après une attente en estuaire (3) (Figure 30 et Figure 31).

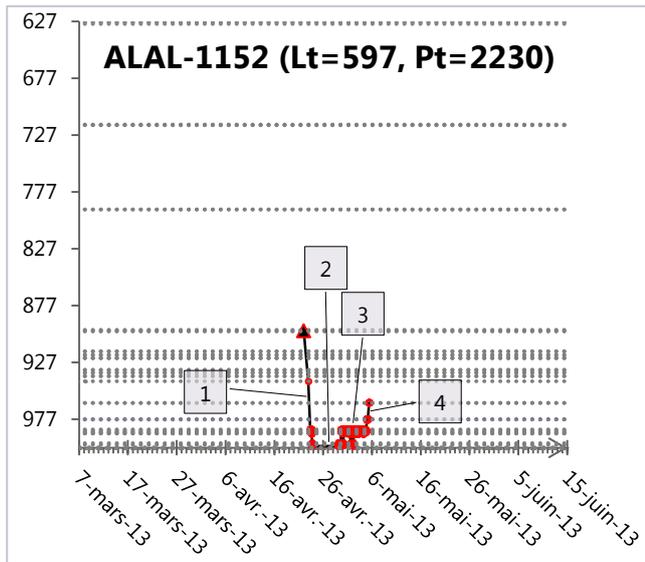


Figure 30 : exemple de patron de migration avec attente en estuaire

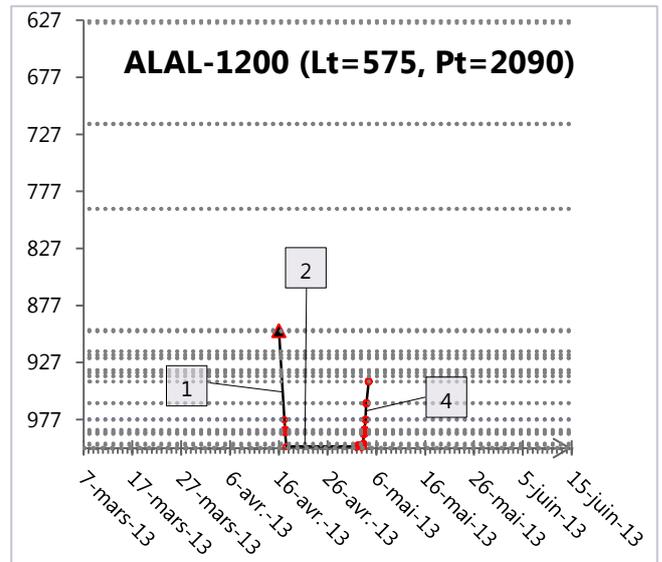


Figure 31 : exemple de patron de migration sans attente en estuaire

La durée moyenne de la dévalaison (1) est de  $3 \pm 1$  jours. Elle s'est faite quasiment instantanément et sans attente en estuaire pour tous les individus sauf ALAL-1202 qui a marqué un arrêt entre les stations de Cordemais et Paimbœuf pendant 11 jours (Figure 32) et pour ALAL-1222 qui n'a commencé à dévaler que 13 jours après avoir été marqué (Figure 33).

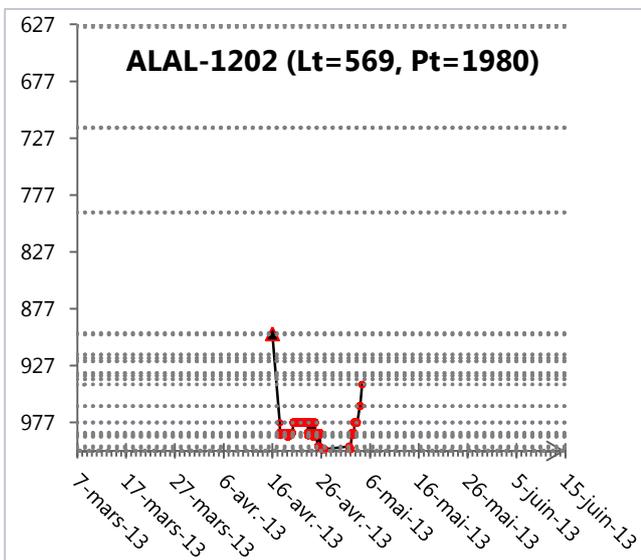


Figure 32: patron de migration d'ALAL-1202

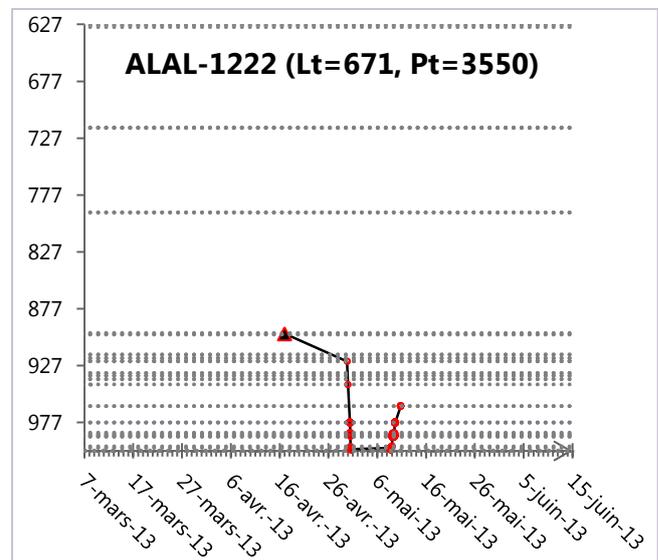


Figure 33: patron de migration d'ALAL-1222

La période de non détection (2) correspond très probablement à un séjour en mer, hors de l'aire de détection des derniers hydrophones (station de Saint-Nazaire). En effet, les dernières détections ont lieu à Saint-Nazaire dans un mouvement global de dévalaison alors que les premières détections qui suivent ce séjour ont lieu dans un mouvement global de montaison.

La durée moyenne du séjour en mer est de  $7 \pm 1$  jours. Elle varie de 2 à 18 jours et n'est corrélé

ni avec la date de marquage ni avec la taille des individus.

### c) Groupe C

Ce groupe de 9 individus se rapproche du groupe précédent à l'exception près que les Aloses se sont présentées une à deux fois dans la partie basse de l'estuaire avant de réellement entreprendre leur montaison. On peut donc considérer qu'elles ont effectué plusieurs séjours en mer (1) entrecoupés de tentatives d'entrée en estuaire (2).

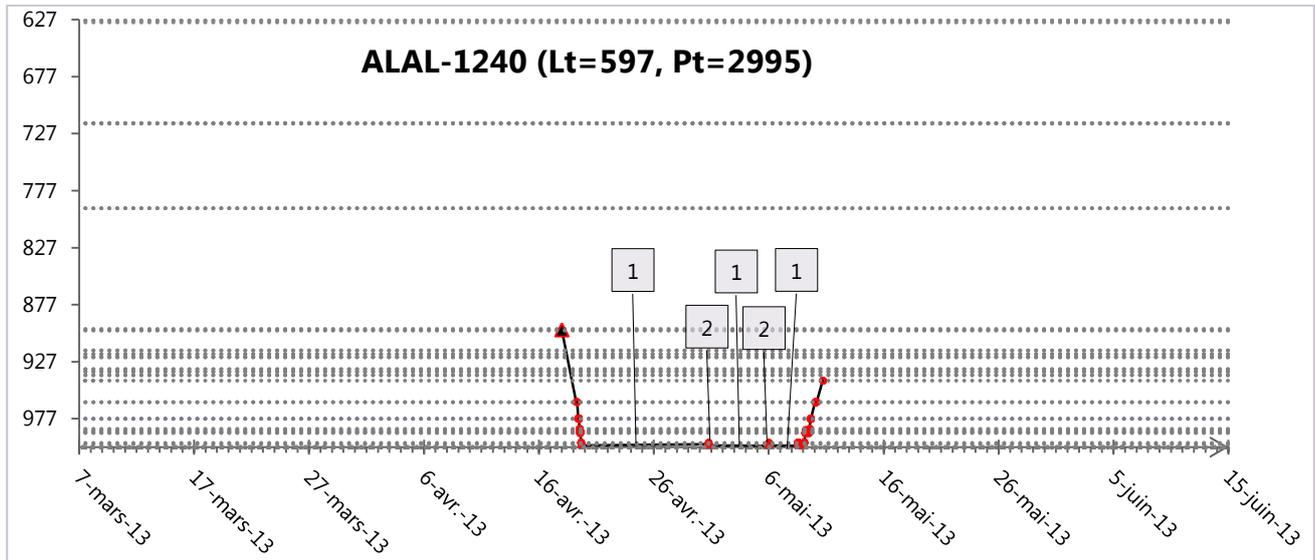


Figure 34 : exemple de patron de migration avec deux tentatives d'entrée en estuaire

La durée moyenne des séjours en mer a été de  $8 \pm 1$  jours allant de 2 à 20 jours. Le premier séjour a été majoritairement le plus long (moy.  $11 \pm 2$  jours).

### d) Groupe D

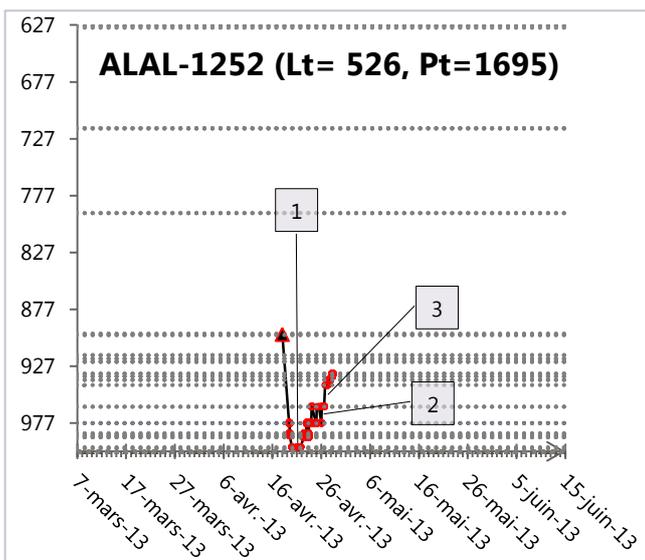


Figure 35 : patron de migration d'ALAL-1252.

Ce groupe de 5 individus a effectué une dévalaison post-marquage pendant  $2 \pm 0$  jours. Cette dévalaison a eu lieu entre le site de marquage et la partie basse de l'estuaire (aval de Cordemais) sauf pour ALAL-1248 qui n'a dévalée que jusqu'à Bellevue. Les individus ont ensuite effectués un palier entre Saint-Nazaire et Nantes (1) avec éventuellement des oscillations (2) avant de réaliser une montaison (3) (Figure 35).

### e) Groupe E

Ce groupe rassemble les trois individus ayant effectué une dévalaison post-marquage et un séjour en mer (comme le groupe B) puis une montaison jusqu'à la station d'Orléans (Figure 36, Figure 37 et Figure 38). Ces trois individus ont donc été suivis sur 373 km (Saint-Nazaire à Orléans).

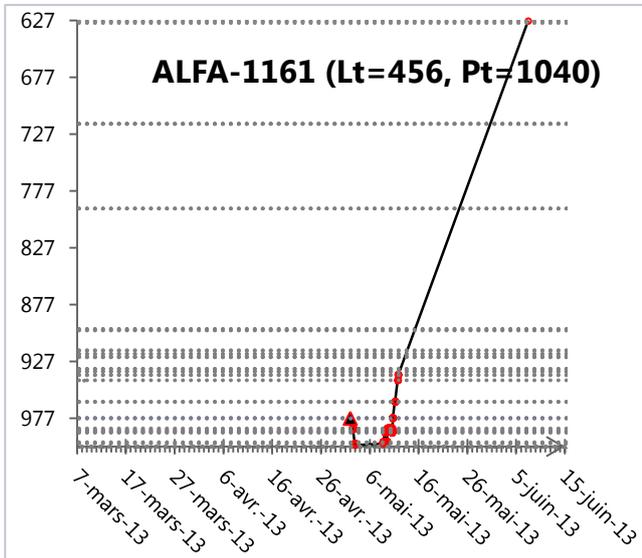


Figure 36 : patron de migration d'ALAL-1161

Ce groupe se compose de deux grandes Aloses et de la seule Alose feinte marquée cette année. Les trois individus ont été marqués à Cordemais le 2-3 mai.

Les deux grandes Aloses ont une taille et un poids légèrement inférieure à la moyenne (*rappel* :  $Lt\bar{x}=554$  et  $Pt\bar{x}=2032$ ).

La montaison entre l'estuaire amont (Le Pellerin, Nantes ou Bellevue) et Orléans s'est faite à une vitesse de 12 km/j pour ALFA-1161, 38 km/j pour ALAL-1170 et 31 km/j pour ALAL-1172.

Bien que basé seulement sur 3 individus, on remarque une corrélation positive entre la vitesse de cette montaison et la taille/poids des Aloses.

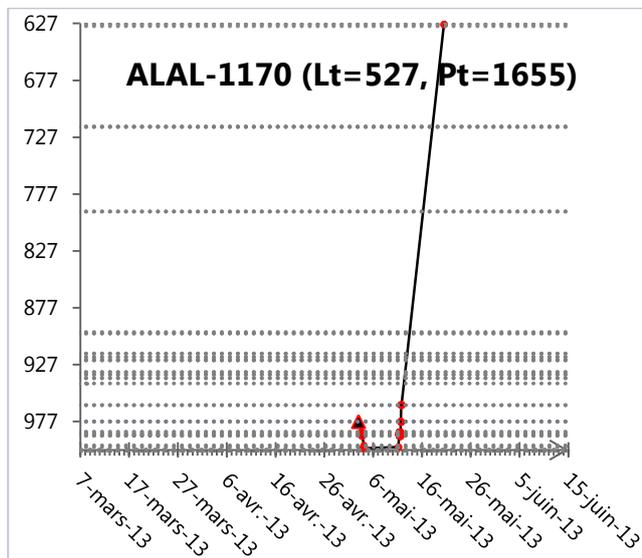


Figure 37 : patron de migration d'ALAL-1170

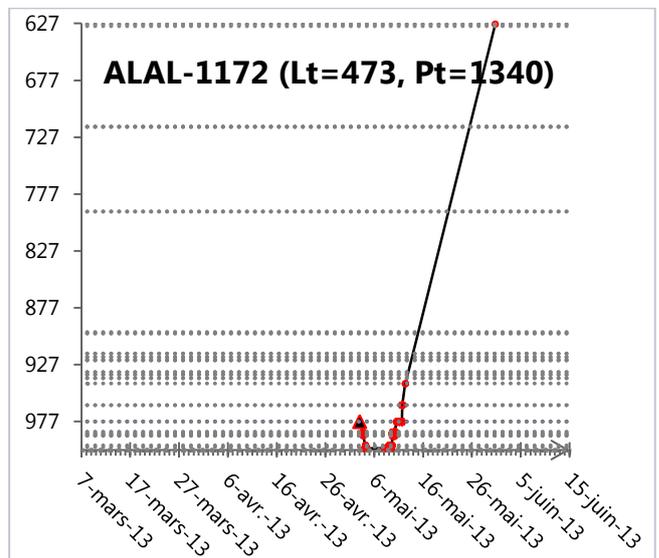


Figure 38 : patron de migration d'ALAL-1172

#### f) Groupe F

Les 3 individus de ce groupe ont eu peu d'informations de détection soit car ils ont été recapturés après avoir été marqués et sans avoir été détectés, soit car l'émetteur n'a été détecté que très peu de fois.

En effet, ALAL-1226 a été recapturée à 51 km en aval de son lieu de marquage sans avoir été détectée par les hydrophones et ALAL-1228 à 61 km également sans avoir été détectée. Ces Aloses ont été recapturées respectivement 3 et 19 jours après leur marquage et ont franchi 14 hydrophones sans être détectées.

ALAL-1102 présente un patron de détection différent : marquée à Couëron, l'Alose n'a été détectée épisodiquement qu'à partir de 28 jours après son marquage et à la station du Pellerin située à 2,6 km en aval. La mort de l'individu ou le rejet de l'émetteur qui serait tombé au fond et ne serait détectable que dans certaines conditions de réception particulières pourraient être la cause d'un tel patron de détection.

#### g) Groupe G

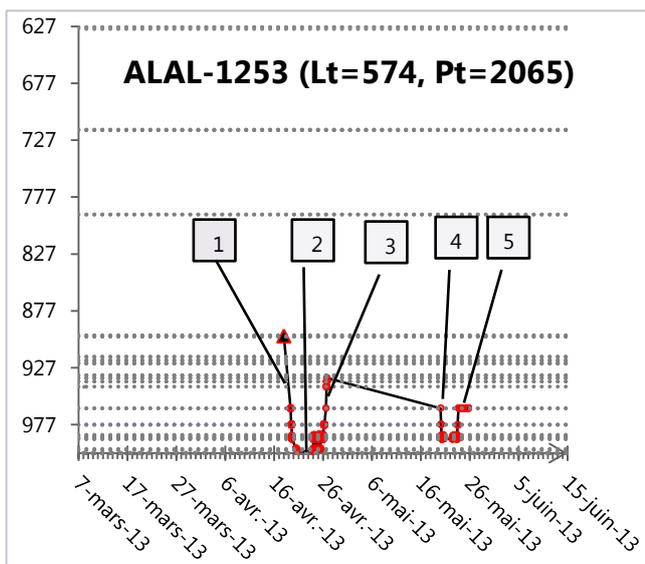


Figure 39 : patron de migration d'ALAL-1253

Ce groupe de 7 individus a effectué une dévalaison post-marquage (Figure 39-1) suivi d'un séjour en mer (2), d'une montaison (3) puis d'une seconde dévalaison (4) dans l'estuaire suivie ou non d'une seconde montaison (5).

La durée entre les deux descentes en mer (a) varie entre 16 et 33 jours sur les 5 individus ayant effectué une seconde montaison.

### 4-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

La variabilité des comportements illustrés précédemment dans les différents groupe rend impossible une quelconque mise en valeur d'une relation entre les paramètres environnementaux (débit, température) ou biométriques (taille, poids) et le comportement migratoire.

Les paramètres environnementaux ont donc seulement été étudiés pour caractériser la

migration du groupe E. Pour rappel, les trois Aloses de ce groupe ont effectué une dévalaison post-marquage et un séjour en mer puis une montaison jusqu'à la station d'Orléans.

Ces trois Aloses ont débuté leur montaison en estuaire entre le 9 et le 11 mai 2014 pour des coefficients de marée compris entre 82 et 84 alors que les coefficients étaient plus bas quelques jours avant ou après ces dates (coef. de 66 le 6 et le 14 mai).

Cette constatation est contradictoire avec les tendances relevées dans les précédents travaux du MNHN sur les Aloses (GADAIS, 2011) lors desquels les Aloses migraient plutôt lors des faibles coefficients de marée. En effet, pendant ces « mortes eaux », les conditions d'oxygénation, dans l'estuaire étaient plus favorable grâce à un estompement du bouchon vaseux.

Cette divergence de comportement pourrait s'expliquer par le fait qu'il n'y a pas eu de phénomène de bouchon vaseux en 2013 ou du moins qu'il a été beaucoup plus localisé dans l'espace et dans le temps (*com. pers. GIP Loire-Estuaire*).

La migration a débuté à la fin d'un pic de crue à 2300 m<sup>3</sup>/s puis le débit a chuté à 1080 m<sup>3</sup>/s avant de remonter à 2400 m<sup>3</sup>/s plus tard durant la période de migration (en orange sur la Figure 40). La température est resté relativement stable (aux alentours de 14°C) jusqu'au 2 juin puis a augmenté fortement jusqu'à atteindre 20°C le 8 juin, date à laquelle ALFA-1161 a atteint Orléans.

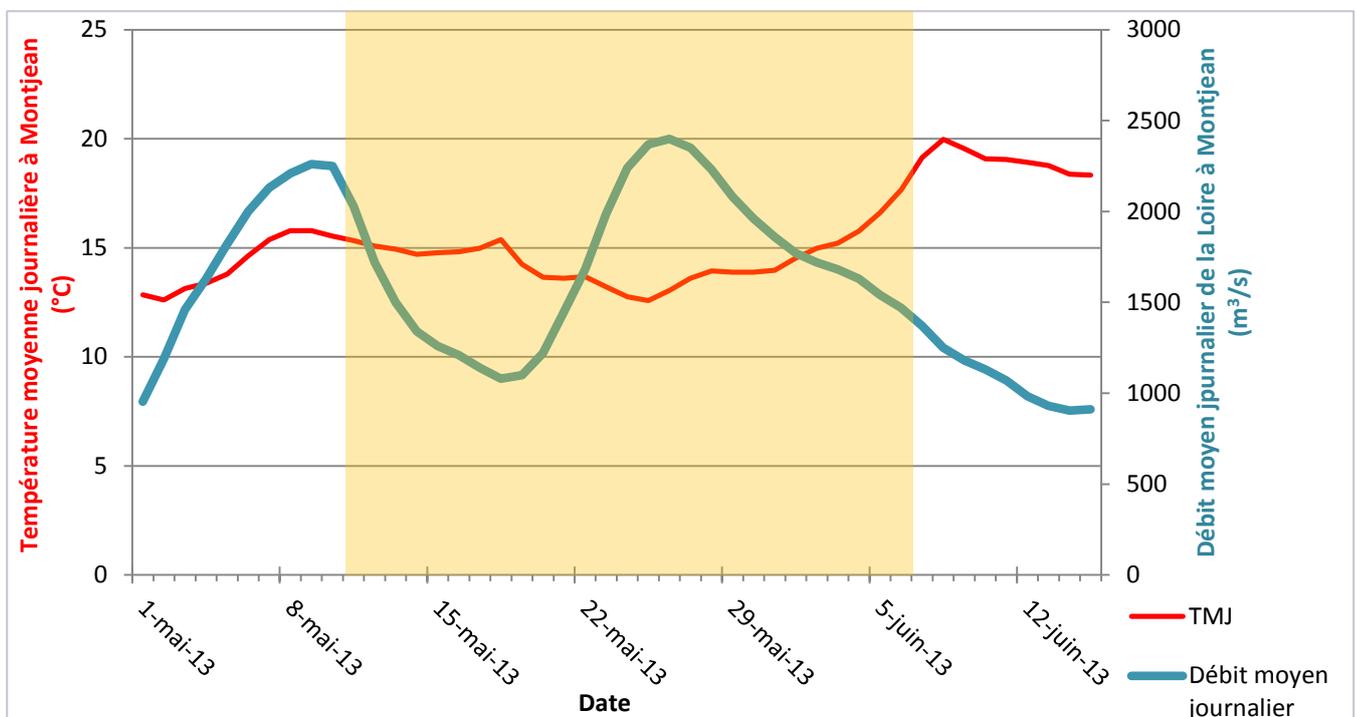


Figure 40 : variations de la température et du débit à Montjean durant la migration des Aloses du groupe E

## 5 LAMPROIES MARINES

### 5-1 CARACTERISTIQUES DES INDIVIDUS MARQUES

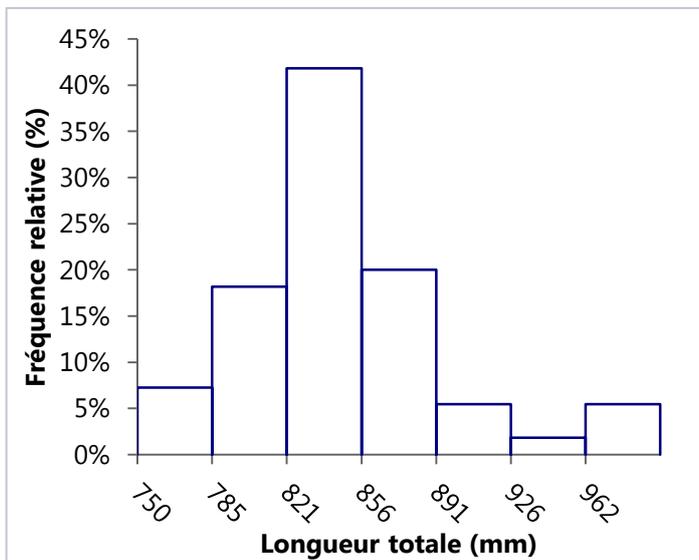


Figure 41 : histogramme des fréquences de Longueur totale

Cinquante-cinq individus ont été marqués et relâché à Varades le 26 avril 2013. Ils étaient issus de deux levées de nasse : le 18 et le 22 avril. Ils avaient donc été capturés quelques jours auparavant sur ce même site.

La longueur totale des individus est comprise entre 750 et 997 mm avec une moyenne de  $847 \pm 7$  mm (e.s. 0,95). Le poids est compris entre 894 et 2075 g avec une moyenne de  $1227 \pm 29$  g (e.s. 0,95).

L'échantillon se composait de 28 femelles (présence d'œufs remarquée) et de 27 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).

### 5-2 ANALYSE GLOBALE DES DETECTIONS

Sur les 55 individus marqués, 7 ont été détectés par les hydrophones et aucun par les stations Tiris soit un taux de détection de 13%. Parmi ces 7 individus, 3 ont été détectés à l'amont du site de relâcher et 4 à l'aval.

Les trois individus s'étant déplacés vers l'amont du site de marquage ont été détectés seulement par la station de Varades en aval de laquelle l'ensemble des 55 Lamproies marquées avaient été relâchés (environ 500m en aval de l'hydrophone le plus aval de la station).

### 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 des « montants »

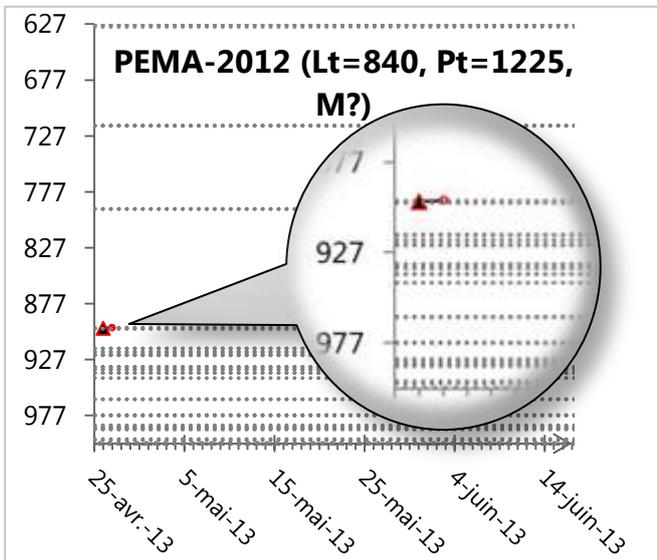


Figure 42 : exemple de patron de migration caractéristique du groupe

Ce groupe contient les trois individus ayant été détections en amont du site de relâcher. Ces trois individus présentent quelques détections (de une à trois) par les trois hydrophones de la station de Varades.

Ils n'ont pas été détections par les stations amont d'Avoine, d'Amboise et d'Orléans.

#### b) Groupe des « descendants ayant effectué des montaisons »

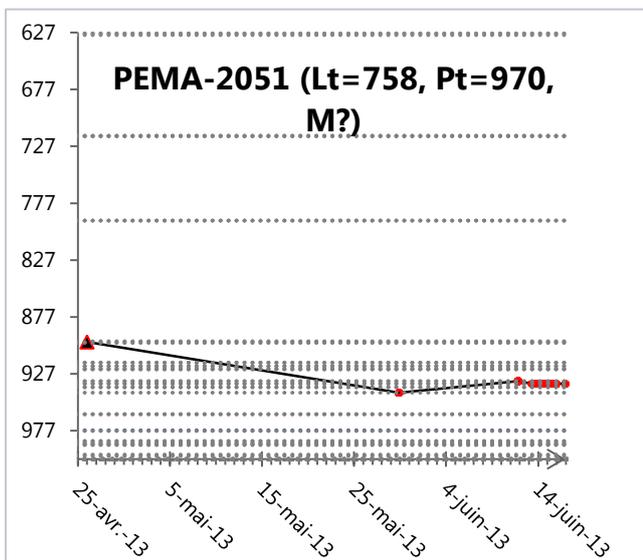


Figure 43 : patron de déplacement de PEMA-2051

Ce groupe composé de deux individus se caractérise par un mouvement global de dévalaison par rapport au site de relâcher mais présentant des mouvements de montaison sans jamais être passé en amont du site de relâcher.

Après son relâcher à Varades, PEMA-2031 a effectué une dévalaison jusqu'à Cordemais (en étant seulement détections par les hydrophones de Nantes) puis une montaison jusqu'à la station de Thouaré où elle a cessé d'être détections 3 jours après son marquage.

Après avoir été relâché à Varades, PEMA-2051 a également effectué une dévalaison très lente (1,3 km/j) jusqu'à Nantes puis une montaison lente jusqu'à Thouaré puis la Boire-courant (0,8 km/j).

Cet individu a été détecté pendant 52 jours entre le moment de son relâché et sa dernière détection (Figure 4341). Il s'agit de la période de suivi la plus longue enregistré chez les Lamproies en 2013.

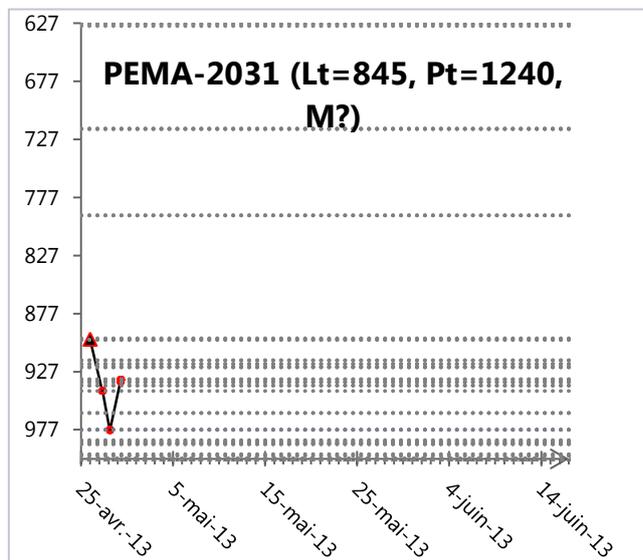


Figure 44 : patron de déplacement de PEMA-2031

### c) Groupe des « descendants sans montaison »

Ce groupe rassemble les deux individus qui ont effectués des dévalaisons sans jamais avoir effectué de montaison (Figure 45).

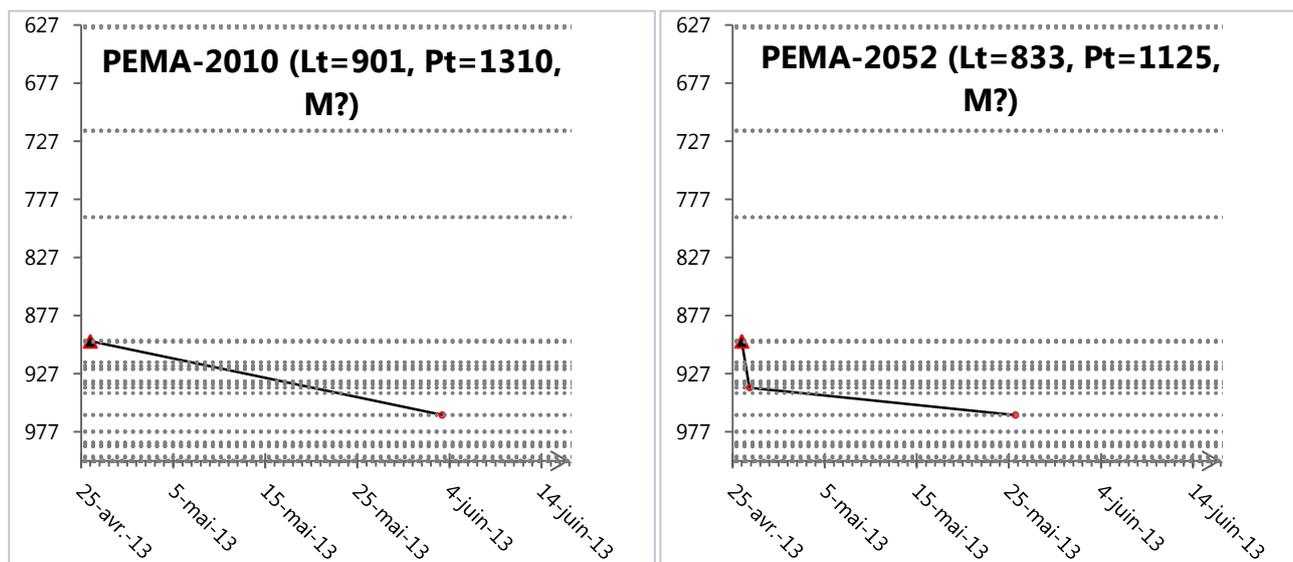


Figure 45 : patron de déplacement de PEMA-2010 et 2052

Après leur marquage les deux individus ont dévalé à une vitesse relativement lente. Ils ont été détectés par un nombre restreint d'hydrophones et avec une unique détection à chaque hydrophone alors que les marques émettent toutes les 20 à 40 secondes.

Ce nombre restreint de détections ainsi que la vitesse lente de dévalaison pourrait s'expliquer par des individus morts à la suite du marquage et dévalant emportés par le courant sur le fond - et donc moins facilement détectable qu'en pleine eau. En effet, la Lamproie ne possédant pas de vessie natatoire, elle coule très facilement lorsqu'elle cesse de nager.

## 5-4 INFLUENCE DES PARAMETRES ENVIRONNEMENTAUX

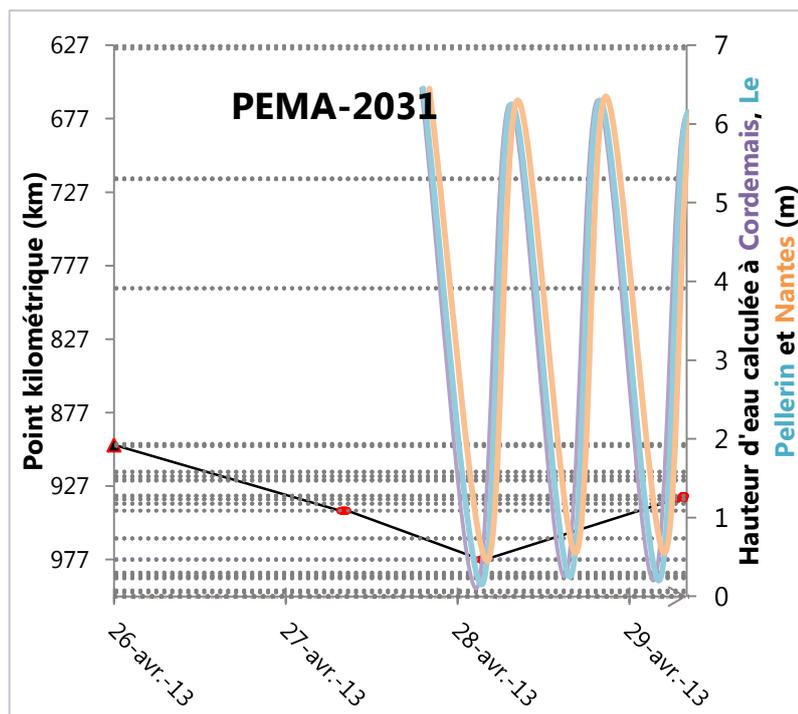


Figure 46 : effet des marées sur le déplacement de PEMA-2031

PEMA-2031 étant la seule Lamproie ayant effectué une remontée significative après le marquage, ses déplacements ont été étudiés en fonction des paramètres environnementaux.

Le graphique de migration a été superposé avec les courbes de niveau à Cordemais, le Pellerin et Nantes afin de prendre en compte l'effet des marées (coefficient, flot et jusant) (Figure 46).

On note un départ de la station de Cordemais au début de la marée montante. La Lamproie pourrait

donc utiliser les courants de flot pour progresser vers l'amont. Cependant, cette montaison est étalée sur 3 marées. Un suivi à une échelle spatio-temporelle plus fine pourrait permettre de mettre en évidence l'utilisation d'un éventuel transport tidal sélectif (montaison durant le flot et stationnement durant le jusant).

# DISCUSSION

## 5-1 FAIBLE EFFECTIF DE SAUMON CAPTURE

L'effectif très faible de Saumon capturé pourrait s'expliquer par différents facteurs, le principal étant l'effort de pêche trop faible par rapport à la taille de la population. En effet, plus la population est faible et plus l'effort devra être important pour capturer un effectif suffisant. En l'occurrence, les 250 heures de pêche ciblant le Saumon n'ont pas permis de capturer plus de quatre individus.

Un second facteur pouvant expliquer ce faible nombre de Saumon capturés concerne les conditions hydro-climatiques particulières de cette année. Les pics de crue se sont succédé

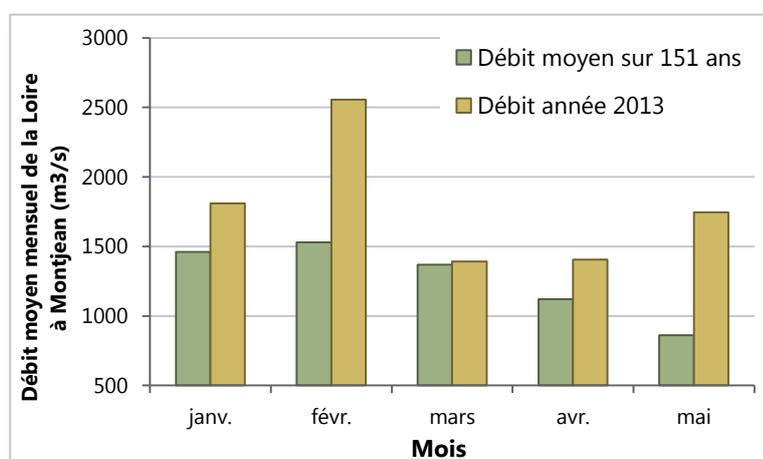


Figure 47 : comparaison des débits de l'année 2013 aux valeurs moyennes interannuelles sur 151 ans

durant la période de migration avec des épisodes de crue atteignant la fréquence quinquennale à décennale (DREAL Centre, 2013). Les débits ont été largement supérieur aux débits moyens généralement rencontrés, hormis en Mars (Figure 47). Ces débits élevés ont fortement limité l'efficacité de la pêche au filet dérivant et le nombre de jours de pêche au filet-barrage.

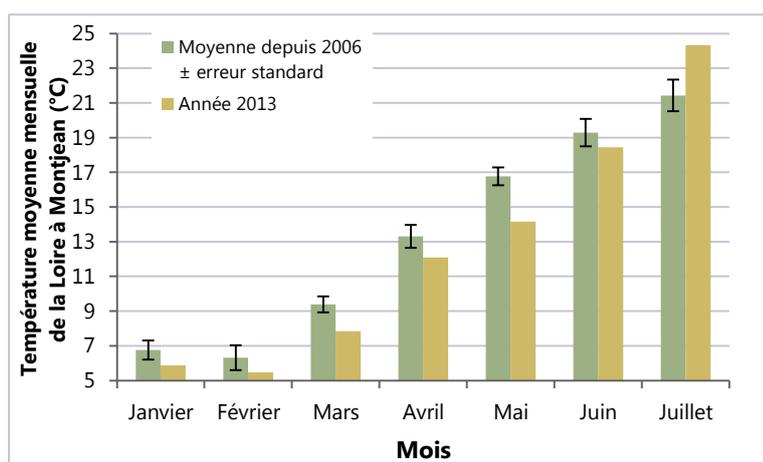


Figure 48 : comparaison des températures moyennes mensuelles entre l'année 2013 et la moyenne interannuelle depuis 2006

A l'inverse des débits, les températures sont restées particulièrement froides et le réchauffement des eaux n'a eu lieu que très tardivement.

Ceci a provoqué une migration plus tardive que les autres années d'après l'expérience des pêcheurs.

## 5-2 FAIBLE TAUX DE DETECTION PAR LE RESEAU D'HYDROPHONES

Ces conditions atypiques ont également entraîné des problèmes de réception sur les hydrophones. En effet, d'après les retours d'expérience issus des précédentes études de télémétrie acoustiques (programme Amphihalin mené par le MNHN), le bruit généré par le transport solide serait un élément perturbant la réception des hydrophones. Le transport des particules solides entraînerait un « bruit de fond » masquant le signal émis par les émetteurs.

Des problèmes de bruits parasites (vent, trafic maritime, activités de la faune benthique) sont d'ailleurs relevés dans la bibliographie comme cause probable d'une mauvaise réception (BARAS, et al., 2001).

Un certain nombre de constatation permet de suspecter une défaillance du réseau d'hydrophone et/ou des émetteurs employés. Ceci est particulièrement visible chez le groupe des Lamproies montantes (cf. *Résultats* §5-3). En effet, La durée maximale de la détection par un même hydrophone est de 02 min et 5 secondes. Cette durée très courte pourrait s'expliquer par deux raisons pouvant être combinées : une vitesse de nage élevée permettant à l'individu de franchir l'aire de détection de l'hydrophone très rapidement et/ou une aire de détection très restreinte.

## 5-1 ABSENCE DE DETECTION PAR LES STATIONS PIT-TAG

Différente hypothèses pourraient expliquer l'absence de détection des 160 individus équipés de PIT-tag par les stations gérées par LOGRAMI :

- Mortalité en aval des stations :
  - Après la fraie (présence de frayère forcée en aval des obstacles)
  - Avant la fraie
    - Par prédation : par le Silure (*Silurus glanis*) par exemple.
    - Par pêche
    - Pour cause de maladies, infections entraînées ou non par le marquage
- Rejet ou défaillance de la marque
- Dévalaison et absence de franchissement des passes

Comme le montrent les détections par le réseau d'hydrophones, cette dernière hypothèse est confirmée pour un certain nombre d'individu qui ont effectué un retour en mer. L'hypothèse de la capture des individus marqués par des pêcheurs existe également puisque quatre Aloses ont été recapturées 3 à 39 jours après avoir été marqués. Enfin, le rejet ou la défaillance de la marque semblent peu probable et la rétention des marques avoisine les 100% dans des conditions d'application correcte (BARAS, et al., 2001).

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette deuxième phase du projet « évaluation du stock de saumons entrant en estuaire de la Loire et étude du comportement migratoire jusqu'aux secteurs amont » n'a pas permis d'étudier correctement la migration des différentes espèces marquées.

En effet, soit l'effectif marqué était trop faible (cas du Saumon), soit les individus marqués ont été peu détectés (cas des Lamproies) soit ils ont montré des comportements atypiques (cas de certaines Aloses).

Les comportements de dévalaison observés chez de nombreuses Aloses pourraient en effet être dus aux conditions hydroclimatiques particulières. En effet, depuis le début des travaux de marquage sur la Loire menés par le MNHN et l'INRA, ce type de comportement est observés pour la première fois alors que le protocole a été conservé à l'identique. Seul le site de marquage a en parti changé (ajout du site de Varades).

Des données intéressantes ont cependant été récoltées sur la migration des Aloses (groupe E). La migration de trois individus a pu être suivie sur un parcours de plus de 300 Km. Les vitesses de migration observées, allant de 12 à 38 km/j semble corrélées positivement avec la taille et le poids des individus.

Cependant cette corrélation est à nuancer car elle a été observée sur seulement trois individus : deux grandes Aloses et une Alose feinte. Cette dernière espèce est particulièrement peu connue et obtenir une vitesse de migration sur un si long parcours est une donnée particulièrement rare.

Un grand nombre de points restent à améliorer pour la troisième phase de l'étude. Contrairement à ce qui était attendu, l'augmentation de l'effort de pêche et la multiplication des sites de capture n'a pas permis de marquer un nombre suffisant de Saumon (*rappel : 3 individus marqués lors de la phase 1*). Lors de la phase 3, l'effort de pêche devra encore être augmenté grâce à plus de journées de pêche et l'ajout de nouveaux sites afin de multiplier les chances de capture. D'après les témoignages d'anciens pêcheurs professionnels de Saumons, l'emploi de filets fixes pourrait également être efficace pour capturer plus d'individus.

Ensuite, les taux de détections se sont montrés très faibles (68% chez les Aloses, 25% chez les Saumons et 13% chez les Lamproies). Une partie de ces résultats peut probablement être imputée aux conditions d'écoute défavorables mais une autre partie provient probablement d'une défaillance du matériel. En effet, les émetteurs employés manquaient probablement de puissance en raison de leur âge. Il sera donc nécessaire d'investir dans des émetteurs plus fiables afin de maximiser les taux de détection. De plus, les caractéristiques techniques de ces équipements (distance de détection notamment) étant très théoriques, des tests *in-situ*

devront être effectués pour valider leur bon fonctionnement.

Enfin, concernant le réseau d'hydrophones, un remaniement semble nécessaire afin de ne garder que les stations présentant les meilleurs taux de réception et d'éliminer les moins performantes. Ceci permettra de libérer des hydrophones qui pourront être réemployés sur de nouveaux sites.

# BIBLIOGRAPHIE

Anonymes, 2009. *Plan de Gestion des Poissons Migrateurs du bassin de la Loire, des côtières 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.

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

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 biotélémétrie 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., 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.

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].

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 Français 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

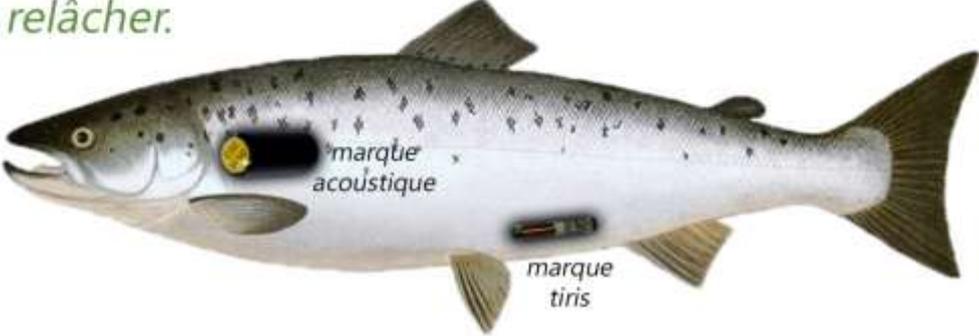
Exemple d'information à destination des pêcheurs



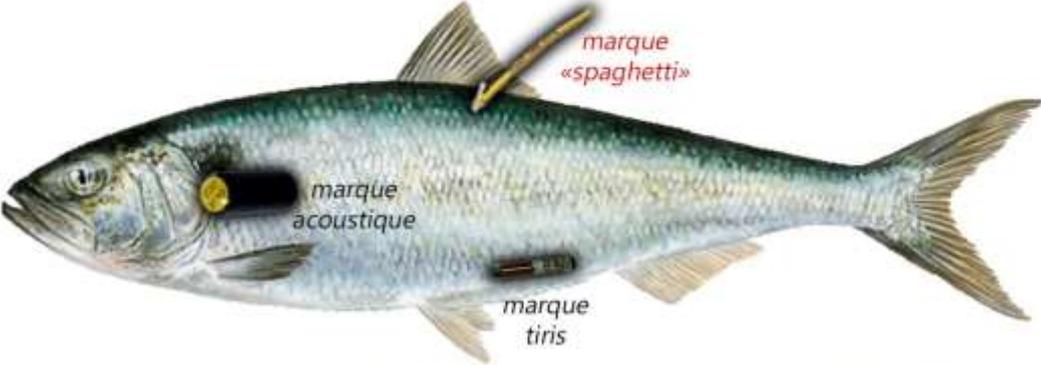


### DES SAUMONS ET DES ALOSES MARQUÉS CIRCULENT EN LOIRE

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



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





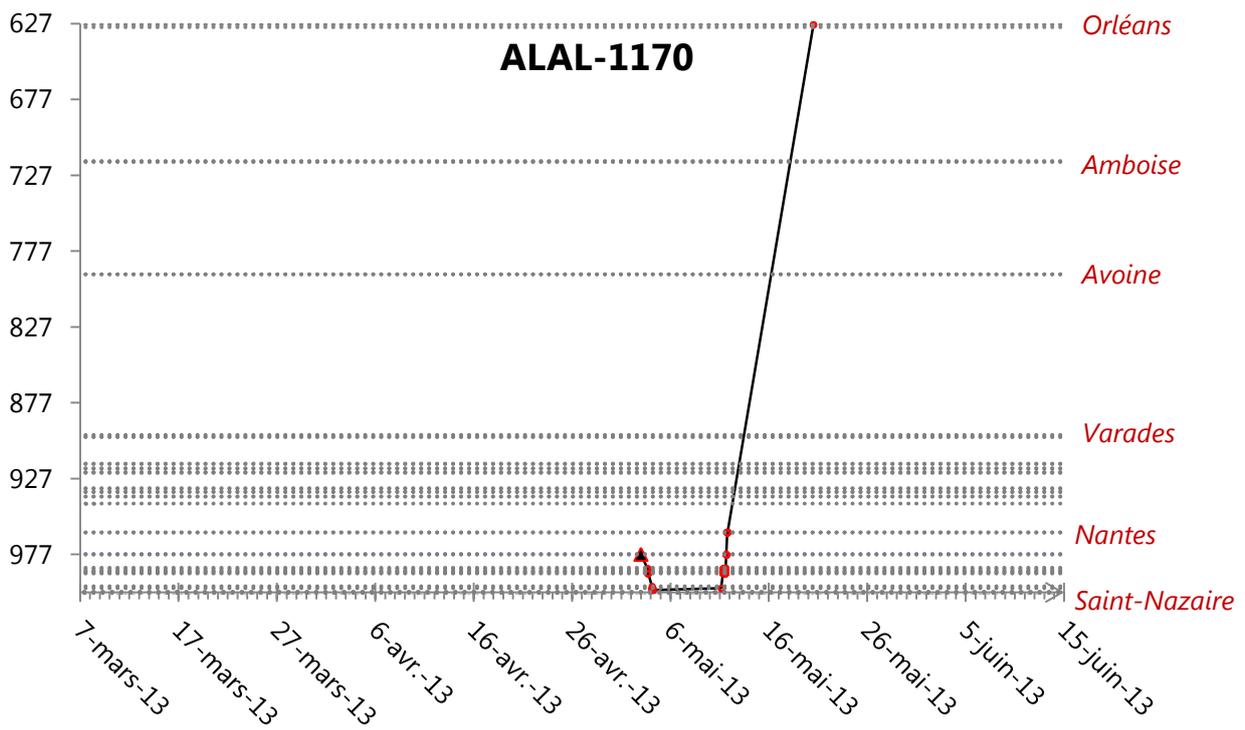






## Annexe 2

Guide de lecture des graphiques de migration



### Annexe 3

Analyses graphiques des comportements migratoires du Saumon en fonction des paramètres environnementaux

