

<p>Année universitaire : 2015-2016 Spécialité : halieutique Spécialisation (et option éventuelle) : REA</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage</p> <p><input type="checkbox"/> de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	---

Utilisation d'une caméra acoustique DIDSON pour décrire la dynamique migratoire des saumons atlantiques (*Salmo salar L.*) de la Sélune : optimisation de la méthode d'analyse et étude de l'influence des conditions environnementales sur leur migration

Par : Anne MOUGET



Soutenu à Rennes le 13 septembre 2016

Devant le jury composé de :

Président : Dominique Ombredane
Maître de stage : Clarisse Boulenger
Enseignant référent : Etienne Rivot

Autres membres du jury (Nom, Qualité)
Cédric Briand (IAV EPTB 56)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0

France » disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible ⁽¹⁾.

Date et signature du maître de stage ⁽²⁾ :

16/09/2016



A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur ⁽³⁾ Nom Prénom NOUDET Anne

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-BY-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur :

16/09/2016



Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement⁽⁴⁾

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

le 16-09-2016



Dominique OMBREDANE

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

Table des matières

1. Introduction	1
2. Matériel et méthodes.....	2
2.1. La population étudiée	2
2.1.1. Influence des paramètres environnementaux sur la phase de montaison.....	2
2.1.2. Taille	3
2.1.3. Vitesse et comportement.....	3
2.2. Site d'étude : la Sélune.....	3
2.2.1. Caractéristiques hydrologiques et biologiques de la Sélune.....	3
2.2.2. Le site de suivi	Erreur ! Signet non défini.
2.3. Acquisition et traitement des données	6
2.3.1. Acquisition	6
2.3.2. Traitement des données du DIDSON.....	6
2.3.3. Validation des cibles sélectionnées.....	8
2.3.4. Schéma récapitulatif du protocole	9
2.4. Amélioration du système de traitement.....	9
2.4.1. La base de données	9
2.4.2. Minimisation du nombre des faux positifs.....	10
2.4.3. Identification et conversion des faux négatifs	11
2.4.4. Mise en place d'un schéma global	12
2.4.5. Jeu de donnée test	13
2.5. Etude de la dynamique migratoire.....	14
2.5.1. Jeu de données.....	14
2.5.2. Statistiques.....	14
3. Résultats	15
3.1. Présentation des différents jeux de données	15
3.1.1. Base de données globale.....	15
3.1.2. Base de données issue des 3 jours de visualisation	15
3.1.3. Base de données issue des 3 semaines tests	16
3.2. Minimisation du nombre de faux positifs	16
3.2.1. Seuils basés sur les paramètres exportés dans le protocole initial.....	16
3.2.2. Filtres sur les paramètres nouvellement exportés.....	20
3.3. Identification et conversion des faux négatifs	21
3.3.1. Résultats des 3 jours de visualisation.....	21

3.3.2.	Analyse des caractéristiques des faux négatifs	22
3.3.3.	Proposition d'élargissement des seuils et test sur le jeu de données	22
3.4.	Application des filtres des scénarios 1 et 2 après élargissement des seuils	23
3.4.1.	Filtres basés sur les paramètres initialement exportés.....	23
3.4.2.	Filtres basés sur les paramètres nouvellement exportés.....	23
3.5.	Synthèse des 5 scénarios.....	24
3.6.	Test des différents scénarios sur les 3 semaines de test	25
3.6.1.	Scénario 1	25
3.6.2.	Scénario 2	25
3.6.3.	Scénario 3	26
3.6.4.	Scénario 4	26
3.6.5.	Scénario 5	26
3.7.	Résultats de l'étude du flux migratoire	27
3.7.1.	Jeu de données.....	27
3.7.2.	Etude de la dynamique migratoire à l'échelle de la journée	27
3.7.3.	Etude de la dynamique migratoire à l'échelle de l'heure	28
4.	Discussion.....	30
4.1.	Efficacité du protocole actuel.....	30
4.1.1.	Efficacité liée aux faux positifs	30
4.1.2.	Efficacité liée aux faux négatifs	31
4.2.	Pistes d'amélioration de l'efficacité	32
4.2.1.	Les différents scénarios	32
4.2.2.	Choix d'un compromis.....	32
4.3.	Objectif de l'évaluation et de l'amélioration de l'efficacité : l'étude de la dynamique migratoire des saumons.....	33
4.3.1.	A l'échelle de la journée	33
4.3.2.	A l'échelle de l'heure	34
	Conclusions et perspectives	35
	Références bibliographiques	36

1. Introduction

Les poissons diadromes sont des espèces qui migrent entre eaux douces et eaux marines afin d'accomplir leur cycle de vie. La plupart de ces populations sont considérées comme menacées ou proches de l'extinction (Baglinière *et al.*, 2003 ; Limburg & Waldman, 2009). Ces individus s'exposent en effet aux perturbations relatives aux différents environnements qu'ils rencontrent. En rivière, un des principaux bouleversements est l'inaccessibilité des zones favorables à l'accomplissement de leur cycle vital ou leur dégradation. Les barrages participent à cette régression : 60% des cours d'eau de la planète sont munis d'au moins un ouvrage (Nilsson *et al.*, 2005). Les tronçons de rivière en amont de ces obstacles peuvent être des zones propices à la reproduction, leur inaccessibilité peut donc diminuer le succès de la reproduction. Le déclin de ces espèces est également lié à la dégradation de la qualité des eaux (Chittenden, 1971). En mer, certaines espèces sont affectées par un effort de pêche important (Limburg & Waldman, 2009). Ces pressions menacent les espèces diadromes tout au long de leur cycle de vie complexe, les rendant particulièrement fragiles.

Parmi ces espèces, le saumon atlantique (*Salmo salar* L.) est un poisson emblématique des cours d'eau français. Cette espèce, présente dans les zones tempérées et arctiques de l'océan Atlantique Nord (Page & Burr, 1991), voit ses effectifs diminuer depuis le milieu du XIX^{ème} siècle (Haig-Brown, 1974, Kirschhofer et Hefti, 1996). Le saumon atlantique est une espèce anadrome : sa reproduction s'effectue en eau douce et son cycle inclut une phase de grossissement en mer. Les œufs, pondus en hiver, éclosent en avril en rivière où les juvéniles se développent durant un à deux ans (Heland & Dumas, 1994). Les jeunes saumons dévalent la rivière au printemps et rejoignent les zones de grossissement marines pour y passer un à quatre ans (Hutchings & Jones, 1998). Alors adultes, ils effectuent leur retour vers les eaux douces continentales, et vers leur rivière natale dans 95% des cas (Quinn, 1993 ; Jonsson *et al.*, 2003), pour s'y reproduire. La période de retour en eau douce dépend de la durée du séjour en mer : les castillons, ou saumons n'ayant passé qu'un hiver en mer, migrent de juin à octobre alors que les saumons de printemps, ayant passé plusieurs hivers en mer, effectuent leur migration plus tôt dans l'année (Mills, 1971 ; Jonsson *et al.*, 1990 ; Klemetson *et al.*, 2003). La grande majorité des saumons (99%) ne survit pas à la suite du processus de reproduction (Baglinière & Porcher, 1994), l'espèce est donc très souvent considérée comme sémelpare (Rivot, 2003).

Le saumon est aujourd'hui classé espèce vulnérable sur la liste rouge des espèces menacées en France (UICN, 2010). Un *plan français de préservation du saumon* a alors été élaboré par l'ONEMA (ONEMA, 2008) afin de sauvegarder cette espèce d'intérêt patrimonial. Cependant, la mise en place de mesures de protection efficaces nécessite une évaluation de l'état des stocks. Deux des méthodes les plus courantes d'évaluation des stocks de reproducteurs en eau douce sont le piégeage et la pêche électrique (Prévost & Baglinière, 1995). Ces méthodes ne donnent qu'une image partielle de la population car ce sont des recensements ponctuels à un endroit précis. De plus, elles sont intrusives et peuvent perturber les individus (Martyn et Baras, 2000). Depuis près de 30 ans se développent des méthodes non intrusives et permettant une image plus complète de l'espèce et des écosystèmes : les techniques hydroacoustiques (Waine, 2010). Ces processus utilisent la

propagation du son dans l'eau et les propriétés de réflexion des objets d'étude. L'onde réfléchiée par le poisson transmet des informations, qui, une fois traitée, peut, entre autres, apporter des informations sur la localisation de l'individu, sa taille ou son comportement. Les premiers sonars permettent un comptage (nombre ou biomasse) mais l'identification de l'espèce, le calcul de sa taille et la description de son comportement restent difficile. Depuis, de nouveaux outils ont été développés, tels que les caméras acoustiques (Martignac *et al.*, 2015), dont la meilleure résolution et le fonctionnement particulier visent à compenser ces limites.

L'hydroacoustique présente de nombreux avantages mais est encore peu utilisé en eau douce en France. Certains aspects de cet outil sont encore peu explorés. Il est donc nécessaire d'évaluer l'efficacité d'un tel outil et d'optimiser les méthodologies d'analyse des données, ce dispositif permettant l'étude des dynamiques migratoires ainsi que leurs liens avec des paramètres environnementaux.

La première partie de ce mémoire porte sur l'estimation et l'optimisation de l'efficacité à estimer le passage des saumons devant le faisceau d'une caméra acoustique, le DIDSON (Dual-Beam IDentification SONar, Sound Metrics Corp.). Les données issues de la caméra sont ensuite traitées et analysées en tenant compte des facteurs environnementaux enregistrés sur le site. Les liens entre les variables du milieu et le nombre de saumon sont ainsi étudiés.

2. Matériel et méthodes

2.1. La population étudiée

L'espèce étudiée est le saumon atlantique (*Salmo salar* L.). En France, les populations de saumons sont structurées en cinq unités génétiques : Bretagne, Basse-Normandie, Haute-Normandie, Adour et Allier-Gironde (Perrier *et al.*, 2011). La population étudiée appartient à l'unité bas-normande.

La montaison est la phase de remontée des adultes des zones de grossissement marines en eau douce. C'est une phase complexe qui semble liée à des paramètres environnementaux encore peu connus. Lors de cette phase, les saumons sont soumis à de nombreuses perturbations (modification de la salinité, dégradations anthropiques du milieu). La plupart des saumons ne survivant pas après la reproduction, cette étape est très importante pour la survie de l'espèce.

2.1.1. Influence des paramètres environnementaux sur la phase de montaison

La migration anadrome est conditionnée par de nombreux paramètres environnementaux. L'âge de mer du saumon conditionne la date de début de sa migration (Mills, 1971 ; Jonsson *et al.*, 1990 ; Klemetsen *et al.*, 2003). La hauteur d'eau doit être suffisante pour permettre le passage des individus, particulièrement lors de la période d'étiage des rivières (Bruslé et Quignard, 2001). Le débit d'eau et la température ont également un rôle important dans le déclenchement et l'inhibition de la migration, notamment avec des effets de seuils (Banks, 1969 ; Jensen *et al.*, 1986 ; Erkinaro *et al.*, 1999). Une température trop faible ou trop forte empêche toute migration. De même, lorsqu'un débit est supérieur à certain seuil, aucune migration n'est observée. D'autres paramètres peuvent également influencer, tels que la température de l'air (Erkinaro *et al.*, 1999), la luminosité (Solomon, 1978) ou la turbidité (Erkinaro *et al.*, 1999). Ces facteurs ont des influences moins

marquées et dépendantes des systèmes étudiés. Ces paramètres ne présentent pas d'effets de seuils au-delà ou en-deçà desquels toute migration est arrêtée mais ils influent sur l'importance du flux migratoire. Les déplacements se font principalement la nuit, à l'aube ou au crépuscule (Bruslé et Quignard, 2001), ce qui est dû à un impact négatif de la luminosité (Swain & Champion, 1969 ; Smith & Smith, 1997). Cependant, il existe de fortes variabilités environnementales d'un bassin versant à l'autre auxquelles le saumon est capable de s'adapter (Hansen & Jonsson, 1991 ; Hodgson *et al.*, 2006)

2.1.2. Taille

La phase de remontée nécessite d'importantes réserves énergétiques. Outre le fait que le saumon ne se nourrit pas pendant cette période, les dépenses énergétiques sont importantes. Le saumon adulte de Basse-Normandie mesure donc de 55 à 70 cm pour les castillons et 65 à 90 cm pour les saumons de printemps (Sauvadet, 2015). Des modifications physiologiques ont lieu, pour permettre le passage d'une eau salée à une eau douce, puis pour atteindre la maturité sexuelle (Persson *et al.*, 1998). De plus, l'énergie nécessaire pour remonter le courant est importante.

2.1.3. Vitesse et comportement

Le saumon adulte remonte la rivière et a donc une trajectoire de l'aval vers l'amont. Contrairement aux individus résidents et en dehors des zones de repos, il ne présente aucun comportement erratique, de prédation ou de reproduction. En revanche, lorsqu'il a trouvé une zone de repos, celui-ci peut observer des mouvements d'amont vers l'aval. Le saumon est un des poissons de rivière les plus rapides. La distance de migration journalière est de l'ordre de 40 km par jour, soit une moyenne de $0,46 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Bruslé & Quignard, 2001). Les vitesses de migration du saumon sont comprises entre $0,4$ et $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Sanchez *et al.*, 2002).

2.2. Site d'étude : la Sélune

2.2.1. Caractéristiques hydrologiques et biologiques de la Sélune

La Sélune est un fleuve de Basse-Normandie qui se jette dans la baie du Mont-Saint-Michel, dans un estuaire partagé avec la Sée. Son bassin versant s'étale sur 1014 km^2 . Plus de 20 affluents se déversent dans le cours principal de ce fleuve le long de 68 km (SAGE, 2007). Son débit moyen est de $10 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, avec de fortes variations entre l'été (moins de $3 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) et l'hiver (près de $20 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) (Banque Hydro, données de 1990 à 2015).

Deux ouvrages sont présents sur ce fleuve, construits en 1916 et 1932 : les barrages hydroélectriques de La-Roche-Qui-Boit (16 m) et de Vezins (36 m). Ces barrages ne sont pas franchissables par les migrateurs. Les barrages bloquent également les flux hydrologiques et sédimentaires, ce qui implique de nombreuses modifications, par exemple du régime thermique ou de la répartition des espèces (Wang *et al.*, 2012).

Historiquement, la Sélune était une excellente rivière à saumons (Thomas, 2015). La population a décliné, notamment à la suite de la construction des barrages. Les parties basses de la Sélune, en aval des barrages, présentent une importante richesse spécifique. Des espèces migratrices sont présentes sur cette zone : lamproies marines et fluviatiles,

anguilles, saumons, aloses et truites de mer. Ces dernières observent un comportement proche de celui du saumon mais présentent néanmoins des gammes de tailles inférieures sur la Sélune. En effet, les données enregistrées depuis plusieurs dizaines d'années sur le bassin mettent en évidence que la population locale de truites de mer observe des tailles inférieures à celles des saumons (Figure 1). Ainsi, 90% des truites de mer mesurent moins de 50 cm alors que tous les saumons ont une taille supérieure à cette limite.

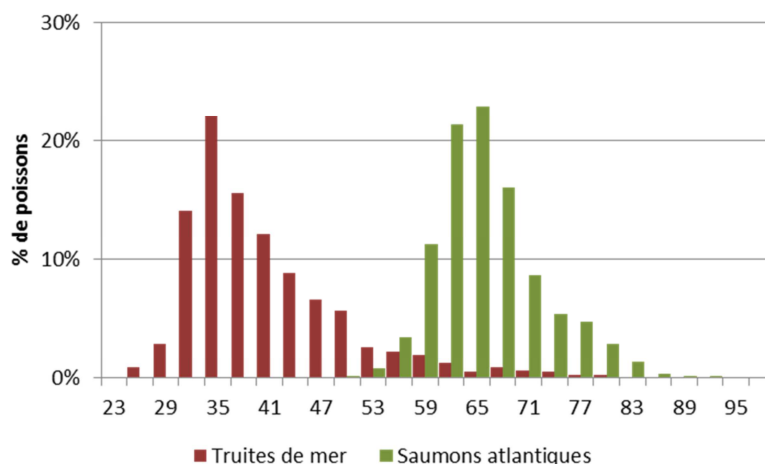


Figure 1 : Distribution des tailles centimétriques des saumons atlantiques (n= 4 106) et des truites de mer (n = 1 234) capturés au moulin de Cerisel (Ducey) sur la période 1997 à 2012 (données U3E-INRA)

La Sélune abrite également de nombreuses espèces résidentes avec des cyprinidés qui sont particulièrement bien représentés (gardons, brèmes, carpes communes...) ainsi que d'autres espèces telles que la perche, le sandre ou le brochet.

La Sélune est une rivière pilote. Des suivis de populations sont réalisés depuis 2013 pour la truite de mer, le saumon atlantique et l'anguille. Ces études viennent appuyer les suivis effectués depuis les années 1990 sur l'Oir, un affluent de la Sélune, où une station de piégeage gérée conjointement par l'INRA et l'ONEMA est installée.

2.2.1. Le site de suivi

2.2.1.1. Localisation

Afin de suivre les différentes populations de poissons diadromes, le site de suivi a été installé à 8,5 km en aval du barrage de La-Roche-Qui-Boit et 10 km en amont de la baie du Mont-Saint-Michel, au niveau de la ville de Ducey (Figure 2). Le site est situé en amont d'un seuil aménagé, transparent pour les poissons et qui permet de garantir une hauteur d'eau minimale afin que la caméra ne soit jamais émergée. De plus, lorsqu'un saumon rencontre un obstacle, il le repère avant de le franchir (Baril & Gueneau, 1986 ; Croze, 2008). Le passage du seuil nécessite une vitesse que l'individu conserve quelques temps après. Ceci assure donc une vitesse minimale lors du passage au niveau du site d'étude. A ce niveau, la largeur de la Sélune est d'environ 18 m pour moins de 2 m de profondeur.

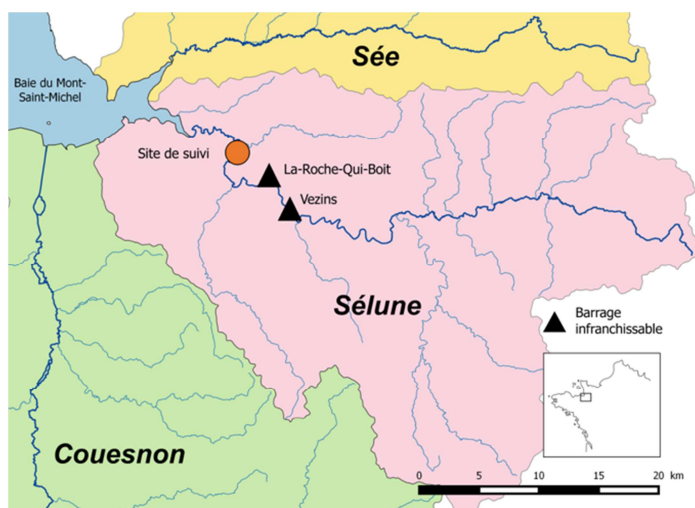


Figure 2 : localisation du site de suivi

2.2.1.2. Les appareils de suivi

Le site regroupe différents instruments de mesure (Tableau 1) : capteurs de température (1 mesure toutes les 10 minutes), de vitesse de courant (1 mesure par minute), de hauteur d'eau (1 mesure par minute), en plus des données enregistrées par le DIDSON (5 images par seconde).

Tableau 1 : Caractéristiques des outils installés sur le site de suivi

Outil	Modèle	Paramètre(s) mesuré(s)
Courantomètre couplé à un piézomètre	Hydreka mainstream IV	Vitesse de courant Hauteur d'eau
Capteur de température	Posensor	Température
Turbidimètre	Solitax ts-line	Turbidité
DIDSON	Sound Metrics	Données acoustiques

2.2.1.3. Le DIDSON, caméra acoustique

Le DIDSON est un sonar à haute fréquence (1 100 et 1 800 kHz) multifaisceaux, avec un système acoustique à lentille unique conçue pour concentrer le faisceau afin de créer des images haute résolution. Cette haute résolution permet de visualiser la morphologie et les comportements de nage des poissons, et ce même de nuit ou par forte turbidité. Les caméras acoustiques utilisent les mêmes principes de base qu'un sondeur (Lévenez *et al.*, 2006) : le DIDSON émet des ondes qui se propagent dans le milieu. Lorsque le milieu change, c'est-à-dire quand les ondes émises rencontrent un objet (poisson, fond...), une partie des ondes est réfléchiée, une partie est transmise au milieu environnant et une partie est absorbée par l'objet en question. Les caractéristiques acoustiques d'un objet définissent la réflexion, la transmission et l'absorption pour chaque type d'onde. Les ondes réfléchies vers le récepteur sont enregistrées. Connaissant la vitesse de l'onde et son temps de trajet, il est possible d'en déduire la distance de l'objet à la caméra.

Le DIDSON peut enregistrer en basse ou en haute fréquence, respectivement 1 100 et 1 800 kHz. La basse fréquence augmente la taille de la fenêtre d'enregistrement jusqu'à 40 mètres contre seulement 10 mètres pour la haute fréquence au détriment de la finesse de la résolution d'image. En effet, un pixel représente environ 4 cm en basse fréquence contre seulement 2 en haute fréquence. Sur le site de la Sélune, seule la haute fréquence est utilisée (Figure 3), afin de maximiser la résolution et ainsi affiner au mieux l'identification des espèces, la taille du poisson étant un facteur discriminant important.

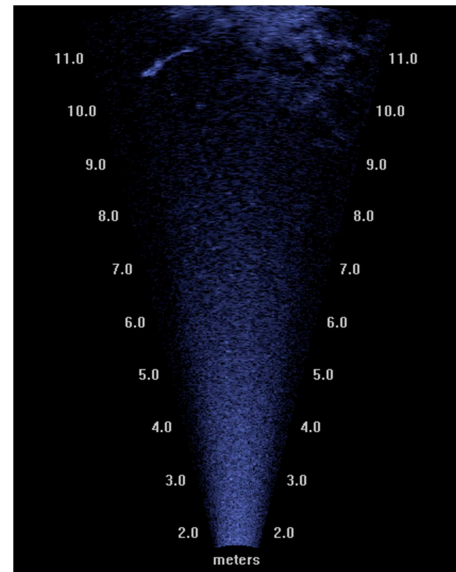


Figure 3 : image obtenue avec le DIDSON en mode haute fréquence

En haute fréquence, la caméra dispose de 96 faisceaux, ce qui permet de couvrir un volume important : ouverture de 29° horizontalement et 14° verticalement. Cependant, le DIDSON permet seulement une visualisation en deux dimensions de la rivière. Il n'est donc pas possible de connaître la position du poisson dans la lame d'eau.

2.3. Acquisition et traitement des données

2.3.1. Acquisition

Le DIDSON permet un échantillonnage continu (24h/24 et 7j/7), qui génère beaucoup d'informations mais également des données volumineuses (environ 200 Go par semaine). La caméra est installée depuis août 2013 et enregistre en continu depuis cette date. Le fleuve étant à cet endroit plus large que le champ de vision de la caméra, la stratégie d'échantillonnage alterne l'enregistrement entre 2 et 12 m et entre 7 et 17 m (Figure 4).

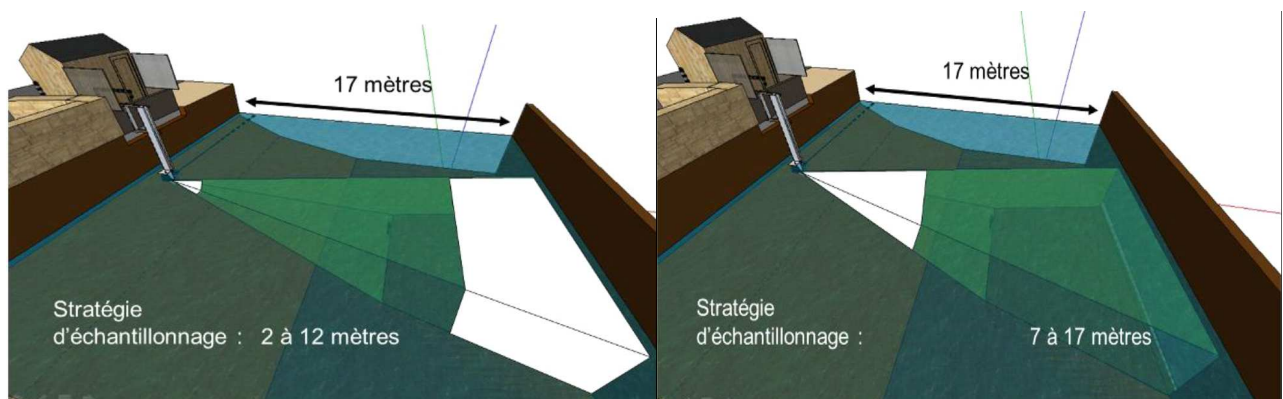


Figure 4 : Stratégie d'échantillonnage du DIDSON (Rapport ONEMA, Martignac et al., 2014)

2.3.2. Traitement des données du DIDSON

L'installation de la caméra acoustique DIDSON a pour objectif d'étudier les flux de toutes les espèces migratrices séjournant dans ce fleuve. Le saumon est la première de ces espèces à être étudiée car ses caractéristiques sont très spécifiques. Cela facilite donc son identification, dans un contexte de mise en place d'un protocole de suivi à long terme.

Les données issues du DIDSON peuvent être analysées par le logiciel Sound Metrics, le logiciel constructeur. Cette méthode requiert néanmoins de visualiser la totalité des vidéos, ce qui est très chronophage, notamment dans le cadre d'un suivi à long terme. Pour limiter les temps d'analyse, un logiciel de pistage semi-automatique est utilisé : Sonar5-Pro. Ce logiciel, spécifique au traitement des données acoustiques, lit automatiquement les enregistrements, détecte chaque passage d'un objet dans le faisceau de détection et en extrait un lot d'informations. En effet, pour chaque détection, un certain nombre de descripteurs, appelés « paramètres », sont estimées (taille, vitesse, position...), dont 22 sont exportés (Annexe 1). Ces paramètres permettent d'identifier ce qui est passé devant la caméra, la « cible ». En effet, chaque espèce présente des caractéristiques propres, qui peuvent être décrites par les paramètres. L'objectif est donc d'identifier le maximum de saumons en limitant la visualisation de passages d'autres cibles, à l'aide des paramètres décrivant les cibles.

2.3.2.1. Identification des passages des cibles

Le logiciel Sonar5-Pro détecte toutes les cibles, y compris les plus petites telles que des débris dérivants. Les objets trop petits ne présentent pas d'intérêt pour l'étude et les garder augmenterait considérablement le nombre de détections. Un premier filtre a donc été mis en place afin d'éliminer les objets très petits (< 33 cm) ou dont le nombre de détections est trop limité pour que le passage soit exploitable (< 3 images consécutives). Les cibles ne répondant pas à ces critères sont définitivement éliminées. Ce sont les « filtres de pistage ». Les cibles répondant favorablement aux critères sont enregistrées, décrites et traitées, toujours par Sonar5-Pro, via des filtres spécifiquement adaptés au comportement et à la morphologie du saumon.

2.3.2.2. Filtre spécifique au saumon

Le saumon adulte présente des spécificités qui le différencient des autres espèces fréquentant la Sélune sur le tronçon étudié. Il est plus grand et nage plus rapidement, sa nage étant de surcroît orientée de l'aval vers l'amont. Ces caractéristiques sont alors utilisées en fixant des seuils sur les paramètres (Tableau 2). La taille est décrite par le paramètre *Fish Length*, la vitesse par *Mean Echo Speed* et la trajectoire du passage par *Vx First Last*.

Tableau 2 : caractéristiques du saumon adulte en montaison appliquées en tant que filtre sur les paramètres

Paramètre	Caractéristique du saumon adulte
Taille	≥ 50 cm
Vitesse	≥ 0,4 m.s ⁻¹
Trajectoire	Rectiligne de l'aval vers l'amont

Fixer des seuils sur ces paramètres permet de mettre en place un « filtre saumon », spécifique à cette espèce. Les cibles supprimées par ce filtre sont conservées pour les études concernant d'autres migrateurs mais ne sont pas utiles ici.

2.3.2.3. Limites du logiciel Sonar5-Pro

2.3.2.3.1. *Mauvaise estimation de la taille*

L'analyse de l'efficacité de l'outil de détection de Sonar5 a mis en évidence que la taille des individus a tendance à être sous-estimée par le logiciel lorsque l'angle de passage est trop important (plus de 105° ou moins de 75°) (Martignac, 2016). Pour pallier à cette défaillance, un filtre additionnel est appliqué pour récupérer les individus présentant ce genre de trajectoire et une longueur comprise entre 35 et 50 cm.

2.3.2.3.2. *Détections multiples*

Pour une même cible, les cibles sont fréquemment détectées et décrites plusieurs fois par le logiciel (Martignac *et al.*, submitted). Afin d'éviter de multiplier les visualisations d'un même passage, un filtre a été développé pour supprimer les lignes présentant des cibles au même endroit au même moment. Cette action est nommée « filtre des détections multiples ».

2.3.3. Validation des cibles sélectionnées

Après traitement des enregistrements par les différents filtres, il en ressort une liste de cibles présentant des caractéristiques spécifiques au saumon. Cependant, cet inventaire ne contient pas exclusivement des saumons car d'autres poissons peuvent présenter des caractéristiques similaires et le logiciel peut mal évaluer certains paramètres, les proxys proposés ne sont alors pas conformes à la réalité. Chacune des cibles est donc vérifiée par un opérateur.

Si le comportement est conforme au comportement attendu d'un saumon adulte, la cible est validée comme étant un saumon et 5 mesures de sa longueur sont réalisées. En effet, la précision de la mesure des poissons est maximisée en répétant les mesures du même individu sur des images différentes (précision de 2,7 cm pour 5 mesures) (Daroux *et al.*, submitted).

Si le comportement de la cible diffère de celui d'un saumon, l'opérateur la classe comme « erreur ». Les silures, brochets, sandres et carpes vont par exemple présenter un comportement de recherche trophique, contrairement au saumon adulte. La nage peut également être un moyen de différenciation, avec une ondulation caractéristique des anguilles et lamproies marines. D'autres cibles peuvent présenter un comportement de reproduction, comme c'est parfois le cas des aloses. La trajectoire peut également différer, avec des déplacements d'amont à aval ou plus erratiques que celles du saumon en montaison. Lorsque la cible est classée comme erreur, l'opérateur précise le type d'erreur selon différentes catégories (Annexe 2). Un commentaire libre supplémentaire peut également être ajouté pour apporter certaines précisions.

2.3.4. Schéma récapitulatif du protocole

L'ensemble de la procédure est résumé en figure 5. Ce schéma permet de visualiser la succession des filtres : tout d'abord le « filtre de pistage », général puis le « filtre saumon », spécifique et enfin les filtres corrigeant les erreurs, le « filtre de détections multiples » et les corrections de taille.

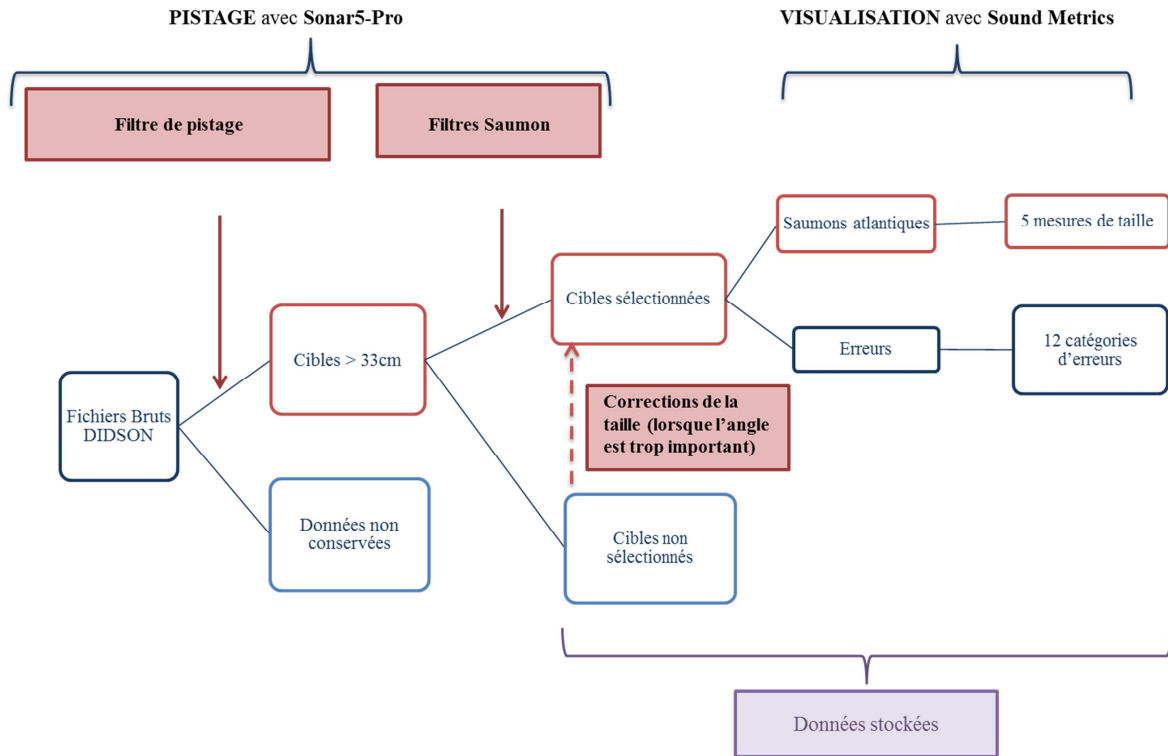


Figure 5 : Schéma récapitulatif de la procédure de traitement des données du DIDSON

Ce protocole est utilisé depuis la mise en place du DIDSON en août 2013. Cette étude vise à évaluer son efficacité, en identifier les limites et à l'améliorer.

2.4. Amélioration du système de traitement

2.4.1. La base de données

La base de données recense toutes les informations issues du protocole depuis la mise en place de l'étude. Elle couvre ainsi la totalité de la période d'août 2013 à octobre 2015. Chaque cible, considérée comme saumon potentiel par Sonar5-Pro, va constituer une ligne qui a été validée visuellement par un opérateur. Chacune des lignes liste les 22 paramètres exportés décrivant le passage de la cible, mais également les informations apportées par l'opérateur.

Certaines cibles sélectionnées par les filtres spécifiques aux saumons sont validées par l'opérateur comme étant des saumons atlantiques : ces cibles constitueront les « **vrais positifs** ». Les cibles sélectionnées n'étant pas des saumons sont donc les « **faux positifs** ». Par ailleurs, les cibles n'étant pas sélectionnées par le logiciel se divisent en deux catégories : les « **vrais négatifs** », n'étant pas des saumons et n'ayant été à juste titre pas

sélectionnés et les « **faux négatifs** », saumons non sélectionnés par la méthode mise en place.

La base de données mai 2013 – octobre 2015 permet ainsi de ne disposer que des informations concernant les **vrais positifs** et les **faux positifs**, les cibles non sélectionnées n'ayant pas été validées visuellement une à une.

2.4.2. Minimisation du nombre des faux positifs

La visualisation manuelle des passages est chronophage. Un moyen de réduire le temps de traitement est de diminuer le nombre de faux positifs. Cela ne doit cependant pas entraîner une diminution du nombre de vrais positifs. Il est donc envisageable d'ajouter de nouveaux filtres pour supprimer des individus. Ceux-ci devront être choisis judicieusement afin de ne retirer que des faux positifs.

2.4.2.1. Description des faux positifs

Pour mettre en place des filtres, il est important de connaître les caractéristiques des faux positifs qui doivent être éliminés. Au lieu d'analyser l'ensemble des faux positifs, les erreurs (Annexe 2) sont examinées. Les erreurs majoritaires sont alors extraites et décrites, ce qui permet une définition de la plupart des faux positifs. Il est ensuite possible de comparer les caractéristiques des vrais positifs et des faux positifs afin de déterminer quels paramètres peuvent permettre de les distinguer.

La mise en place de filtres sur des paramètres corrélés crée des redondances dans les filtres. De plus, ces corrélations nuisent à la pertinence des tests statistiques. Les paramètres ayant une corrélation supérieure à 80% (Vergnault, 2013) sont donc éliminés.

Une ACP (Analyse en Composante Principale) est construite avec les principales catégories d'erreurs et les saumons comme groupes. Les paramètres utilisés ne sont pas corrélés. Ceci permet de voir s'il existe des différences statistiques entre vrais et faux positifs. De plus, l'analyse des axes permet l'identification des paramètres qui interviennent dans cette différenciation.

Les paramètres ainsi sélectionnés sont le support de nouveaux filtres, à l'image du « filtre saumon », afin de distinguer plus précisément les vrais des faux positifs.

2.4.2.2. Définition des nouveaux filtres

Les filtres sont un ensemble de seuils, minimaux ou maximaux, basés sur les paramètres sélectionnés comme discriminants. Le choix des seuils doit être fonction du nombre de saumons perdus lors de l'ajout de ces nouveaux filtres. Le choix des seuils est basé sur la visualisation des boxplots présentant les valeurs du paramètre en deux groupes, vrais et faux positifs.

2.4.2.3. Mise en place de tests pour vérifier l'efficacité des nouveaux filtres

Les nouveaux filtres ainsi basés sur ces paramètres visent à éliminer une partie des erreurs majoritaires et donc de réduire significativement le nombre de vrais positifs. Afin d'estimer l'efficacité et la sélectivité des nouveaux filtres, deux indicateurs sont définis :

$$(Equation\ 1)\quad Efficacité = \frac{\text{nombre de vrais positifs après ajout du filtre}}{\text{nombre de vrais positifs avant ajout du filtre}}$$

$$(Equation\ 2)\quad Tolérance = \frac{\text{nombre de faux positifs après ajout du filtre}}{\text{nombre de faux positifs avant ajout du filtre}}$$

L'efficacité doit tendre vers 1 : aucun vrai positif n'est éliminé par l'ajout du nouveau filtre. La tolérance doit, elle, tendre vers 0 : tous les faux positifs sont éliminés par l'ajout du nouveau filtre.

Cependant, l'étude de ce ratio n'est pas suffisante. Elle doit être complétée par le nombre d'individus éliminés. En effet, le nombre de saumons est bien inférieur au nombre des autres cibles. Un faible taux de faux positifs éliminés correspond à un nombre important d'individus, ce qui n'est pas le cas pour les vrais positifs.

2.4.3. Identification et conversion des faux négatifs

Les nouveaux filtres permettent de réduire le nombre de faux positifs mais l'efficacité globale du protocole doit prendre en compte les éventuels faux négatifs. En effet, s'ils ne nuisent pas au traitement des données, leur absence dans le comptage des remontées peut biaiser l'étude de la dynamique migratoire. Les informations concernant les faux négatifs ne sont pas disponibles dans la base de données, car cela nécessite une visualisation intégrale des données. Cette étape est chronophage et n'est pas incluse dans le protocole actuel.

Afin d'identifier et quantifier les faux négatifs, il est impératif de créer une nouvelle base de donnée qui contiendra ces informations. Le seul moyen de trouver les individus supprimés par le logiciel est de ne pas l'utiliser et de visualiser manuellement la totalité des enregistrements ou sur des périodes considérées comme représentatives. Le résultat du comptage est alors comparé aux résultats issus de la méthodologie semi-automatique, ce qui permet de déterminer le nombre de vrais positifs, faux positifs, vrais négatifs et faux négatifs (Tableau 3).

Tableau 3 : Récapitulatif des nominations des catégories

	Considéré comme saumon potentiel par le pistage	Considéré comme non-saumon par le pistage
Saumon atlantique	Vrai positif	Faux négatif
Autre espèce / objet	Faux positif	Vrai négatif

En plus de déterminer l'efficacité du pistage du logiciel, cette procédure permet de définir de nouveaux filtres dans le but de convertir les **faux négatifs** en **vrais positifs**. Il sera effectivement possible de déterminer sur quels critères ces saumons ont été éliminés et ainsi d'éventuellement élargir les seuils des filtres initiaux pour les récupérer.

Cette procédure étant chronophage, il est important de bien cibler les périodes durant lesquelles il est pertinent de réaliser les visualisations. Tout d'abord, chaque période d'observation est une journée complète (24h continues) afin d'éviter les effets jour/nuit. Trois jours ont enfin été sélectionnés pour l'expérience, dans 3 situations hydrologiquement et biologiquement différentes, mais représentatives de la variabilité des conditions environnementales (Tableau 4).

Tableau 4 : Caractéristiques des 3 jours de visualisation

Date	Caractéristiques	Nombre de vrais positifs	Vitesse de courant moyenne journalière (cm.s⁻¹)
07/11/14	Beaucoup de saumons atlantiques détectés, conditions hydrologiques stables	15	8,70
20/07/14	Beaucoup de saumons atlantiques détectés, conditions hydrologiques de crue d'intensité moyenne à faible	11	10,69
26/06/14	Peu de saumons atlantiques détectés, forte activité biologique autre, conditions hydrologiques stables	3	5,47

Pour affiner l'analyse, de nouveaux paramètres descripteurs sont exportés des pistages automatiques de Sonar5-Pro pour ce même jeu de données. Une partie des paramètres proposés par le logiciel, compatible avec l'utilisation qui est faite du DIDSON, est ainsi exportée. Ces paramètres sont ensuite analysés et testés de la même manière que ceux exportés initialement. Cet ajout de nouveaux filtres doit permettre de maximiser davantage l'efficacité de la méthodologie, avec des descripteurs permettant une meilleure différenciation des saumons et des autres cibles.

L'identification des faux négatifs permet d'envisager d'élargir les filtres existant dans le protocole actuel afin de les convertir en vrais négatifs. L'élargissement de certains seuils permet de convertir des faux négatifs en vrais positifs. Cela entraîne également des conversions des vrais négatifs en faux positifs. Afin de limiter l'augmentation de positifs à vérifier, il est possible d'ajouter des filtres créés pour réduire le nombre de faux positifs. L'objectif est d'augmenter le nombre de vrais positifs sans augmenter celui des faux positifs.

2.4.4. Mise en place d'un schéma global

Plusieurs scénarios peuvent donc être envisagés pour améliorer le protocole semi-automatique :

- Scénario 1 (orange) : il est possible de simplement utiliser les filtres actuellement exportés afin de réduire le nombre de faux positifs.
- Scénario 2 (jaune) : une piste d'amélioration de la méthode peut-être l'utilisation de nouveaux paramètres.
- Scénario 3 (violet) : il est également envisageable, en fonction des résultats des 3 journées de visualisation, d'élargir les filtres afin de réintégrer les éventuels faux négatifs.
- Scénario 4 (bleu clair) : il est possible d'ajouter au scénario 3 les filtres décrits dans le scénario 1, basés les paramètres initialement exportés
- Scénario 5 (bleu foncé) : au scénario 4 il est également possible d'ajouter des filtres présentés dans le scénario 2 et basés sur les paramètres nouvellement exportés.

La totalité de ces scénarios est schématisée sur la figure 6.

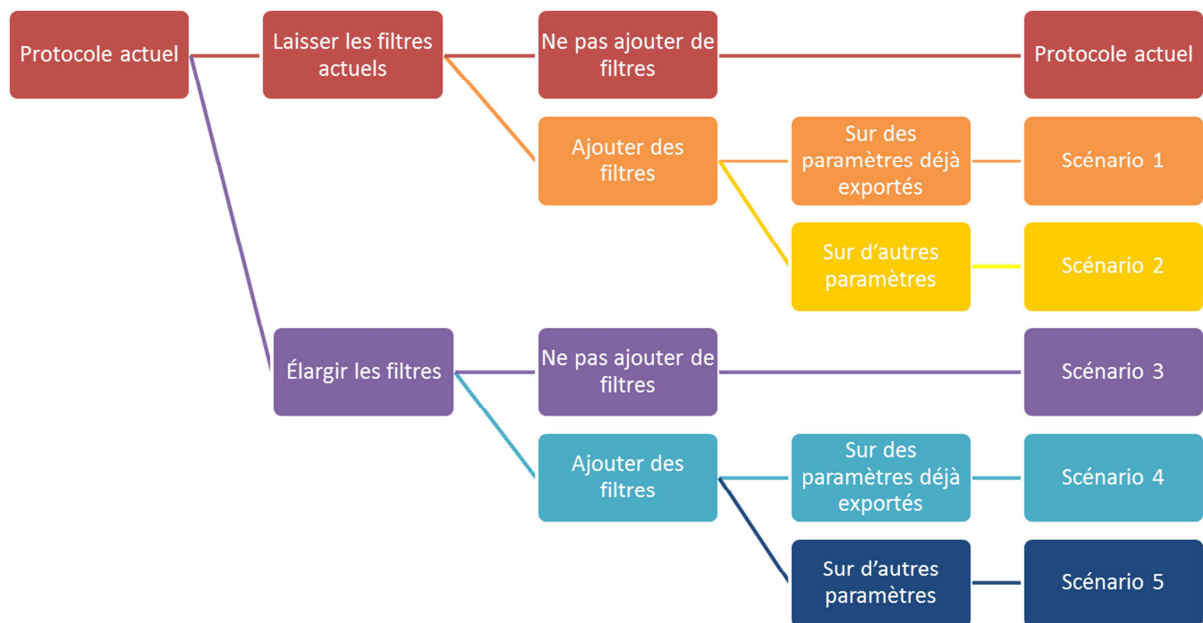


Figure 6 : Schématisation des différents scénarios possible pour l'amélioration du protocole de pistage semi-automatique

2.4.5. Jeu de donnée test

Les scénarios ne peuvent pas tous être testés sur la totalité de la base de données car tous les paramètres ne sont pas exportés et qu'aucune information n'est disponible concernant les négatifs. Afin de tester les différents scénarios sur une durée supérieure aux 3 jours de visualisation, un nouveau jeu de donnée est créé, d'une durée de 3 semaines. Ces semaines sont centrées autour des 3 jours. La semaine centrée autour du 7 novembre 2014 commence ainsi le 4 et se finit le 10 du même mois. La délimitation des 2 autres semaines s'effectue de la même manière. Une semaine s'étend du 17 au 23 juillet 2014 et l'autre du 23 au 29 juin 2014.

Pour ce jeu de données, le pistage automatique est réalisé en exportant les mêmes paramètres que lors des 3 jours de visualisation. En revanche, aucune visualisation supplémentaire n'est réalisée car c'est un processus trop chronophage. Les seules informations disponibles sont donc le nombre de vrais et de faux positifs, ainsi que le nombre total de négatifs. Il n'y a aucune distinction entre vrais et faux négatifs.

Les différents scénarios sont ainsi appliqués sur cette nouvelle base de données afin de confirmer -ou non- les résultats précédents.

2.5. Etude de la dynamique migratoire

L'étude du flux migratoire cherche à déterminer si un ou plusieurs paramètres environnementaux entre(nt) en jeu dans la dynamique de migration du saumon et de quelle manière. De nombreuses études utilisent l'échelle de la journée (Erkinaro *et al.*, 1999, Solomon, 1978, Jensen *et al.*, 1986) ce qui permet d'avoir une vision assez large des paramètres qui déclenchent ou inhibent la migration des saumons. De plus, les outils utilisés (station de piégeage par exemple) ne permettent généralement pas de descendre à une échelle plus fine. Cette échelle est également souvent adoptée pour des raisons pratiques de pas de temps des données.

Cependant, les propriétés des caméras acoustiques permettent de disposer de données enregistrées à une échelle temporelle très fine. Afin d'exploiter au mieux cette opportunité et de décrire à une échelle plus précise les évolutions du flux migratoire, les migrations de saumons sont également étudiées à un pas de temps horaire.

2.5.1. Jeu de données

Les données environnementales disponibles sont celles issues des instruments présents sur le site (Tableau 1), y compris celles du DIDSON, préalablement analysées à l'aide la méthodologie initiale. Le jeu de données se limite à la période de présence du turbidimètre, du 31 juillet au 13 novembre 2015 inclus, soit 115 jours. Aux facteurs environnementaux enregistrés, est ajoutée, pour l'étude à l'échelle de l'heure, la phase de la marée, exprimée en nombre d'heures depuis l'étal de pleine mer.

Pour chacun des facteurs environnementaux, plusieurs variables seront étudiées :

- Moyenne : à l'échelle de temps considérée
- Moyennes des jours ou heures précédents (de j-1 à j-2 et de h-1 à h-6)
- Variabilité : différence entre la moyenne au temps t et celle au temps t-1
- Amplitude (uniquement pour la turbidité) : différence entre le maximum et le minimum sur le pas de temps

2.5.2. Statistiques

Une première étape consiste à étudier la corrélation entre les différents paramètres explicatifs sélectionnés. Lorsque la corrélation entre deux paramètres (selon la méthode de Pearson) est supérieure à 80% un seul des deux paramètres explicatifs est utilisé pour analyser les flux migratoires.

Un delta GLM (*Generalized Linear Models*) est utilisé pour ajuster le modèle malgré le nombre important de zéros. Dans un premier temps, les données sont traitées en termes de présence/absence, ce qui permet d'isoler les facteurs influençant sur la présence ou non de remontées de saumons. Dans un second temps, les facteurs étudiés sont ceux qui, une fois que les migrations ont démarrées, influent sur le nombre de saumons qui remontent (données strictement positives). Le modèle de présence/absence suit une loi binomiale. Le modèle de données strictement positives est un modèle de loi Gamma. Tous les facteurs sont testés. Le meilleur modèle est choisi en faisant un compromis entre la vraisemblance et le nombre de paramètres via le critère d'Akaike (Akaike, 1974). Les hypothèses du modèle

(normalité des résidus, homoscedasticité) sont testées graphiquement pour chaque modèle et aucune violation majeure n'est observée quel que soit le modèle.

3. Résultats

3.1. Présentation des différents jeux de données

3.1.1. Base de données globale

La base de données, d'août 2013 à octobre 2015, recense 62 644 cibles au total dont 1169 vrais positifs et 61 475 faux positifs. Aucune information n'est cependant disponible concernant les vrais et les faux négatifs. Pour chaque cible, 22 paramètres sont exportés par le logiciel Sonar5-Pro décrivant l'individu par sa taille, sa vitesse, sa trajectoire et certaines autres caractéristiques (Annexe 1).

Entre août 2013 et mai 2015, les faux positifs ont été classés en différentes catégories d'erreur (Annexe 2). Durant cette période, 32 177 cibles ont été sélectionnées, dont 917 sont des vrais positifs. Les 31 260 lignes restantes sont des faux positifs.

De mai à octobre 2015, 30 467 cibles, dont 252 vrais positifs, sont recensées. Sur cette période, les erreurs n'ont pas été catégorisées.

3.1.2. Base de données issue des 3 jours de visualisation

Toutes les analyses ne pouvant être réalisées sur la base de données globale, un nouveau jeu de données a été créé à partir de 3 jours de visualisation exhaustive. Lors du pistage des 3 jours de visualisation par Sonar5-Pro, 90 paramètres ont été exportés. Parmi ceux-ci, 22 se sont révélés être constants donc inutilisables, 46 seront donc utilisés pour améliorer ou créer des filtres. Au total, 41 063 passages ont été enregistrés (Tableau 5). En comparant ces résultats avec ceux de la base de données, les faux négatifs, les vrais négatifs, les vrais positifs et les faux positifs ont été dénombrés (Tableau 5). Seulement 55% du total des saumons sont sélectionnés par la méthodologie semi-automatique, ce pourcentage varie de 48 à 75% selon les journées.

Tableau 5 : Résumé des 3 jours de visualisation

Jour	Vrais positifs	Faux négatifs	Faux positifs	Vrais négatifs	Total par jour
07/11/14	15 (0,27%)	16 (0,29%)	59 (1,06%)	5 490 (98,39%)	5 580
20/07/14	11 (0,35%)	7 (0,22%)	376 (11,97%)	2 747 (87,46%)	3 141
26/06/14	3 (0,01%)	1 (0,00%)	1 029 (3,18%)	31 309 (96,81%)	32 342
Total	29 (0,08%)	24 (0,06%)	1464 (4,11%)	39 546 (95,75%)	41 063

3.1.3. Base de données issue des 3 semaines tests

Les semaines tests servent à valider les scénarios sur une base de données plus importante que les 3 jours de visualisation. La période a été traitée selon le protocole de pistage semi-automatique en exportant 90 paramètres mais sans visualisation exhaustive. Il n'y a donc pas de distinction entre les vrais et les faux négatifs. Le nombre de vrais positifs, de faux positifs et de négatifs non différenciés est donc disponible (Tableau 6). Sur les 3 semaines, sont ainsi dénombrés 114 vrais positifs, 6 254 faux positifs et 344 076 négatifs.

Tableau 6 : Résultats des 3 semaines tests

Période	Vrais positifs	Faux positifs	Négatifs non différenciés	Total par semaine
Du 04/11/14 au 10/11/14	34	197	31 989	32 220
Du 17/07/14 au 23/07/14	62	1 080	85 547	86 689
Du 23/06/14 au 29/06/14	18	4 977	226 540	231 535
Total	114	6 254	344 076	350 444

3.2. Minimisation du nombre de faux positifs

3.2.1. Seuils basés sur les paramètres exportés dans le protocole initial

3.2.1.1. Identification des erreurs principales

La base de données globale renseigne les catégories d'erreurs auxquelles appartiennent les faux positifs. Les erreurs les plus rencontrées représentent entre 6,6 et 18,6% de l'ensemble des cibles sélectionnées (Tableau 7). Seuls 2,8% des positifs sont des saumons.

Tableau 7 : Pourcentage des différents positifs

	Intitulé	Description	% des cibles (nombre d'individus)
Vrais positifs	SAT	Saumon atlantique	2,8 % (1 044)
	1	Objet dérivant	24,0 % (9 050)
	2	Ombres	15,6 % (5 880)
	7	Autre espèce	14,4 % (5 432)
Faux positifs	8	Banc de poisson qui stabule	13,9% (5 237)
	9	Banc de poisson qui traverse	12,4 % (4 656)
	11	Parasites dus à un problème technique	4,6 % (1 736)
		Autres erreurs	12,1% (4 616)

3.2.1.2. Suppression des paramètres corrélés

La présence de corrélations entre les paramètres peut apporter un biais dans l'ACP. De plus, instaurer des filtres sur des paramètres corrélés crée de nombreux seuils redondants. L'étude du corrélogramme, selon la méthode de Pearson, permet donc de définir les paramètres corrélés, pour ensuite pouvoir ne garder que des variables indépendantes. Les paramètres ayant une corrélation inférieure à 80% sont considérés comme indépendants.

3.2.1.3. Définition des nouveaux filtres

Les caractéristiques des cibles correspondant à ces erreurs majoritaires ont servi à la construction des ACP. Les paramètres utilisés pour l'analyse ne sont pas corrélés. L'ACP (Figure 7) est basée sur les catégories présentées Tableau 7. Les deux premières dimensions de l'ACP permettent de capturer près de 30% de la variabilité. Les ellipses de confiance à 95% des erreurs ne présentent aucun chevauchement avec celle des saumons.

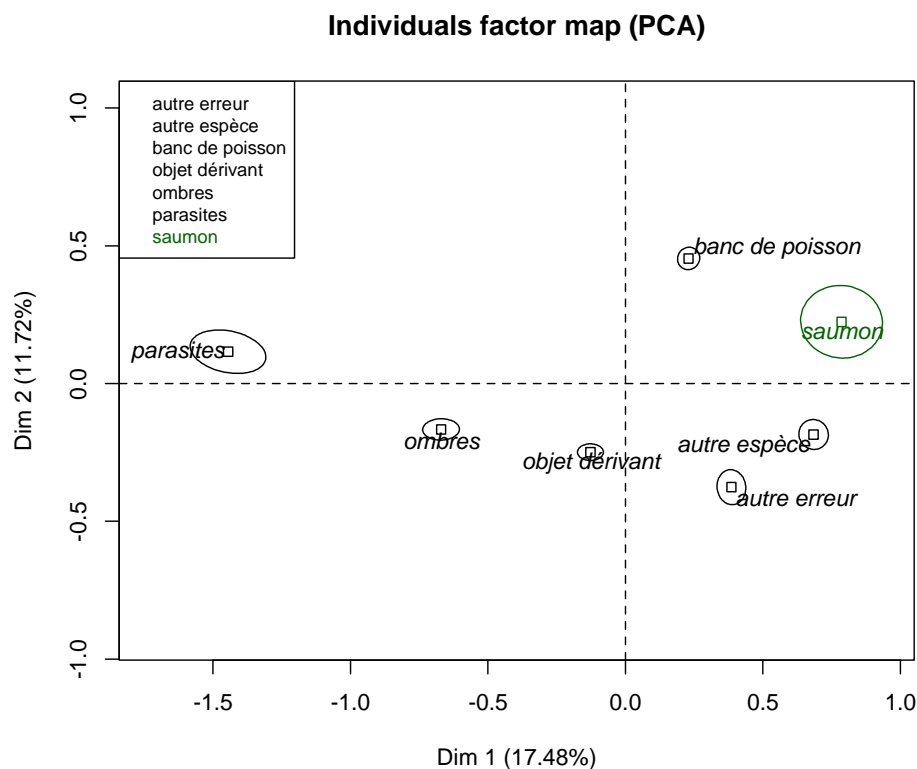


Figure 7 : ACP des différents types d'erreur et des saumons avec barycentres et ellipses de confiance à 95%

Les dimensions 1 et 2 permettent de distinguer les vrais positifs des faux positifs. Les filtres sont donc basés sur les paramètres qui composent ces axes. Ces paramètres sont la **vitesse**, la **distance à la caméra** et la **taille de l'individu** (exprimée en longueur ou en surface). La distance à la caméra n'ayant pas de réalité biologique, il ne reste finalement que

deux paramètres utilisés pour la mise en place des filtres : **Mean Echo Speed**, qui estime la vitesse et **Mean Area 6dB**, un proxy de la taille (Annexe 3).

3.2.1.4. Choix des valeurs des seuils

Le choix des valeurs des seuils pour les paramètres *Mean Area 6dB* et *Mean Echo Speed* s'appuie sur leurs boxplots respectives (Figure 8).

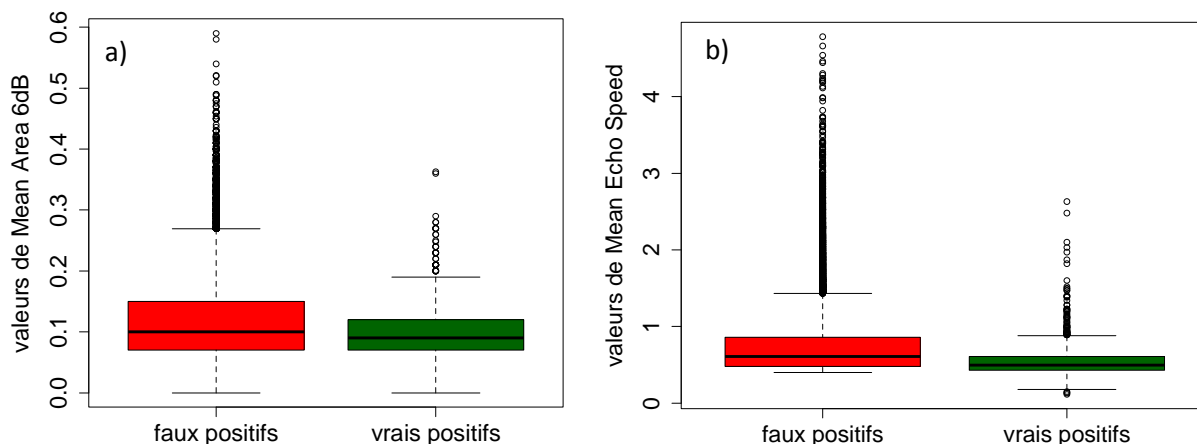


Figure 8 : distribution des valeurs des paramètres a) la taille (*Mean Area 6dB*) b) la vitesse (*Mean Echo Speed*) des individus, selon qu'ils sont des vrais positifs (en vert) ou des faux positifs (en rouge)

L'ANOVA (ANalysis Of Variance), confirme que les catégories 'vrais positifs' et 'faux positifs' sont significativement différentes l'une de l'autre, quel que soit le paramètre étudié (p -value < 0,05). Pour réduire le nombre de faux positifs sans perdre de vrais positifs, la seule possibilité est d'éliminer les queues de distribution des faux positifs (Figure 7). Les seuils peuvent être suffisamment élevés pour ne supprimer aucun saumon (seuils maximum) ou plus restreint (seuils minimum) (Tableau 8). Les seuils minimums permettent de supprimer davantage de faux positifs que les seuils maximums mais en entraînant la perte de d'au maximum 5% de vrais positifs.

Tableau 8 : Seuils minimum et maximum des 2 paramètres

	Seuil minimum	Seuil maximum
Mean Echo Speed (m.s⁻¹)	1	3
Mean Area 6dB (m²)	0,2	0,4

3.2.1.5. Test des filtres

Les filtres, ainsi définis sur *Mean Echo Speed* et *Mean Area 6dB* sont alors testés en les ajoutant aux filtres du protocole actuel (filtre saumon, Figure 4). Les évolutions de l'efficacité (vrais positifs/total saumons, Equation 1) et de la tolérance du filtre (faux positifs/total non-saumon, Equation 2) pour les paramètres *Mean Area 6dB* et *Mean Echo Speed* (Figure 9) sont estimées. L'efficacité du filtre doit tendre vers 1 : tous les saumons passants devant le faisceau sont pris en compte par le filtre ; la tolérance doit tendre vers 0 : aucun des non-saumons n'est sélectionné. Ce test permet, pour un taux de perte de vrais positifs fixé, d'estimer une valeur de seuil et le taux de sélection des faux positifs correspondant.

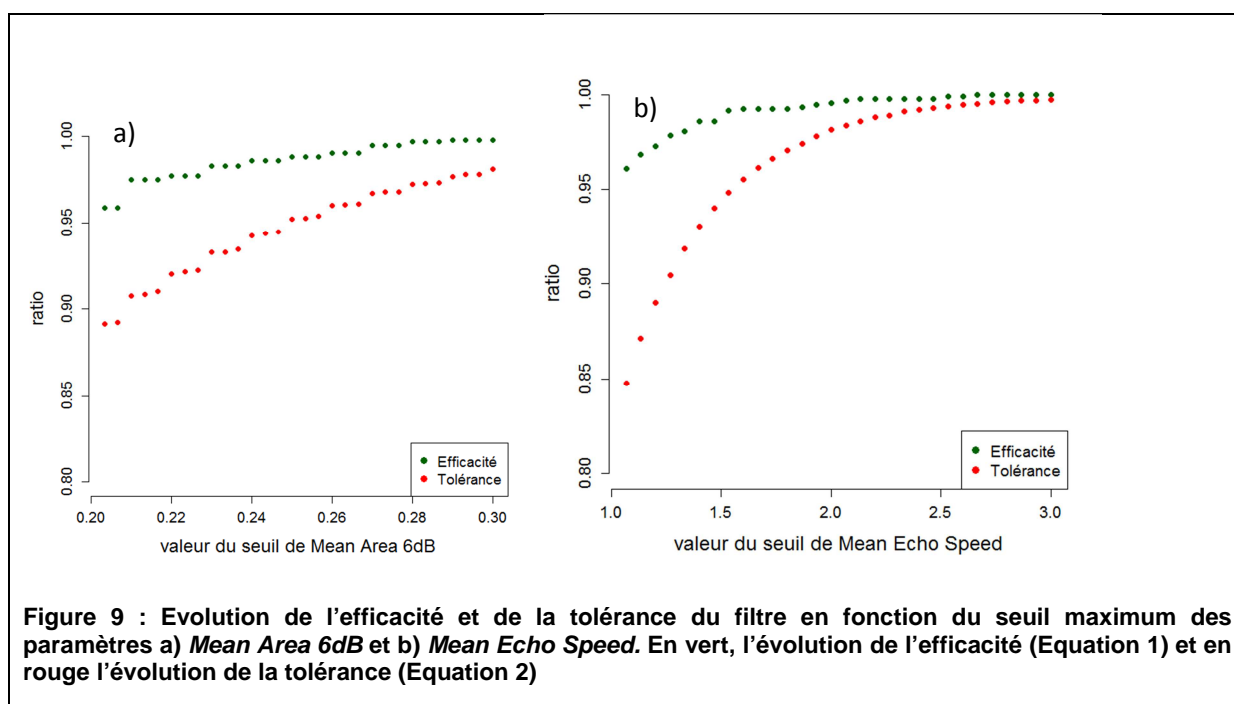


Figure 9 : Evolution de l'efficacité et de la tolérance du filtre en fonction du seuil maximum des paramètres a) *Mean Area 6dB* et b) *Mean Echo Speed*. En vert, l'évolution de l'efficacité (Equation 1) et en rouge l'évolution de la tolérance (Equation 2)

L'augmentation des seuils de *Mean Area 6dB* et de *Mean Echo Speed* a pour conséquence une augmentation de l'efficacité du filtre, mais également une augmentation de sa tolérance. Le choix final de la valeur est donc un compromis entre le nombre de faux positifs éliminés et le nombre de vrais positifs supprimés. Le compromis proposé est une valeur de 0,3 pour *Mean Area 6dB* et 1,5 pour *Mean Echo Speed* (Tableau 9). Ainsi, le cumul des deux permet de ne pas avoir de perte de vrais positifs supérieure à 5%.

Tableau 9 : Résultats des compromis pour les filtres de Mean Area 6dB et Mean Echo Speed

Paramètre	Valeur du seuil	Vrais positifs éliminés	Faux positifs éliminés
<i>Mean Area 6dB</i>	0,3	3 (0,25%)	1 056 (1,70%)
<i>Mean Echo Speed</i>	1,5	13 (1,1%)	5 976 (9,6%)
Cumul des deux paramètres		16 (1,4%)	6 897 (11,1%)

L'application simultanée des filtres de *Mean Area 6dB* et de *Mean Echo Speed* constitue le **scénario 1**.

3.2.2. Filtres sur les paramètres nouvellement exportés

3.2.2.1. Choix des nouveaux paramètres supportant les filtres

Si *Mean Area 6dB* et *Mean Echo Speed* permettent d'éliminer une certaine quantité de faux positifs, il est également possible de considérer les paramètres jusqu'alors non exportés. Pour les tests, 46 nouveaux paramètres sont disponibles. Comme précédemment, les paramètres qui sont corrélés deux à deux sont éliminés. La construction d'une ACP (Figure 10) a permis de définir quelques paramètres significatifs pour distinguer les saumons des autres cibles. Dans l'espace formé par les deux premières dimensions, capturant près de 30% de la variabilité, les ellipses de confiance à 95% ne se recoupent pas. De ces analyses ressortent 4 paramètres : la distance parcourue (*Dist First Last X*), la forme du poisson (*Echo std 6dB*), son angle par rapport à la caméra (*Aspect Angle*) ainsi que sa trajectoire (*Smoothness1*) (Annexe 3).

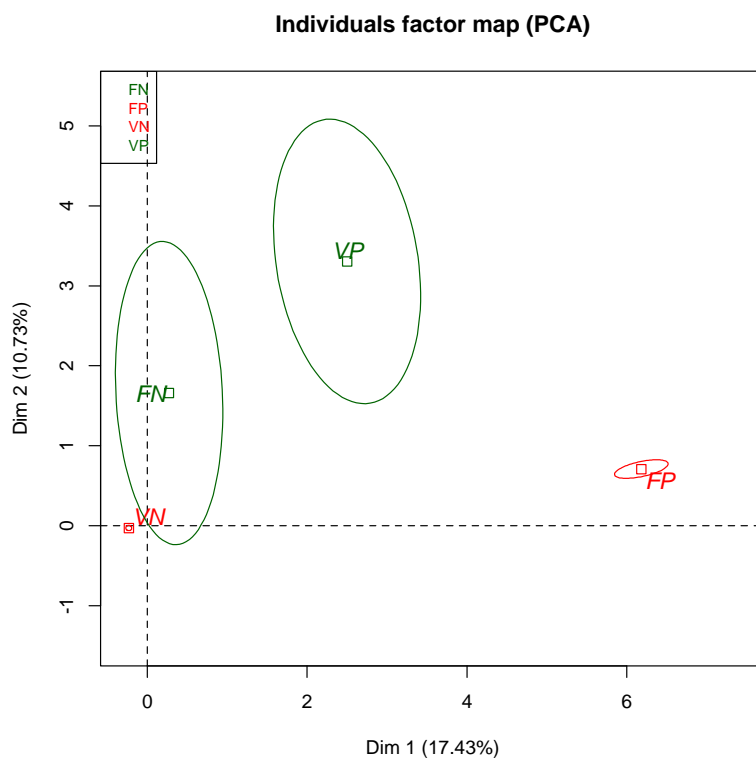


Figure 10 : ACP prenant en compte l'ensemble des paramètres pour distinguer les 4 catégories de cibles. En vert, les positifs (vrais et faux) et en rouge les négatifs (vrais et faux).

3.2.2.2. Choix des valeurs de seuils

Aux premiers filtres appliqués lors du scénario 1 (filtres basés sur *Mean Area 6dB* et *Mean Echo Speed*) sont appliqués des filtres supplémentaires basés sur les paramètres

choisis parmi les paramètres nouvellement exportés. Le Tableau 10 récapitule l'ensemble des seuils ainsi que les différentes valeurs qu'ils prennent. La « valeur utilisée » est le compromis choisi pour chacun des seuils. L'application simultanée de tous ces filtres, *Mean Area 6dB* et *Mean Echo Speed* compris, forme le **scénario 2**.

Tableau 10: Récapitulatif des seuils testés et de leurs caractéristiques

	Paramètre	Seuil de maximum ou de minimum	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur utilisée
Paramètres déjà exportés	<i>Mean Area 6dB</i>	Maximum	0,2	0,4	0,3
	<i>Mean Echo Speed</i>	Maximum	1	4	1,5
Paramètres nouvellement exportés	<i>Echo std 6dB</i>	Maximum	3,5	5,5	4
	<i>Dist First Last X</i>	Maximum	0	0,5	0
	<i>Aspect Angle</i>	Minimum	75	60	60
	<i>Smoothness1</i>	Minimum	0,4	0,1	0,3

3.2.2.3. Test sur le jeu de donnée du scénario 2

Les filtres sont tout d'abord testés individuellement, pour chaque valeur -minimale, maximale et utilisée- sur les 3 jours de test (Tableau 11).

Tableau 11 : Effet des différentes valeurs de seuil

	Valeur du seuil	Nombre de vrais positifs	Nombre de faux positifs
Protocole initial		29	1464
<i>Echo std 6dB</i>	3,5	27	1050
	4	28	1199
	5,5	29	1436
<i>Dist First Last X</i>	0	29	1464
	0,5	29	1464
<i>Aspect Angle</i>	75	27	1351
	60	29	1462
<i>Smoothness1</i>	0,4	27	1163
	0,3	29	1287
	0,1	29	1441
Scénario 2		28	874

Le scénario 2, combinaison de tous les seuils, ne supprime qu'un seul vrai positif (3,4%) et 59,6% de faux positifs.

3.3. Identification et conversion des faux négatifs

3.3.1. Résultats des 3 jours de visualisation

Les 3 jours de visualisation permettent, en les confrontant aux résultats de la base de données, de déterminer les faux négatifs. Des analyses sont donc réalisées pour définir pourquoi certains saumons sont exclus à tort par la méthodologie initiale (Tableau 12).

Tableau 12 : Nombre de faux positifs expliqué par leurs caractéristiques propres

Date	Trop petit (<i>Fish Length</i> < 50cm)	Angle trop important (<i>Aspect angle</i> >105° ou < 75°)	Passage trop près de la caméra (<i>Range</i> < 2m)	Mauvaise estimation du sens de passage (<i>Vx First Last</i> > 0)	Trop lent (<i>Mean Echo Speed</i> < 0,4m.s ⁻¹)
07/11/14	8/16	0/16	0/16	0/16	14/16
20/07/14	2/7	0/7	0/7	1/7	5/7
26/06/14	1/1	0/1	0/1	0/1	0/1

3.3.2. Analyse des caractéristiques des faux négatifs

Les 2 principaux paramètres excluant ces saumons sont la longueur (*Fish Length*) et la vitesse (*Mean Echo Speed*). Certains individus présentent des valeurs finalement juste inférieures aux limites fixées (Figure 11). Ainsi 9 individus sur 11 éliminés par *Fish Length* ont une taille estimée comprise entre 35 et 50 cm. De même, 16 des 22 individus éliminés par le critère de *Mean Echo Speed* ont une vitesse comprise entre 0,3 et 0,5 m.s⁻¹.

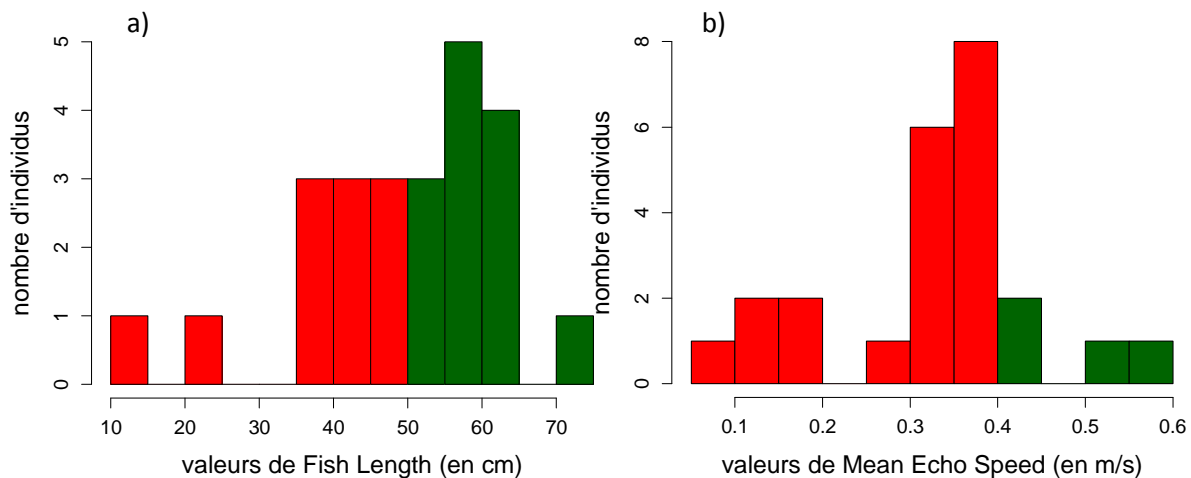


Figure 11: Distribution des faux négatifs selon le paramètre étudié a) la taille *Fish Length* (en cm) et b) la vitesse de nage *Mean Echo Speed* (en m.s⁻¹). En vert, les individus présentant des valeurs supérieures au seuil et en rouge les individus éliminés par ce seuil

3.3.3. Proposition d'élargissement des seuils et test sur le jeu de données

Au vu des histogrammes (Figure 11), un élargissement des seuils est envisageable pour les 2 paramètres. Le seuil de *Fish Length* abaissé à 35 cm et celui de *Mean Echo Speed* à 0,3 m.s⁻¹ permettent de récupérer 17 des 24 faux négatifs, ce qui fait passer de

54,7% des saumons notés vrais positifs à 86,7%. En parallèle, les faux positifs augmentent de 1 464 à 5 510 individus (+376,4%)

3.4. Application des filtres des scénarios 1 et 2 après élargissement des seuils

3.4.1. Filtres basés sur les paramètres initialement exportés

Les filtres basés sur les paramètres initialement exportés sont ceux proposés dans le scénario 1. Leur application après l'élargissement des seuils proposé en scénario 3 constitue le **Scénario 4**.

Afin de tester les effets du scénario 4 sur le jeu de données (toujours issu des 3 jours de visualisation), les équations 1 et 2 sont appliquées afin de déterminer l'efficacité et la tolérance en fonction de différentes valeurs de seuil de *Mean Area 6dB* et *Mean Echo Speed* (Figure 12). Le seuil de *Mean Area 6dB* varie de 0,2 à 0,4 m². Le seuil de 0,4 m² conserve la totalité des vrais positifs et 99,9% des faux positifs, tandis que le seuil de 0,3 m² ne garde que 96,6% des vrais positifs et 90,9% des faux positifs. Le seuil de *Mean Echo Speed* varie de 1 à 3 m.s⁻¹. Pour le seuil de 3 m.s⁻¹, tous les vrais positifs sont conservés ainsi que 99,3% des faux positifs. Le seuil de 1 m.s⁻¹ est plus restrictif et ne garde que 96,6% des vrais positifs et 67,3% des faux négatifs. Plus la valeur du seuil est basse, plus cela permet de supprimer de faux positifs, ce qui entraîne également une réduction du nombre de vrais négatifs. Les seuils testés permettent de supprimer entre 0 et 25% de faux positifs et entre 0 et 5% de vrais positifs.

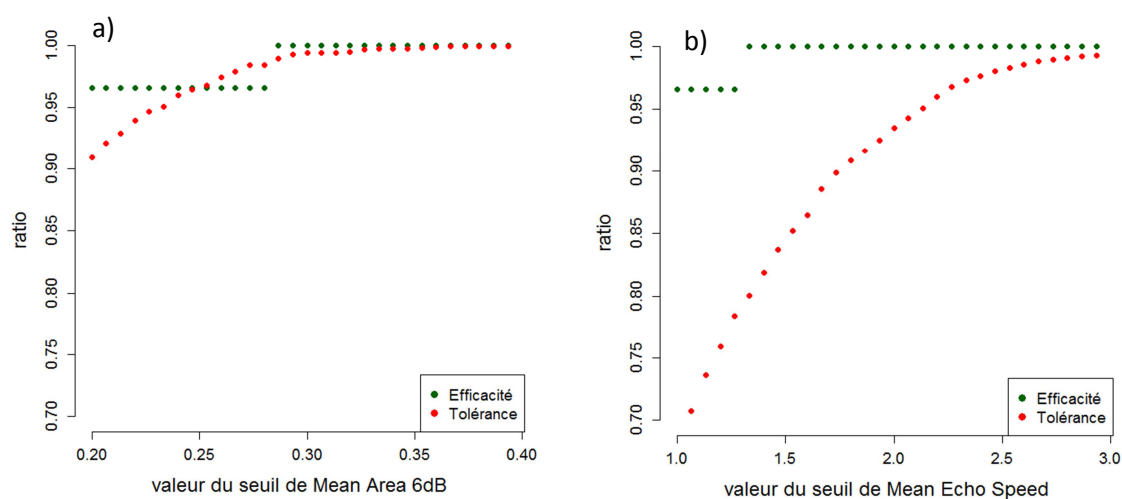


Figure 12 : Evolution des ratios d'efficacité (en vert) et de tolérance (en rouge) en fonction du seuil des paramètres a) *Mean Echo Speed* (m.s⁻¹) et b) *Mean Area 6dB* (m²) en ajout de l'élargissement des seuils

3.4.2. Filtres basés sur les paramètres nouvellement exportés

Les filtres basés sur les paramètres initialement exportés sont ceux proposés dans le scénario 2. Ces filtres permettent de réduire le nombre de faux positifs. Après l'élargissement des seuils proposé en scénario 3, le nombre de faux positifs a augmenté. Afin de réduire ce chiffre, les positifs sont alors soumis aux filtres du scénario 2. Les filtres des scénarios 3 et 2 se succèdent donc dans le **Scénario 5**.

Les filtres appliqués permettent de diminuer les faux positifs de 45,8% et les vrais positifs de 8,5% (Tableau 13).

Tableau 13: Résultats du scénario 5 et comparaison avec le scénario 3, avec seulement les filtres élargis et pas de filtres supplémentaires

	Vrais positifs	Faux positifs	Vrais négatifs	Faux négatifs
Scénario 3	47	5 510	35 499	7
Scénario 5	43	2 989	38 020	11

3.5. Synthèse des 5 scénarios

Quel que soit le filtre appliqué, le nombre total de saumons (vrais positifs + faux négatifs = 53 cibles) reste constant, tout comme la quantité de cibles autres (vrais négatifs + faux positifs = 41 010 cibles). Les Figures 13 et 14 présentent l'évolution de chacune des catégories en fonctions des différents scénarios envisagés pour les 3 jours de visualisation.

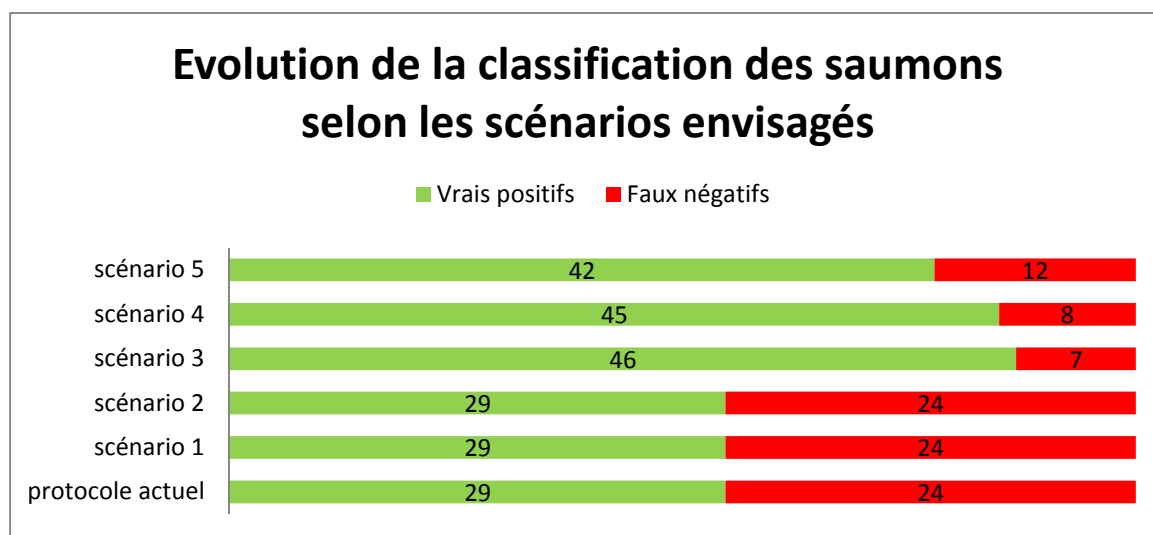


Figure 13 : Evolution de la classification des saumons selon les scenarios envisagés

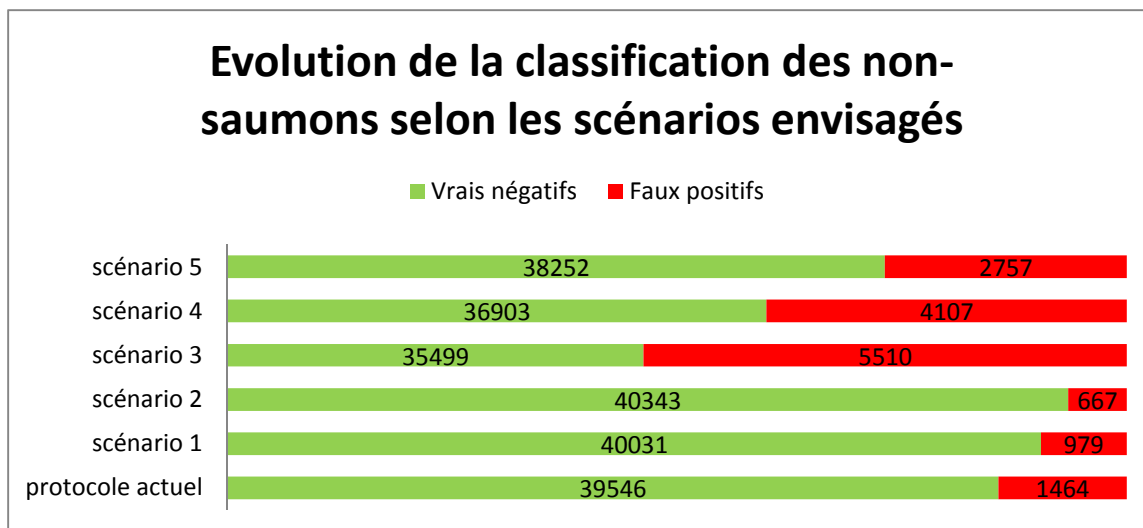


Figure 14 : Evolution de la classification des non-saumons selon les scénarios envisagés

3.6. Test des différents scénarios sur les 3 semaines de test

3.6.1. Scénario 1

Le scénario 1 fait intervenir les seuils basés sur *Mean Area 6dB* et *Mean Echo Speed*. La combinaison de ces deux seuils permet de supprimer 1 274 faux positifs sur 6 254, soit 20,4%, en n'éliminant qu'un vrai positif, soit 1% des vrais positifs (Tableau 14).

Tableau 14 : Résultats du scénario 1 sur les 3 semaines test

Paramètre	Valeur du seuil	Vrais positifs	Faux positifs
Protocole initial		114	6 254
<i>Mean Area 6dB</i>	0,3	113	6 176
<i>Mean Echo Speed</i>	1,5	114	5 042
Scénario 1		113	4 980

3.6.2. Scénario 2

Le scénario 2 tend à diminuer le nombre de faux positifs en utilisant des seuils sur d'autres paramètres : *Echo std 6dB*, *Dist First Last X*, *Aspect Angle* et *Smoothness1*. Le seuil basé sur *Echo std 6dB* est très restrictif et permet d'éliminer 838 faux négatifs soit 13,4% et 32 vrais positifs (28%). A l'inverse, les seuils basés sur *Dist First Last X* et *Aspect Angle* permettent de conserver tous les vrais positifs et éliminent respectivement 0 et 0,2% des faux positifs. Le seuil de *Smoothness1* est moins restrictif que celui d'*Echo std 6dB* mais plus que ceux de *Dist First Last X* et *Aspect Angle* en permettant l'élimination de 635 faux positifs, soit 10,2% et de seulement 6 vrais positifs (5,2%). L'application simultanée de l'ensemble de ces seuils permet d'éliminer 39% des faux positifs et 31,6% des vrais positifs (Tableau 15). Le pourcentage de vrais positifs éliminés est supérieur à celui obtenu lors de l'application du scénario sur les 3 jours de visualisation.

Tableau 15: Résultat des seuils du scénario 2 pris individuellement et simultanément

Paramètre	Valeur du seuil	Vrais positifs	Faux positifs éliminés
Protocole initial		114	6 254
<i>Echo std 6dB</i>	4	82	5 416
<i>Dist First Last X</i>	0,5	114	6 254
<i>Aspect Angle</i>	60	114	6 240
<i>Smoothness1</i>	0,3	108	5 619
Scénario 2		78	3 786

3.6.3. Scénario 3

L'élargissement des seuils fait passer le nombre de positifs de 6 254 à 23 481 soit une augmentation de +364%. Les vrais et les faux négatifs n'étant pas différenciés, le nombre de nouveaux vrais positifs n'est pas connu.

3.6.4. Scénario 4

L'ajout de seuils sur Mean Area 6dB et sur Mean Echo Speed permet de diminuer le nombre de cibles à vérifier par rapport au scénario 4, passant de 23 402 à 21 901 (soit - 6,4%, Tableau 16).

Tableau 16 : Résultats du scénario 4 sur les 3 semaines de test

Paramètre	Valeur du seuil	Vrais positifs	Faux positifs	Positifs non différenciés
Scénario 3		114	6 254	17 034
<i>Mean Area 6dB</i>	0,3	113	6 176	16 845
<i>Mean Echo Speed</i>	1,5	114	5 042	16 996
Scénario 4		113	4 980	16 808

3.6.5. Scénario 5

L'ajout des nouveaux seuils du scénario 5 permet de réduire le nombre de positifs et donc de cibles à vérifier. Les filtres peuvent être étudiés séparément ou en les combinant, ensemble et avec ceux de *Mean Area 6dB* et *Mean Echo Speed* (Tableau 17). Le nombre total de positif diminue alors de 23 402 à 11 440 (-51,1%) mais en réduisant le nombre de vrais positifs de 114 à 78 (-31,6%).

Tableau 17 : Résultats du scénario 5 sur les 3 semaines de test

Paramètre	Valeur du seuil	Vrais positifs	Faux positifs	Positifs non différenciés
Scénario 3		114	6 254	17 034
<i>Echo std 6dB</i>	4	82	5 416	14 741
<i>Dist First Last X</i>	0,5	114	6 254	13 796
<i>Aspect Angle</i>	60	114	6 240	16 990
<i>Smoothness1</i>	0,3	108	5 619	12 027
Scénario 5		78	3786	7 576

3.7. Résultats de l'étude du flux migratoire

3.7.1. Jeu de données

Sur la période étudiée, le DIDSON a été arrêté plusieurs fois (volontairement ou pour des raisons techniques), 16 jours sont donc incomplets ou manquants. En l'absence de données sur les passages de saumons, les lignes correspondantes ont été supprimées. Certaines données environnementales sont également manquantes ou aberrantes (Tableau 18).

Tableau 18 : Présentation des jeux de données utilisés pour l'étude du flux migratoire

Paramètre	Nombre de valeurs manquantes ou aberrantes	
	Echelle de la journée	Echelle de l'heure
Turbidité	0	49
Température de l'eau	0	1
Vitesse de courant	18	631
Hauteur d'eau	3	293
Nombre total de lignes	94	2 533

3.7.2. Etude de la dynamique migratoire à l'échelle de la journée

3.7.2.1. Etude préliminaire de corrélation des variables

Préalablement à la recherche de modèles, il est nécessaire de s'assurer que les variables explicatives ne sont pas corrélées. L'étude du corrélogramme révèle une corrélation supérieure à 70% entre les moyennes journalières de vitesse de courant et de hauteur d'eau. Les variables décrivant la vitesse de courant présentant plus de valeurs manquantes ou aberrantes, celles-ci seront éliminées au profit de la hauteur d'eau.

A l'échelle de la journée, 3 facteurs environnementaux sont testés. Chacun est décrit par différentes variables :

- Turbidité (moyenne, variation, amplitude, moyenne à j-1 et j-2)
- Température de l'eau (moyenne, variation, moyenne à j-1 et j-2)
- Hauteur d'eau (moyenne, variation, moyenne à j-1 et j-2)

3.7.2.2. Résultats du modèle delta

3.7.2.2.1. Modèle de présence/absence

La totalité des 13 variables sont testées. Aucune variable n'explique significativement la présence ou absence des saumons.

3.7.2.2.2. Modèle sur les données strictement positives

Les 13 variables sont testées avec un modèle de loi Gamma. Le modèle final indique que seule la température à j-2 est significative (Tableau 19). Les autres variables ne sont pas significatives. La température de l'avant-veille n'explique que 10% de la déviance et l'équation indique qu'en passant de 10 à 20°C, le nombre moyen de saumon varie de 0,75 à 0,70. Graphiquement, un pic de température devrait être suivi d'une baisse de saumons et inversement. Cependant, ces résultats sont difficilement observables (Figure 15). Ceci est dû au faible pourcentage de déviance expliquée. Malgré des faibles abondances pour de fortes températures (20-21°C), les classes de températures de 16 à 20°C regroupent un nombre important de saumons.

Tableau 19 : Résultats du modèle sur les données strictement positives à l'échelle de l'heure

Paramètre	Estimation	Ecart type	Déviance expliquée (%)	p-value
Ordonnée à l'origine	0,8080	0,1264	-	$5,49.10^{-7}$
Température à j-2	-0,0049	0,0027	10	0,0768

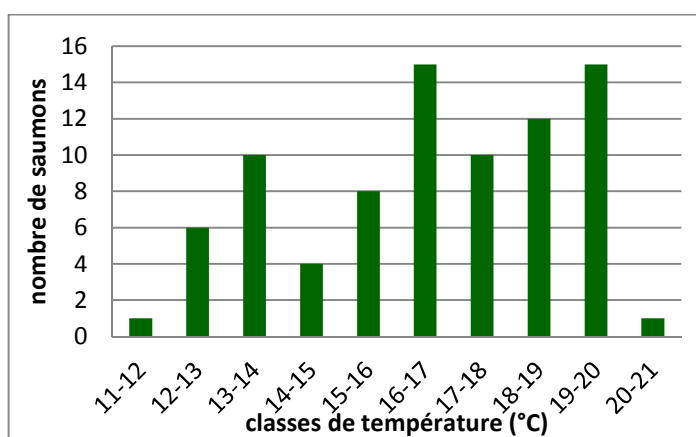


Figure 15 : Nombre de saumons en fonction de la température journalière moyenne

3.7.3. Etude de la dynamique migratoire à l'échelle de l'heure

3.7.3.1. Etude préliminaire de corrélation des variables

L'indépendance des variables est nécessaire, à l'échelle des heures comme à l'échelle des jours. Les résultats mettent en évidence une corrélation entre la hauteur d'eau et la vitesse de courant. Les variables décrivant la vitesse de courant sont donc supprimées. Les variables explicatives restantes sont donc :

- Température de l'eau (moyenne de h à h-6, variation)

- Hauteur d'eau (moyenne de h à h-6, variation)
- Turbidité (moyenne de h à h-6, variation, amplitude)
- Heure par rapport à la pleine mer

3.7.3.2. Résultat du modèle delta

3.7.3.2.1. *Modèle de présence/absence*

La totalité des 26 variables est testée. Aucune variable n'explique significativement la présence ou l'absence des saumons.

3.7.3.2.2. *Modèle sur les données strictement positives*

Le modèle sur les variables strictement positives suit la loi Gamma. Huit variables influencent significativement le nombre de passages (Tableau 20). Le modèle final permet d'expliquer 56% de la déviance totale. Seulement 3 variables expliquent plus de 10% de déviance : la moyenne de température (Figure 16) ainsi que la turbidité (Figure 17) et la température 3 heures auparavant. D'autres variables sont également significatives mais elles expliquent moins de 5% de la variabilité : la hauteur d'eau de l'heure précédente, la moyenne de turbidité, l'heure de marée (Figure 18) et la température à l'heure précédente. Les autres variables ne sont pas significatives. Les pentes associées aux variables de température sont toutes positives. Ainsi, une augmentation de température est corrélée à une augmentation de saumons. La turbidité en revanche a un effet plus complexe avec une pente positive pour la turbidité de l'heure et négative pour celle à h-3. En ce qui concerne la hauteur d'eau, une augmentation entraîne une diminution du nombre de saumons, tout comme le nombre d'heure après la pleine mer.

Tableau 20 : Variables significatives dans le modèle de loi Gamma sur les données strictement positives par heure

Variable	Estimation	Ecart type	Déviance expliquée (%)	p-value
Ordonnée à l'origine	-0,4660	0,4073	-	0,2579
Moyenne de température	0,3574	0,0142	19	7,56.10 ⁻⁵
Turbidité à h-3	-0,0476	0,0043	12	0,0017
Température à h-3	0,0148	0,0141	10	4,30.10 ⁻⁶
Hauteur d'eau à h-1	-0,0479	0,0005	5	0,0023
Moyenne de turbidité	0,0170	0,0096	4	0,0275
Heure de marée	-0,0122	0,0087	3	0,0635
Température à h-1	0,0356	0,0118	3	0,0014

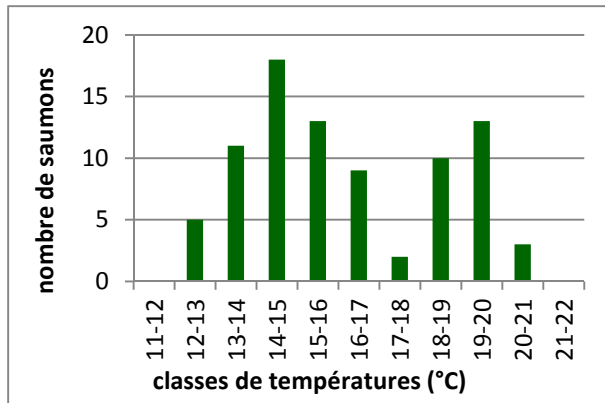


Figure 16 : Nombre de saumons en fonction de la moyenne horaire de température

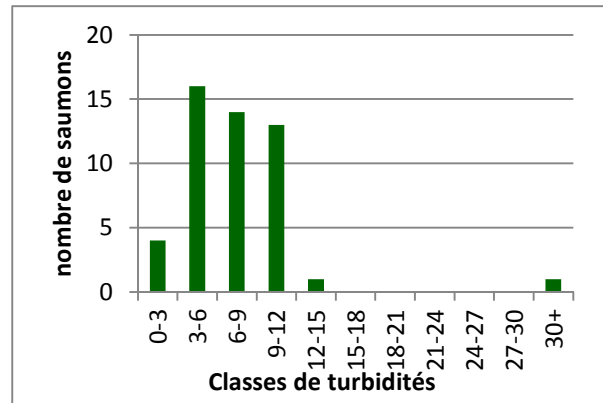


Figure 17 : Nombre de saumons en fonction de la moyenne horaire de la turbidité 3 heures auparavant

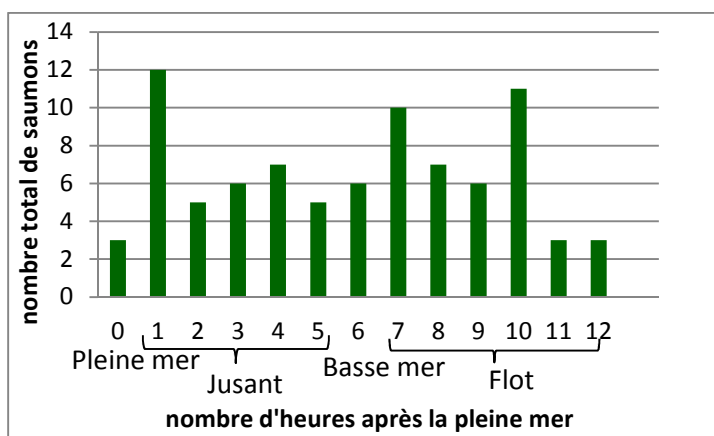


Figure 18 : Nombre de saumons en fonction de l'heure de la marée

4. Discussion

Cette étude vise à estimer l'efficacité du protocole de pistage semi-automatique, à proposer des pistes d'amélioration et à étudier la dynamique migratoire des saumons. L'efficacité dépend du nombre d'erreurs comptabilisées après l'application du protocole, que ce soit des faux positifs ou des faux négatifs. Un protocole parfaitement efficace classe correctement la totalité des cibles, il n'y a donc que des vrais positifs et des vrais négatifs.

4.1. Efficacité du protocole actuel

4.1.1. Efficacité liée aux faux positifs

Parmi la totalité des cibles sélectionnées par le protocole actuel (vrais positifs + faux positifs), 97,2% sont des faux positifs. Ce pourcentage élevé peut être imputé à l'importante richesse spécifique de la Sélune. Les autres études réalisées avec le DIDSON sur des zones avec une forte richesse spécifique procèdent à une visualisation manuelle des vidéos (Petreman *et al.*, 2014 ; Rand & Fukushima, 2014 ; Langkau *et al.*, 2016). En effet, les acquisitions issues du DIDSON ne permettent pas un classement automatique par espèces mais seulement par taille (Becker & Suthers, 2014). Les études procédant à des comptages automatiques sont situées dans des zones avec seulement une ou deux espèces présentes (Maxwell & Gove, 2004) ou sans différenciation des espèces (Kimball *et al.*, 2010). Il serait

donc intéressant de développer une méthode de traitement automatique des image pour la différenciation des espèces. La méthode d'un tel dispositif doit être basée sur une reconnaissance morphologique et comportementale.

4.1.2. Efficacité liée aux faux négatifs

Le protocole de pistage semi-automatique permet de détecter à peine plus de la moitié des passages de saumons (55%). Les faux négatifs sont nombreux et principalement éliminés via les filtres de longueur (*Fish Length*) et de vitesse (*Mean Echo Speed*). Les individus sont éliminés car les paramètres estimés par Sonar5-Pro lors de leur passage ne sont pas conformes aux caractéristiques attendues d'un saumon adulte. Cette dissemblance est due à une mauvaise estimation de ces paramètres par le logiciel.

Des études ont été menées pour connaître la précision de la mesure de taille du logiciel. Il s'avère que le logiciel sous-estime les individus de plus de 45 cm (Martignac *et al.*, submitted). Ce résultat concerne directement les saumons en montaison de la Sélune qui mesurent plus de 50 cm. Une autre étude (Zhang *et al.*, 2014) montre que les estimations sont en moyenne 35,6% plus petites que les tailles trouvées lors de mesures manuelles pour des tailles comprises entre 40 et 160 cm. Les saumons étudiés sont donc concernés par ce résultat. Une mauvaise estimation de la taille peut être due à un angle de passage important (Zhang *et al.*, 2014 ; Daroux *et al.*, submitted, Martignac *et al.*, submitted). Lorsque l'angle de passage est important, c'est-à-dire lorsque l'axe de l'individu s'éloigne de la perpendiculaire au faisceau, la taille est sous-estimée. Deux autres facteurs pouvant nuire à la bonne estimation de la taille sont la position dans la lame d'eau (Zhang *et al.*, 2014) et la distance à la caméra (Tuser *et al.*, 2014).

L'estimation de la vitesse peut également être un problème. Aucune étude n'a encore étudié l'efficacité du logiciel à jauger de la bonne vitesse des cibles. Les saumons peuvent également adopter une allure inférieure sur ce tronçon de la Sélune à ce qui est proposé dans la littérature, à savoir une vitesse comprise entre 0,4 et 0,8 m.s⁻¹ (Sanchez *et al.*, 2002) car les conditions locales diffèrent des conditions de cette étude. Cependant, un autre indicateur de vitesse *Vx First Last*, qui est une vitesse algébrique de la cible, est parfois erroné. En théorie, les individus qui descendent le courant ont un *Vx First Last* positif, ce qui n'est pas toujours le cas puisque certains se retrouvent dans la catégorie « objet dérivants » des faux positifs. Ce phénomène peut être dû à un mauvais suivi de la cible au cours de son passage par Sonar5-Pro. Il est donc possible que les autres proxys utilisés pour estimer la vitesse ne la représentent pas parfaitement.

La thèse de F. Martignac (2016) présente des taux de faux négatifs inférieurs (32% dans son étude contre 45% ici) dans des conditions d'études identiques. Néanmoins, les comptages ne suivent pas le même protocole. Il n'y a en effet pas de visualisations de 24 h consécutives. Le nombre d'heure réduit (72 h dans cette étude contre 30 h dans la thèse) combiné à la présence possible d'un effet de la luminosité (Bruslé et Quignard, 2001) peut expliquer cette différence. En effet, l'efficacité de la méthode semble varier en fonction du nombre de saumons et de l'activité biologique, qui suit un rythme nyctéméral (Bournaud & Thibault, 1973). Ceci variant en fonction de la luminosité et de l'heure de la journée, il est important d'étudier des passages de 24h. Les heures ont été sélectionnées au hasard dans la thèse, ce qui peut inclure une inégalité du nombre d'heures de jour et de nuit.

4.2. Pistes d'amélioration de l'efficacité

4.2.1. Les différents scénarios

Suite au travail réalisé, 5 scénarios sont proposés. Les scénarios 1 et 2 sont dans la continuité de ce qui avait été fait lors de la thèse de F. Martignac (2016) où avaient déjà été fixé certains seuils, tels que la vitesse minimale ($0,4 \text{ m.s}^{-1}$) et la taille minimale (50 cm). En revanche, aucun seuil maximal n'avait été fixé et de nombreux paramètres n'avaient pas été explorés. Ces pistes ont donc pu être exploitées lors de stage, ce qui a permis de réduire le nombre de faux positifs et donc de diminuer le temps de vérification.

Le scénario 3 vise à sélectionner le plus de saumons possibles. Sachant que la taille est généralement sous-estimée par le logiciel (Zhang *et al.*, 2014 ; Daroux *et al.*, submitted, Martignac *et al.*, submitted), il paraît cohérent d'en diminuer le seuil afin de convertir en positifs l'ensemble des individus mesurant réellement plus de 50 cm. L'abaissement de ce seuil n'est pas pour permettre d'accepter des individus plus petits mais pour contrebalancer la sous-estimation par le logiciel. Cependant, tous les faux négatifs ne sont pas convertis par cette étape et une augmentation importante du nombre de faux positifs est observée.

Les scénarios 4 et 5 permettent de diminuer respectivement de 6,4 et 51,1% le nombre de faux positifs par rapport au scénario 3 qui a largement augmenté avec l'abaissement des seuils. Cependant, même avec l'application de ces seuils, le nombre de cibles à traiter reste supérieur au nombre obtenu avec le protocole initial (respectivement 21 901 et 11 440 contre 6 254 pour les 3 semaines test). Cela permet néanmoins de détecter 41% de saumons en montaison supplémentaires.

4.2.2. Choix d'un compromis

Le choix du compromis entre temps de traitement et pourcentage de saumons sélectionnés dépend des moyens mis à disposition ainsi que du résultat recherché. De nombreuses études utilisent le dépouillement total des enregistrements par visualisations (Petreman *et al.*, 2014 ; Rand & Fukushima, 2014 ; Langkau *et al.*, 2016) mais toutes ont recouru au sous-échantillonnage, ce qui permet de réduire le temps de traitement.

Un sous-échantillonnage pourrait également être mis en place pour l'étude des saumons. En effet, si la caméra continue d'enregistrer en continu, ce qui garantit des données pour l'étude des autres migrateurs, une partie seulement des données pourrait être traitée. Le nouveau protocole peut soit sous-échantillonner chaque jour, soit sélectionner des périodes intéressantes, soit combiner les deux méthodes. Ceci permettrait de traiter avec davantage de précision les données puisque leur quantité sera réduite. Connaissant la dynamique migratoire des saumons, il est ensuite possible d'extrapoler le sous-échantillonnage pour estimer une dynamique globale sur la Sélune.

Même si un sous-échantillonnage est réalisé, la visualisation totale des enregistrements n'est pas nécessaire grâce à l'application du protocole de pistage semi-automatique. Pour choisir le scénario le plus adapté, il faut définir exactement le temps humain disponible pour le traitement des données DIDSON. Actuellement, le temps de travail à disposition est plutôt réduit, ce qui conduit au choix d'un scénario limitant au maximum le nombre de visualisations, donc plutôt le scénario 1 ou 2. Le scénario 1 permet de supprimer 20% des faux positifs et le scénario 2, 40% (pourcentage calculé sur les 3 semaines test). En revanche, les scénarios suivants impliquent une augmentation du nombre de faux positifs : scénario 3, +364% ; le scénario 4, +169% et le scénario 5, +21%. Le scénario 1 ne modifie pas le protocole de pistage ni la base de données, contrairement au scénario 2 qui nécessite

l'export d'un nombre plus important de paramètres. Dans ce cas, afin de conserver une base de données homogène, il est alors nécessaire d'appliquer le nouveau protocole de pistage aux données déjà traitées, ce qui impose l'utilisation du logiciel Sonar5-Pro. L'application du scénario 1 permet de ne pas appliquer à nouveau l'ensemble du protocole, notamment l'étape impliquant Sonar5-Pro.

Afin de réduire le temps de traitement, une adaptation du protocole existant a récemment été mise en place, dans lequel les faux positifs ne sont pas catégorisés. Ceci permet un gain de temps significatif. En effet, l'opérateur n'a alors plus besoin de rechercher à quel type d'erreur appartient la cible, ce qui nécessite parfois de la mesurer ou de visualiser à nouveau le passage. Ce nouveau protocole permet une visualisation plus rapide des détections n'étant pas des saumons.

4.3. Objectif de l'évaluation et de l'amélioration de l'efficacité : l'étude de la dynamique migratoire des saumons

4.3.1. A l'échelle de la journée

Aucun paramètre n'intervient significativement dans le déclenchement de la migration (modèle de présence/absence) dans ce modèle. Pourtant, certaines études montrent qu'il existe des déclencheurs à la migration, notamment le débit. Lors d'un débit important, les afflux d'eau douce vont en effet guider le saumon vers l'estuaire (Hasler, 1966 ; Stasko, 1971 ; Martignac, 2016). En revanche, un débit trop important va diminuer l'activité migratoire qui devient alors trop énergivore (Thioulouse, 1972 ; Hawkind, 1988). Le débit ne fait pas partie des facteurs environnementaux directement testés mais il est corrélé aux valeurs de hauteur d'eau et de vitesse de courant sur le site de suivi de la Sélune (Martignac *et al.*, 2016). Cependant, ces variables environnementales ne ressortent pas comme significatives. Ceci peut être dû à un manque de contraste dans les données, le nombre de remontées maximal étant de 6 saumons. Les seuils d'inhibition de migration ne sont pas forcément atteints, ce qui ne signifie pas qu'ils n'existent pas sur ce fleuve.

Lorsque la migration est déclenchée (modèle sur les données strictement positives uniquement), un seul facteur environnemental a été déterminé comme ayant une influence significative à l'échelle de la journée. La température de l'eau de l'avant-veille influe sur le nombre de passages de saumons, une augmentation de température étant corrélée une diminution du nombre de remontées. Ce résultat va à l'encontre de la plupart des études à ce sujet (Solomon, 1978 ; Erkinaro *et al.*, 1999). En effet, dans ces études, une augmentation de température va de pair avec une augmentation de l'activité de migration. Cependant, les données utilisées ont été enregistrées entre fin juillet et novembre, ce qui implique des températures qui peuvent être assez basses. Il existe des seuils de températures en-deçà desquels les remontées sont inhibées, seuils autour de 7 à 8°C (Thioulouse, 1972 ; Martignac, 2016) et une inhibition partielle à partir de 10°C (Martignac, 2016). Les moyennes de température de cette étude s'étendent de 11,5 à 20,7°C. Ces températures ne semblent donc pas en deçà des seuils. Cependant, ces températures sont des moyennes journalières, ce qui tempère les différences entre le jour et la nuit et donc cache une partie de la variabilité. Il peut donc y avoir des températures nocturnes qui descendent en dessous de 10°C sans que cela soit visible dans les moyennes journalières. Les montaisons peuvent donc être inhibées alors que la température moyenne de la journée est supérieure au seuil.

De plus, la pente estimée est de -0,0049, ce qui fait une différence de moins de 0,05 individu pour des différences de température de 10°C. De tels écarts de température n'étant pas observés, la différence sur le nombre de saumons en montaison est très faible.

La température semble donc jouer un rôle dans la dynamique migratoire des saumons. Une période d'étude plus longue avec des températures plus contrastées permettrait peut-être une meilleure vision de l'effet de la température.

4.3.2. A l'échelle de l'heure

L'échelle des jours est assez large et peut cacher des effets existant. La caméra DIDSON permettant une précision extrêmement fine, il est possible d'utiliser l'échelle horaire afin de confirmer -ou non- les relations trouvées à l'échelle de la journée.

A l'échelle des heures, le jeu de données est principalement composé de 0 et de 1 (99,5% des données). Les données strictement positives ne représentent que 2,7% du jeu de données, ce qui est à prendre en compte dans le traitement des résultats obtenus.

De la même manière qu'à l'échelle des jours, aucun paramètre n'est significatif dans le modèle de présence/absence. Dans le modèle sur données strictement positives, la température apparaît comme ayant une influence, que ce soit la moyenne de l'heure, de l'heure précédente ou de 3 h auparavant. Ces 3 moyennes de température influent positivement sur le nombre de passages de saumons : une hausse de température est corrélée avec une augmentation du nombre de remontées, ce qui se conforme cette fois à la littérature (Jensen *et al.*, 1986). La différence avec les résultats trouvés à l'échelle des jours s'explique par le passage à une échelle plus fine, qui permet davantage de contrastes et des valeurs proches de celles rencontrées par l'individu lors de son passage.

Les heures précédant le passage sont décisives puisque la caméra est située à 8 km en amont de l'embouchure. Le début de la migration a donc lieu bien avant le passage au niveau du site d'étude. Si le saumon est considéré comme ayant une vitesse comprise entre 0,4 et 0,8 m.s⁻¹ (Sanchez *et al.*, 2002), le parcours nécessite entre 2h45 et 5h30. Cependant, cette durée ne tient pas compte d'éventuels temps de repos durant la migration ni du temps passé dans l'estuaire pour l'adaptation aux changements de salinité. Etant donné que la température à l'heure de passage, à l'heure précédente et 3 h auparavant sont significatives, le saumon peut partir d'une zone située très proche du DIDSON, juste en aval du seuil par exemple, un peu plus bas, ou même depuis l'estuaire de la Sélune.

La turbidité et la hauteur d'eau apparaissent également comme significatives (turbidité au moment de passage et 3 h auparavant, hauteur d'eau 1 h auparavant). Une augmentation de turbidité a un effet positif sur les migrations de saumon si elle a lieu dans l'heure et négatif 3 heures avant. Ce n'est peut-être pas la turbidité directement mais la variation sur ce pas de temps précis qui influent sur la dynamique de migration. En effet, une autre variation est étudiée mais sur un pas de temps différent, d'un jour seulement contre 2 ici. La turbidité et la hauteur d'eau sont impactées par le débit du fleuve. La littérature montre que, jusqu'à un certain seuil, l'augmentation du débit est positivement corrélée aux passages de saumons (Solomon, 1978 ; Martignac, 2016). En effet, un débit minimum est requis pour le déclenchement de la migration des saumons. Les saumons utilisent le courant pour se guider et remonter la rivière jusqu'au zones de fraie.

L'heure de marée a une influence sur la remontée des saumons. L'influence des marées contredit certaines études (Erkinaro *et al.*, 1999) mais est en accord avec d'autres (Stasko, 1971 ; Idler *et al.*, 1981 ; Aprahamian *et al.*, 1998). La baie du Mont-Saint-Michel présente de très grands marnages, ce qui n'est pas le cas de tous les sites d'étude. Lors de

l'étal de pleine mer, peu d'individus sont dénombrés (Figure XX). Trois pics sont dénombrés : un pendant le jusant et deux autres durant le flot. L'heure par rapport à la pleine mer influence le débit dans l'estuaire et peut donc avoir un impact sur les remontées.

Les facteurs environnementaux, hormis l'heure de marée, peuvent intervenir directement ou indirectement. En effet, les remontées dépendent également de la saison, dont les conditions météorologiques influencent les facteurs environnementaux (Baglinière & Porcher, 1994). Les effets peuvent donc soit stimuler directement la remontée des saumons soit être seulement un marqueur de la saisonnalité des migrations.

Conclusions et perspectives

De nombreuses études ont été menées sur la migration anadrome des saumons (Thorstad *et al.*, 2008). La diversité des résultats reflète la diversité des systèmes (Erkinaro *et al.*, 1999) auquel les individus s'adaptent. Ils peuvent donc être plus ou moins sensibles à certains facteurs selon les conditions environnementales du milieu dans lequel ils évoluent. Si certains facteurs influencent effectivement la migration (notamment température et débit) et se retrouvent dans de nombreuses études, les résultats obtenus dans ce travail sont à mettre en relation avec le site étudié et son fonctionnement et les contraintes que cela crée pour les saumons. Une relation significative peut n'être constatée que dans un certain milieu à un certain moment et pour une échelle donnée.

Il a été montré que le protocole d'analyse initial était perfectible. Des pistes d'améliorations sont proposées mais le choix final doit se faire en adéquation avec les moyens mis en œuvre et les résultats attendus. La mise en place d'une caméra acoustique peut être utilisée pour une étude similaire à celle de la dynamique migratoire des saumons effectuée sur la Sélune, mais son utilisation peut également s'étendre à d'autres espèces et d'autres sites, ce qui demandera une adaptation du protocole aux questions auxquelles il vise à répondre.

De nombreuses améliorations peuvent encore être envisagées, que ce soit au niveau de l'efficacité de la méthode de pistage semi-automatique mais également pour d'autres aspects. Par exemple, la profondeur à laquelle nage le poisson ne peut pas être directement déterminée par le logiciel, mais ce paramètre pourrait être calculé en utilisant l'ombre de la cible, lorsque celle-ci est visible. Une zone d'ombre est formée derrière l'individu, son corps réfléchissant une partie des ondes acoustiques émises. Le faisceau du DIDSON restant inchangé, la distance entre le poisson et son ombre permet d'estimer la profondeur de nage. Cependant, cela nécessite un fond relativement plat et ne peut être appliqué dans tous les cas puisque les ombres ne sont pas toujours visibles.

D'autres utilisations d'une caméra acoustique peuvent également être envisagées, telles que l'étude d'autres espèces de migrateurs (Petreman *et al.*, 2014) ou des comportements d'individus (Rakowitz *et al.*, 2011). Les mécanismes de vie peuvent être étudiés chez les migrateurs, les espèces résidentes ou un groupe d'espèces partageant le même milieu. Ceci permet de mieux comprendre le fonctionnement global de l'écosystème et de mieux distinguer les espèces via l'outil caméra acoustique et les logiciels de traitements qui lui sont associés.

Références bibliographiques

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **19**, 716-723.
- Aprahamian, M.W., Jones, G.O. & Gough, P. (1998). Movement of adult Atlantic salmon in the Usk estuary, Wales. *Journal of Fish Biology*, **53**, 221-225.
- Baglinière, J.-L. & Porcher, J.P. (1994). Caractéristiques des stocks de reproducteurs et comportement lors de la migration génésique. *Le saumon atlantique. Biologie et gestion de la ressource*, pp. 101-122. Ifremer, Brest.
- Baglinière, J.-L., Sabatie, M., Rochard, E., Alexandrino, P. & Aprahamian, M. (2003). The allis shad *Alosa alosa*: Biology, ecology, range, and status of populations. *Biodiversity, Status and Conservation of the World's Shad.*, pp.85-102. American Fisheries Society.
- Banks, J.W. (1969). A review of the Literature on the Upstream Migration of Adult Salmonids. *Journal of Fish Biology*, **1**, 85-136.
- Baril, D. & Gueneau, P. (1986). Radio-pistage de saumons adultes (*Salmo salar*) en Loire. *Bulletin Français Pêche Pisciculture*, **302**, 86-105.
- Becker, A., & Suthers I.M. (2014). Predator driven diel variation in abundance and behaviour of fish in deep and shallow habitats of an estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **144**, 82-88.
- Bournaud, M., Thibault, M. (1973). La dérive des organismes dans les eaux courantes. *Ann Hydrobiol*, **4**, 11-49.
- Bruslé J. & Quignard J.-P. (2001). Biologie des poissons d'eau douce européen. Ed Lavoisier & Tec et Do, Coll. *Aquaculture - Pisciculture*
- Chittenden, M.E. (1971). Status of the striped bass, *Morone saxatilis*, in the Delaware River. *Chesapeake Science*, **12**, 131-136.
- Croze, O. (2008). Impact des seuils et barrages sur la migration anadrome du saumon atlantique (*Salmo salar* L.): caractérisation et modélisation des processus de franchissement. *Doctorat Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques, Bioingénieries*, CNRS, Université Paul Sabatier – Toulouse, 331 p.
- Daroux, A., Martignac, F., Nevoux, M., Baglinière, J.-L. & Guillard, J. (2015). Fish length measurements using an acoustic camera (DIDSON): accuracy and impacting factors. *Freshwater biology*, **submitted**.
- Erkinaro, J., Økland, F., Moen, K., Niameä, E. & Rahiala, M. (1999). Return migration of Atlantic salmon in the River Tana: the role of environmental factors. *Journal of Fish Biology*, **55**, 506-516.
- Haig-Brown R. (1974). Le saumon, (version française sous la direction de Fernand Seguin). *Service des pêches et des sciences de mer*.

- Hasler, A.D. (1966). *Underwater guideposts: homing of salmon*. University of Wisconsin Press.
- Hansen, L.P. & Jonsson, B. (1991). Evidence of a genetic component in the seasonal return pattern of Atlantic salmon, *Salmo salar* L.. *Journal of Fish Biology*, **38**, 251-258.
- Hawkins, A.D. (1988). Factors influencing the timing of entry and upstream movement of Atlantic salmon in the Aberdeenshire Dee. *Proceedings of the salmonid Migration Symposium*. E.L. Brannen and B. Jonsson, Trondheim, June 1987.
- Heland, M. & Dumas, J. (1994). Ecologie et comportement des juvéniles. *Le saumon atlantique. Biologie et gestion de la ressource*. pp. 29-46. Ifremer, Brest.
- Hodgson, S., Quinn, T.P., Hilborn, R., Francis, R.C. & Roger, D.E. (2006). Marine and freshwater climatic factors affecting interannual variation in the timing of return migration to fresh water of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Fisheries Oceanography*, **15**, 1-24.
- Hutchings, J.A. & Jones, M.E. (1998). Life history variation and growth rate thresholds for maturity in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **55**, 22-47.
- Jensen, A.J., Heggberget, T.G., & Johnsen, B.O. (1986). Upstream migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Vesfna, northern Norway. *Journal of Fish Biology*, **29**, 459-465.
- Idler, D.R., Hwang, S.J., Crim, L.W. & Reddin, D. (1981). Determination of Sexual Maturation Stages of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Captured at Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **38**, 405-413.
- Jonsson, B., Jonsson, N., & Hansen, L.P. (2003). Atlantic salmon straying from the River Imsa. *Journal of Fish Biology*, **62**, 641-657.
- Jonsson, B., Jonsson, N., & Hansen, L.P. (1990). Does juvenile experience affect migration and spawning of adult Atlantic salmon? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **26**, 225-230.
- Kimball, M.E., Rozas, L.P., Boswell, K.M. & Cowan Jr, J.H. (2010). Evaluating the effect of slot size and environmental variables on the passage of estuarine nekton through a water control structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **395**, 181-190.
- Kirschhofer, A. & Hefti, D. (1996) Conservation of endangered freshwater fish in Europe. *Adv Life Sci, Birkhauser, Verlag, Basel*. pp. 360
- Klemetson, A., Amundsen, P.-A., Dempson, J.B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M.F. & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Savelinus alpinus*(L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish*, **12**, 1-59.
- Langkau, M.C., Clavé, D., Schmidt, M.B. & Borcharding, J. (2016). Spawning behavior of Allis shad *Alosa alosa*: new insights based on imaging sonar data. *Journal of Fish Biology*, **88**, 2263-2274.

- Lévênez, J.J., Lebourges-Dhaussy, A., Josse, E. (2006). Notions d'acoustique appliquée à l'halieutique et l'écologie aquatique.
- Limburg, K.E. & Waldman, J.R. (2009). Dramatic Declines in North Atlantic Diadromous Fishes. *BioScience*, **59**, 955-965.
- Martignac, F. (2016). Utilisation de deux outils hydroacoustiques pour analyser la dynamique migratoire du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) dans deux fleuves de la baie du Mont-Saint-Michel. Vie Agro Santé spécialité Ecologie.
- Martignac, F., Baglinière J.L., Daroux A., Ombredane, O. & Guillard, J. Effectiveness of the Sonar5-Pro® tracking tool in monitoring fish populations in rivers using long-term DIDSON data. *Methods in Ecology and Evolution*, **submitted**.
- Martignac, F., Saxer, S., Daroux, A., Forget, G., Côte, J., Baglinière, J.-L., Ombredane, D., Guillard, J. (2014). Rapport d'étape annuel 2014 -Programme Sélune Phase pré-arasement-volet biocénoses aquatiques.
- Martignac, F., Daroux, A., Baglinière, J.-L., Ombredane, D. & Guillard, J. (2015). The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. *Fish and Fisheries*, **16**, 486-510.
- Martyn, C.L., & Baras, E. (2000). Methods for studying spatial behavior of freshwater fishes in the natural environment. *Fish and Fisheries*, **1**, 283-316.
- Maxwell, S.L. & Gove, N.E. (2004). The feasibility of estimating migrating salmon passage rates in turbid rivers using a dual frequency identification sonar (DIDSON). *Regional Information Report*, No. 2A04-05.
- Mills, D. (1971). *Salmon and trout: A resource, its ecology, conservation and management*. Oliver and boydn. Edinburgh.
- Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M. & Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river system. *Science (New York, N. Y.)*, **308**, 405-408.
- ONEMA (2008). Plan français de mise en œuvre des recommandations de l'OCSAN en matière de protection, de gestion et de mise en valeur du saumon atlantique et de son habitat.
- Page, L.M. & Burr, B.M. (1991). A field guide to freshwater fishes of North America north of Mexico. *Houghton Mifflin Company*, Boston. 432 p.
- Perrier, C., Guyomard, R., Baglinière, J.-L., Evanno, G. (2011). Determinants of hierarchical genetic structure in Atlantic salmon populations: environmental factors vs. anthropogenic influences. *Molecular biology*, **20**, 4231-4245.
- Persson, P., Sundell, K., Bjornsson, T. & Lundqvist H. (1998). Calcium metabolism and osmoregulation during sexual maturation of river Atlantic salmon. *Journal Fish Biology*, **52**, 334-349.

- Petreman, I.C., Jones & N.E., Milne, S.W. (2014). Observer bias and subsampling efficiencies for estimating the number of migrating fish in rivers using Dual-frequency Identification SONar (DIDSON). *Fisheries Research*, **155**, 160-167.
- Prévost, E. & Baglinière, J.-L. (1995) Présentation et premiers éléments de mise au point d'une méthode simple d'évaluation en eau courante, du recrutement en juvéniles de saumon atlantique (*Salmo salar*) de l'année. In : Gascuel D. (ed.), Durand J.L. (ed.), Fonteneau Alain (ed.). Les recherches françaises en évaluation quantitative et modélisation des ressources et des systèmes halieutiques : actes du colloque. Paris : ORSTOM, pp. 39-48. (Colloques et Séminaires). Forum halieumétrique : session 1 : Dynamique des Ressources Halieutiques, Rennes.
- Quinn, T.P. (1993). A review of homing and straying of wild and hatchery-produced salmon. *Fisheries Research*, **18**, 29-44.
- Rakowitz, G., Tušer, M., Riha, M., Juza, T., Balk, H., Kubecka, J. (2011). Use of high-frequency sonar (DIDSON) to observe fish behaviour toward a surface trawl
- Rand, P.S. & Fukushima, M. (2014). Estimating the size of the spawning population and evaluating environmental controls on migration for a critically endangered Asian salmonid. Sakhalin taimen, *Global Ecology and Conservation*, **2**, 214-225.
- Rivot, E. (2003). *Investigations bayésiennes de la dynamique des populations de Saumon atlantique (Salmo salar)*. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, spécialité halieutique, Rennes.
- SAGE Sélune. (2007). *SAGE de la Sélune – Pour une gestion équilibrée de l'eau et des milieux aquatiques*.
- Sauvadet, C. (2015). *INRA, 1036 (U3E), Pôle ONEMA INRA GEST'AQUA, CNICS, F-35042, Rennes, France*.
- Sanchez, F., Prouzet, P., Diner, N., Lissardy, M., De Casamajor, M.-N. & Cuende, F.X. (2002). *Observations acoustiques sur la remontée du Saumon atlantique (Salmo salar) dans l'estuaire de l'Adour (1999-2001)*. IFREMER ; Institution Adour.
- Smith, I.P. & Smith, G.W. (1997). Tidal and diel timing of river entry by adult Atlantic salmon returning to the Aberdeenshire Dee, Scotland. *Journal of Fish Biology*, **50**, 463-474.
- Solomon, D.J. (1978). Migration of smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta* L.) in a chalkstream. *Env. Biol. Fish.* Vol 3, **2**, 223-229.
- Stasko, A.B. (1971). Review of Field Studies on Fish Orientation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **188**, 12-29.
- Swain, A. & Champion, A.S. (1969). Upstream movements of migratory salmonids in relation to river flow on the RiverAxe, Devo. *ICES Anadromous and Catadromous Fish Committee*, pp. 1-7. CM.
- Thioulouse, G. (1972). *Le comportement du saumon. Essai d'éthologie du saumon de l'Allier*. Plein Air Service, Clermont-Ferrand.

- Thomas, O. (2015). *Sur la présence du saumon (et d'autres poissons) dans la Sélune avant la construction du barrage de la Roche-Qui-Boit*. ANR REPPAVAL.
- Thorstad, E. B., Økland, F., Aarestrup, K., Heggberget, T.G. (2008). Factors affecting the within-river spawning, with emphasis on human impact. *Fish Biol Fisheries*, **18**, 345-371.
- Tušer, M., Frouzová, J., Balk, H., Muška, M., Mrkvička, T. & Kubečka, J. (2014). Evaluation of potential biases in observing fish with a DIDSON acoustic camera. *Fisheries Research*, **155**, 114-121.
- UICN France, MNHN, SFI & ONEMA (2010). La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Paris, France
- Vergnault, M. (2013). Quelles biostatistiques pour quelles études ? *Kinesither Rev* 2013, **138**, 25-30.
- Waine, M.W. (2010). *Assessing Spawning Runs of Anadromous Fishes Using a Bayesian Analysis of Split-beam and DIDSON Count Data*. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.
- Wang, Q.G., Du, Y.H., SU, Y. & Chen, K.Q. (2012). Environmental Impact Post-Assessment of Dam and Reservoir Projects: A Review. *Procedia Environmental Sciences*, **13**, 1439-1443.
- Zhang, H., Wei, Q. & Kang, M. (2014). Measurement of swimming pattern and body length of cultured Chinese sturgeon by use of imaging sonar. *Aquaculture*, **434**, 184-187.

Annexe 1 : paramètres exportés dans le protocole initial

Num	Nom Paramètre	Unité	Description
5	Track Date	dmy	Jour, mois et année où la cible est détectée (jj.mm.aaaa)
6	Track time 1	hms	Heure de passage de la cible
8	Duration	sec	Temps total entre le premier et le dernier écho
9	# Echoes	#	# nombre d'échos pendant le passage
22	Fish length	cm	Longueur de la cible
26	R (c.g)	m	Distance moyenne entre la camera et la cible
27	Start pos x	m	Position du premier écho selon l'axe x (perpendiculaire au faisceau de détection de la caméra)
29	Start pos z	m	Position du premier écho selon l'axe z (parallèle au faisceau)
36	Aspect-angle	deg	Angle de passage par rapport à la perpendiculaire du faisceau
41	Change Dir X	#	Changement de direction selon l'axe x
45	Crossing Alo axis	#	Franchissement de l'axe médian du faisceau
56	Speed First/Last	m/s	Vitesse entre le premier et le dernier écho. $\sqrt{V_x^{FirstLast^2} + V_y^{FirstLast^2} + V_z^{FirstLast^2}}$
57	Mean(Echo Speed)	m/s	Vitesse moyenne entre tous les échos
59	Vx First Last	m/s	Vitesse algébrique selon l'axe x entre le premier et le dernier écho
89	Mean area -6dB	m ²	Surface moyenne mesurée -6dB en-dessous du pic
90	Width/Height -6dB	-	Width/Height= (nombre de détections / longueur moyenne de l'écho). mesuré -6dB en-dessous du pic
101	Mean area -12dB	m ²	Surface moyenne mesurée -12dB en-dessous du pic
102	Width/Height-12dB	-	Width/Height= (nombre de détections / longueur moyenne de l'écho). mesuré -12dB en-dessous du pic
111	Mean area -18dB	m ²	Surface moyenne mesurée -18dB en-dessous du pic
112	Width/Height-18dB	-	Width/Height= (nombre de détections / longueur moyenne de l'écho). mesuré -18dB en-dessous du pic

Annexe 2 : catégories d'erreurs pour le classement dans la base de données

Erreur	Description	Commentaires éventuels
01	Objet dérivant	Canoë, branchages
02	Ombres de poissons	
03	Agglomération de cibles	
04	Dévalaison	
05	Demi-tour	
06	Poisson trop petit pour être un saumon	
07	Autre espèce	Espèce migratrice ou résidente + justification (comportement trophique)
08	Banc de poisson qui stabule	Gamme de taille des poissons
09	Banc de poisson qui traverse	Gamme de taille des poissons
10	Saumon déjà pisté	Numéro du poisson
11	Parasites dus à un problème technique	Justification (sortie de l'eau du DIDSON...)
12	Poisson non mesurable	Bas du faisceau, côté du faisceau

Annexe 3 : description des paramètres utilisés pour les filtres

Mean Echo Speed est la vitesse moyenne de la cible pistée. Elle est exprimée en m.s-1 et calculée en faisant la moyenne de la vitesse de chaque écho constituant le passage de la cible. Ce paramètre est déjà utilisé dans le protocole initial avec seulement un seuil minimal.

Mean Area 6dB est un proxy de la surface que représente la cible, alors visualisée en 2 dimensions et donc exprimée en m². Ce paramètre est une moyenne de la surface occupée par la cible sur l'ensemble des images que constituent le passage à 6dB en dessous du pic d'intensité maximale.

Dist First Last X est la distance parcourue par la cible entre le premier et le dernier écho, selon l'axe X (parallèle aux berges). Elle est exprimée en mètres.

Echo std 6dB est un proxy de la distance entre le centre de gravité (où le pic de détection est le plus fort) et un pic plus mineur, à la périphérie de la cible.

Aspect Angle estime l'angle de passage de la cible en utilisant les distances entre deux échos selon les axes X et Y (Figure Annexe 3). L'arctangente de la division de ces distances (dz/dx) donne l'angle de passage. **Aspect Angle** est formé par la moyenne de tous les angles entre deux échos.

$$\text{Aspect Angle} = \arctan(dz/dx)$$

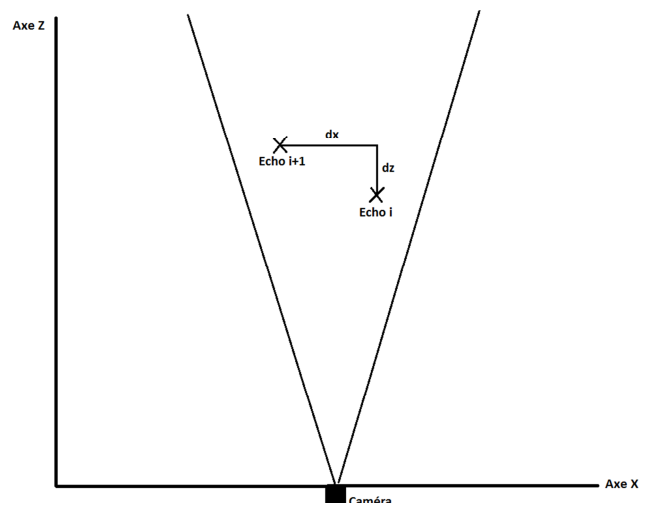



Figure Annexe 3 : calcul de **Aspect Angle**

Smoothness 1 est un indicateur de la trajectoire. Ce paramètre est la distance entre le premier et le dernier écho divisée par la somme des distances entre chaque écho. Il prend donc une valeur d'autant plus proche de 1 que sa trajectoire est rectiligne. **Smoothness 1** est compris entre 0 et 1.

	Diplôme : Ingénieur agronome Spécialité : halieutique Spécialisation / option : REA (Ressources et écosystèmes aquatiques) Enseignant référent : Etienne Rivot
Auteur(s) : Anne Mouget Date de naissance* : 30 mars 1992	Organisme d'accueil : INRA Rennes Adresse : 65 rue de Saint Briec, 35000 Rennes
Nb pages : Annexe(s) : 3	Maîtres de stage : Clarisse Boulenger, Aurélie Daroux, Jean Guillard et François Martignac
Année de soutenance : 2016	
Titre français : Utilisation d'une caméra acoustique DIDSON pour décrire la dynamique migratoire des saumons atlantiques de la Sélune : optimisation de la méthode d'analyse et étude de l'influence des conditions environnementales sur leur migration	
Titre anglais : Using an acoustic camera DIDSON to describe migratory dynamic of Atlantic salmon in the Sélune river : optimization of the analysis method and study of environmental conditions influence on their migration	
Résumé (1600 caractères maximum) : Une caméra acoustique, le DIDSON, enregistre en continu sur un tronçon de la Sélune, fleuve qui se déverse dans la baie du Mont-Saint-Michel. Ce dispositif a pour objectif de reconnaître les saumons en montaison et d'étudier leur dynamique de migration. Un protocole de pistage semi-automatique est utilisé pour traiter les données. Il existe plusieurs pistes d'améliorations de ce protocole. Cinq scénarios sont explorés, à la fois pour réduire les faux positifs et les faux négatifs. Les faux positifs sont des cibles considérées par le protocole comme des saumons mais qui n'en sont pas. Les faux négatifs sont des saumons qui ne sont pas comptabilisées par le protocole. Une fois les données traitées, celles-ci sont mises en relation avec des données environnementales afin d'explorer la dynamique migratoire du saumon. Deux échelles sont utilisées : la journée et l'heure. Les modèles sont des modèles delta. Aucun des modèles de présence/absence n'est significatif. Dans le modèle sur données strictement positives à l'échelle de la journée, la température de l'avant-veille est significative avec une pente négative. Dans le modèle sur données strictement positives à l'échelle de l'heure, huit variables sont significatives : moyenne de température de l'heure, 1 heure et 3 heures auparavant, turbidité de l'heure et de 3 heures auparavant, hauteur d'eau 1 heure auparavant et l'heure par rapport à la pleine mer.	
Abstract (1600 caractères maximum) : An acoustic camera, the DIDSON, record continuously on the Sélune river, which pour on the Mont-Saint-Michel Bay. This installation is used to recognize upstreaming salmon and study their migratory dynamic. A semi-automatic tracking protocol is used to process data. There are several ways to improve this protocol. Five scenarios are explored to reduce false positives and false negatives. False positives are considered as salmon by the software but they are not. False negatives are salmon that are not counted by the protocol. Once data processed, they are correlated with environmental factors in order to know the salmon migratory dynamic. Two scales are used: day and hour. Models are delta models. No presence/absence model is significant. With the model on strictly positives data, on the day scale, the day-before temperature is significant. . With the model on strictly positives data, on the hour scale, eight variables are significant: temperature of the hour, one hour and three hours before, turbidity of the hour and three hours before, water level one hour before and hour from the high water.	
Mots-clés : caméra acoustique, DIDSON, saumon atlantique, migration Key Words: acoustique camera, DIDSON, Atlantic salmon, migration	

* *Elément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires*