



HAL
open science

Rapport d'étude : Estimation des flux de salmonidés sur la Sélune (cas d'étude 1)

Clarisse Boulenger, François Martignac, Marie Nevoux, Jean-Marc Roussel,
Laurent Beaulaton

► To cite this version:

Clarisse Boulenger, François Martignac, Marie Nevoux, Jean-Marc Roussel, Laurent Beaulaton. Rapport d'étude : Estimation des flux de salmonidés sur la Sélune (cas d'étude 1). [Rapport de recherche] OFB; INRA. 2016. hal-03612846

HAL Id: hal-03612846

<https://hal.science/hal-03612846v1>

Submitted on 18 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Fiche action

Convention ONEMA-INRA
INRA_2016_017_01

2016

Rapport d'étude : Estimation des flux de salmonidés sur la Sélune (cas d'étude 1)



**Clarisse Boulenger (INRA, UMR
ESE)**

**François Martignac (Asconit
Consultant)**

**Marie Nevoux (INRA UMR ESE,
Pôle Gest'Aqua ONEMA-INRA)**

**Jean-Marc Roussel (INRA UMR
ESE, Pôle Gest'Aqua ONEMA-
INRA)**

**Laurent Beaulaton (AFB, Pôle
Gest'Aqua ONEMA-INRA)**

Table des matières

1.	Contexte général de la fiche action	3
2.	Structure générale du modèle hiérarchique bayésien	4
3.	Le cas d'étude Sélune.....	5
3.1.	Contexte.....	6
3.2.	Le site de suivi	6
3.3.	Le fonctionnement et traitement des données du DIDSON sur la Sélune.....	7
3.4.	Le fonctionnement et le traitement des données de l'échosondeur sur la Sélune	9
3.5.	Le modèle hiérarchique appliqué au cas Sélune.....	10
3.5.1.	Les données	10
3.5.2.	Le modèle.....	13
3.6.	Les premières analyses : Cartographie des faisceaux de détection et intercalibration des données	13
3.7.	Conclusions	15
4.	Test du modèle à l'aide de données simulées	16
4.1.	16 jeux de données tests	16
4.2.	Recherche du couplage de données le plus informatif.	17
4.3.	Conclusions	21
5.	Perspectives	21
6.	Bibliographie.....	22

1. Contexte général de la fiche action

La compréhension du fonctionnement des populations animales en interaction avec leur écosystème est l'un des enjeux majeurs en écologie et c'est un pré requis essentiel pour la gestion efficace des populations.

Pour de nombreuses espèces de poissons, la réalisation du cycle de vie se fait via l'utilisation successive de plusieurs habitats, chacun ayant un rôle fonctionnel bien spécifique (reproduction, alimentation ou repos). Pour satisfaire ces différents besoins vitaux, les individus effectuent des déplacements entre ces habitats et ce à différentes échelles spatiales (de quelques centimètres à plusieurs centaines de kilomètres) et temporelles (journaliers, saisonniers,...). Alors que pour la plupart des espèces ces changements d'habitats et les migrations associées se font au sein d'un même milieu, le cycle de vie des espèces diadromes (Myers, 1949) est partagé entre deux phases, une en milieu marin et l'autre en milieu dulçaquicole.

Ces espèces diadromes, bien qu'elles représentent moins d'1% des espèces de poissons dans le monde, jouent un rôle écologique et socio-économique prépondérant (McDowall, 1988 ; Limburg & Waldman, 2009). En effet, grâce à leur cycle de vie particulier, elles contribuent aux transferts de matière organique à travers le *continuum* terre-mer (Helfman 2007) et certaines espèces ont un rôle socio-économique très important. En effet, Moriarty et Dekker (1997) mettaient en évidence que, en plus des pêcheurs, 25 000 personnes dans les zones rurales tirent un revenu de l'exploitation de l'anguille européenne.

Cependant, ce cycle de vie particulier partagé entre deux milieux expose ces espèces aux pressions environnementales et anthropiques propre à chaque milieu. Depuis plusieurs années cette accumulation de pressions a provoqué un fort déclin des populations. En effet, en étudiant l'évolution temporelle de 24 espèces diadromes (22 anadromes et 2 catadromes) présentes dans la région Atlantique nord, Limburg & Waldman (2009) ont démontré que les abondances de ces espèces avaient chuté de plus de 98% pour 13 d'entre elles et de plus de 90% pour les 11 autres par rapport aux niveaux historiques de référence. De ce fait, la plupart des espèces diadromes ont été classées par l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) sur la liste rouge des espèces menacées (saumon atlantique, *Salmo salar*) ou en danger critique d'extinction (esturgeon atlantique, *Acipenser oxyrinchus*; anguille européenne *Anguilla anguilla*) (IUCN, 2014). Les raisons de ces déclin sont multiples et peuvent être spécifiques à chaque espèce, cependant ces populations sont toutes affectées par un ensemble commun de facteurs (Limburg & Waldman, 2009), parmi lesquels : la surpêche, la perte ou la dégradation de l'habitat et le changement climatique.

La gestion de ces poissons diadromes est donc complexe car elle implique de s'attaquer de façon coordonnée aux multiples sources de perturbation des populations qui agissent à différentes étapes du cycle de vie et de comprendre les stratégies développées individuellement face à ces perturbations. Ceci implique donc de bien comprendre le fonctionnement de la dynamique des populations en lien avec leur environnement. Par

ailleurs, en France la stratégie de gestion des poissons migrateurs, définie par la STRANAPOMI (Stratégie Nationale de gestion des Poissons Migrateurs), recommande d'améliorer le suivi des populations et des captures (orientation 18, STRANAPOMI).

C'est dans ce contexte que notre travail s'inscrit. En effet, les stations de comptage des poissons migrateurs produisent des séries temporelles d'effectifs de poissons observés sur un grand nombre de cours d'eaux. Néanmoins, les dispositifs en place ne permettent souvent d'obtenir qu'une observation partielle des flux de poissons (couverture du dispositif d'observation inférieure à la largeur/hauteur du cours d'eau, efficacité du dispositif dépendante du débit ou de la turbidité). Les effectifs dénombrés sont donc plus ou moins fortement différents des flux réels de poissons, et en l'absence d'une estimation des abondances, l'interprétation et la comparaison spatio-temporelle des données issues de ces stations de comptage est délicate.

L'objectif de cette action est donc de proposer des outils pour estimer l'efficacité de détection des systèmes d'observations en place et l'abondance des poissons (stock en place ou de flux migrants). Cette action propose une approche de type « boîte à outils » dédiée aux poissons migrateurs qui sera mise en œuvre et testée sur deux sites différents, et dont la vocation est d'être transférée aux les gestionnaires pour une utilisation sur d'autres cours d'eaux. Il s'agira de proposer une méthodologie pour estimer les stocks de poissons grâce à un couplage entre méthodes : observations et modélisation. Elle devra pouvoir s'appliquer à des cas de figure très divers comme l'estimation de stocks en place (ex anguilles jaunes) ou des flux migratoires (ex salmonidés). Il s'agira d'offrir une solution technologique à déployer lors d'expérimentations temporaires sur les stations de surveillance, en complément des méthodes d'observation en place (STACOMI, inventaires, DIDSON, vidéo-comptages, etc...). Les nouvelles données acquises lors de ces expérimentations seront incorporées aux données existantes (par ex, captures par piégeage, inventaires par pêche électrique) pour calibrer un modèle hiérarchique d'estimation d'abondance prenant explicitement en compte une observation partielle de la population. Cette méthodologie devrait apporter une plus-value aux gestionnaires grâce à une meilleure compréhension de la dynamique de ces populations, de la capacité d'accueil d'un système, et la possibilité de produire des points de référence pour la gestion de populations exploitées. Au cours du projet, l'approche sera mise en œuvre sur deux cas d'étude différents.

Les résultats présentés ici sont ceux du premier cas d'étude : la Sélune.

2. Structure générale du modèle hiérarchique bayésien

Le premier objectif de ce travail a été de construire un modèle hiérarchique bayésien permettant l'exploitation de données couplées (issues de deux appareils indépendants) pour estimer les probabilités de détection des deux appareils et l'abondance de migrateur.

L'utilisation de cette approche de modélisation permet l'analyse de jeux de données importants et hétérogènes en traitant conjointement des données riches et pauvres et issus de différentes sources. Ces modèles permettent également de considérer explicitement les différentes sources d'incertitudes dans les estimations et les prédictions. Finalement ils permettent selon leur structure d'être transposable à des cas d'études différents.

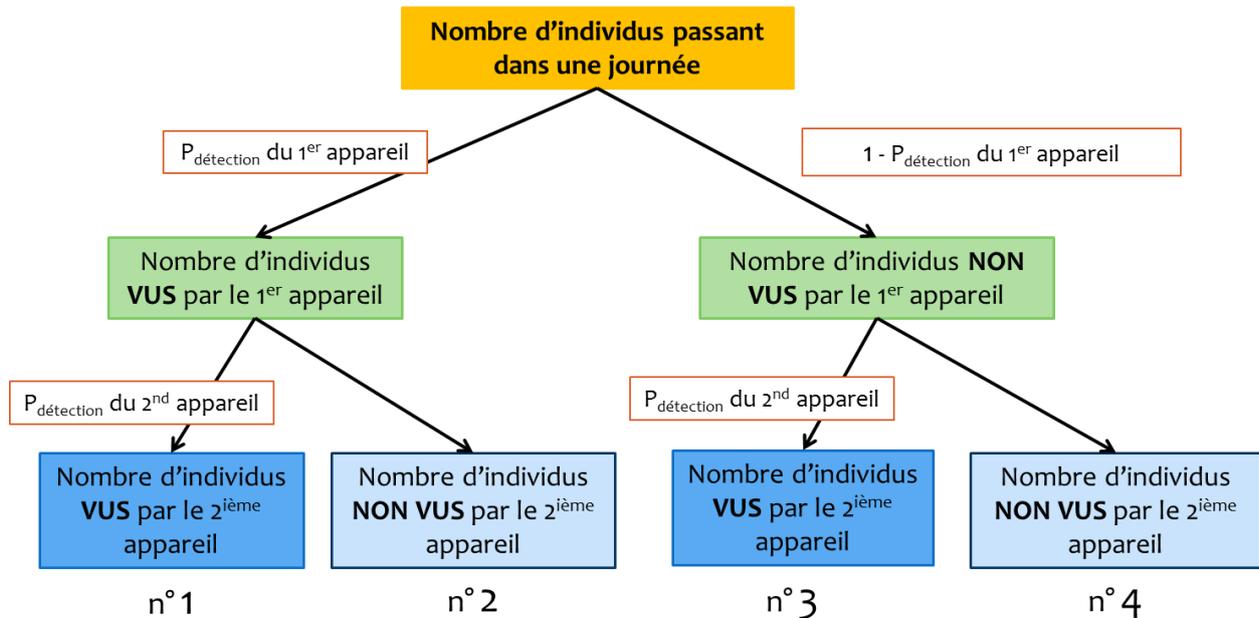


Figure 1 : Structure générale du modèle s'appuyant sur les différents cas pouvant être rencontrés. Dans la structure actuelle la probabilité de détection du 2^{ième} appareil est la même que les individus soient vus ou non par le 1^{er} appareil.

La structure générale du modèle (Fig.1) s'appuie sur les 4 différents cas qui peuvent être rencontrés quel que soit l'espèce ou le système d'observation déjà en place:

- 1 : L'individu est vu par les deux appareils d'observation lors de son passage.
- 2 : L'individu est vu par le 1^{er} appareil d'observation mais pas par le deuxième.
- 3 : L'individu n'est pas vu par le 1^{er} appareil d'observation mais il est vu par le deuxième.
- 4 : L'individu n'est vu par aucun appareil d'observation

Selon les protocoles d'échantillonnage utilisés pour l'un ou l'autre des appareils, la structure du modèle peut facilement être modifiée.

3. Le cas d'étude Sélune

3.1. Contexte

Dans le cadre du programme de restauration écologique sur la Sélune (un projet central du Pole Gest'Aqua, qui pilote la cellule de coordination scientifique et pluridisciplinaire), un suivi de l'évolution des caractéristiques biologiques des poissons diadromes et un diagnostic de l'état de leurs populations ont été effectués en ciblant particulièrement une espèce emblématique : le saumon atlantique. Pour cela, une caméra acoustique DIDSON a été installée en juillet 2013 et a permis de mettre au point une méthode de comptage des saumons. Cependant la méthodologie actuelle ne permet pas de prendre en compte une observation partielle du stock pour estimer au mieux les flux de migration. La Sélune ayant été sélectionnée comme premier cas d'étude (facilité d'accès, suivi continu, facilité de mettre en place des expérimentations) pour tester le modèle d'estimation des flux, un second appareil d'observation a été placé en parallèle du DIDSON. Il s'agit d'un échosondeur de type SIMRAD EY500 prêté par l'UMR CARTEL (INRA-Université de Savoie) à Thonon les bains.

3.2. Le site de suivi

La caméra acoustique DIDSON est installée en amont immédiat du Vieux Pont de Ducey, sur le parking de l'hôtel « le Moulin de Ducey » (Fig. 2). Le site se situe à 10 km en amont de l'embouchure de la Sélune, et 8,5 km en aval du premier barrage infranchissable (la Roche qui Boit).

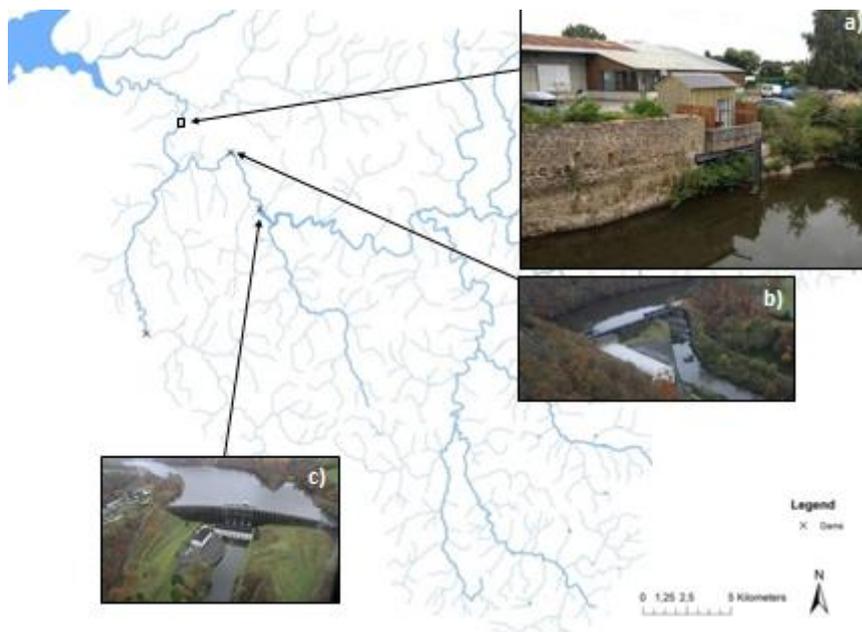


Figure 2: Localisation du site de suivi de populations de poissons migrateurs a) et des deux barrages sur la Sélune (La Roche qui Boit b) et Vezins c)).

Ce site a été choisi en raison d'un profil bathymétrique adapté et la présence d'un seuil en aval qui garantit une immersion constante du DIDSON, et limite la stabulation des saumons.

Un support spécifique permet de fixer le DIDSON, un sondeur EY500, un courantomètre, deux enregistreurs de température et un turbidimètre. Ce support coulisse le long d'une poutre verticale grâce à l'action d'un treuil. Les enregistreurs peuvent donc être placés à une profondeur optimale dépendante des conditions hydrologiques.

Les travaux d'installation se sont terminés le 26 juillet 2013, jour à partir duquel la caméra acoustique DIDSON a été mise en fonctionnement (Figure 3). Les acquisitions du DIDSON sont continues depuis cette date. Un panneau « Station de comptage des poissons migrateurs » et une affiche explicative ont été installés sur l'abri. Cette communication permet d'apporter aux riverains et aux visiteurs quelques éléments d'informations sur l'utilité et le fonctionnement de cette installation.

3.3. Le fonctionnement et traitement des données du DIDSON sur la Sélune



Figure 3: La caméra acoustique DIDSON

Le DIDSON (Fig. 3) est un sonar à haute fréquence multi-faisceaux, avec un système acoustique à lentille unique conçue pour concentrer le faisceau afin de créer des images hautes résolutions. Ces images d'une résolution proche de vidéos sous-marines permettent de visualiser la

morphologie et les comportements de nage des poissons qui passent dans le faisceau contrairement à un échosondeur qui renvoie une intensité d'écho (en dB) proportionnelle à la taille de la cible.

Développé initialement par l'Applied Physics Lab (APL) de l'Université de Washington pour permettre aux plongeurs d'identifier des mines dans des eaux turbides, le DIDSON crée des images semblables à des vidéos (Belcher *et al.*, 2001; Belcher *et al.*, 2002). Il possède deux fréquences 1,8 et 1,1 MHz. Le faisceau haute-fréquence est divisé en 96 faisceaux de 0,3° par 14° avec une portée maximale de 10 mètres. Le faisceau de 1,1 MHz est divisé en 48 faisceaux de 0,4° par 14° avec une portée de 40 mètres. Le champ de vision du DIDSON s'étale sur 29° horizontalement et 14° verticalement pour les deux fréquences (Maxwell, 2007). La lentille acoustique peut se focaliser à partir d'une distance d'un mètre.

Les données du DIDSON sont collectées dans deux dimensions, avec une résolution dans les dimensions X et Y (axe horizontal et profondeur), mais pas dans la dimension verticale Z. Ainsi, utilisé horizontalement avec le faisceau perpendiculaire à la berge, le DIDSON permet d'estimer la distance entre le poisson et le sonar, ainsi que le sens de déplacement de celui-ci, mais pas sa position dans la colonne d'eau. Contrairement à la précédente génération d'échosondeurs émettant des ondes acoustiques à des fréquences plus faibles (communément 38, 70, 120 ou 200 kHz), les fréquences des émissions du DIDSON sont très élevées (1 100 et 1 800 kHz), permettant une visualisation concrète de l'activité biologique dans le faisceau. La résolution des données (proche de celle d'une vidéo) et la large ouverture du faisceau de

détection (29°x14°) permettent d'observer la morphologie des poissons et de décrire leur comportement.

Au niveau du site de suivi, la Sélune présente une forte richesse spécifique, en terme d'espèces migratrices : saumons, truites de mer, aloses, anguilles, lamproies marines et fluviatiles et aussi en terme d'espèces résidentes : gardons, brèmes, sandres, ... Cette multiplicité d'espèces complique le traitement des données et le rend très chronophage. En effet sur la Sélune, l'enregistrement via le DIDSON se fait de façon continue (24h/24, 7j/7) ce qui génère des données très volumineuses (200 Go par semaine environ) et un visionnage des données en continu trop complexe.

Pour limiter le temps de visionnage des données par l'opérateur, un protocole de traitement semi-automatique ciblant le saumon atlantique en montaison a été mis en place (Mis en place lors du projet Sélune, volet « Dispersion », financement AESN). Pour cela le logiciel de traitement de données acoustiques Sonar5-Pro a été utilisé. Ce logiciel permet la lecture automatique des enregistrements en détectant chaque passage d'un objet dans le faisceau de détection et en enregistrant pour chacun un certain nombre de paramètres (taille, vitesse, sens de migration, ...) qui permettront l'identification de l'objet. Une méthodologie de tracking spécifique aux saumons atlantiques a donc été mise en place (Fig. 4; Martignac, 2016) en utilisant les critères suivants :

1. la qualité de l'enregistrement (paramètres de tracking): les objets trop petits (<33cm) ou dont le nombre de détections est trop faible pour que le passage soit exploitable (<3 images consécutives) sont définitivement éliminés.
2. Les caractéristiques propres aux saumons sur la Sélune (filtre saumon): taille supérieure ou égale à 50 cm, -vitesse supérieure ou égale à 0.4 m.s-1 et migration -vers l'amont.

Chaque objet sélectionné par ces filtres est ensuite visualisé par un opérateur qui les classera au sein d'un de ces groupes : 1) vrai positif si l'opérateur considère que la cible est un saumon au regard de sa morphologie et de son comportement ou 2) faux positif si l'opérateur considère que c'est un objet différent d'un saumon (on considère tout au long du processus que le taux d'erreur de l'opérateur est nul). La sélection de ces faux positifs par les filtres intégrés est souvent liée au fait que les paramètres exportés par Sonar5-pro ne permettent pas une catégorisation fine des comportements des poissons qui permettrait une meilleure discrimination des objets détectés. Il est donc pour l'instant indispensable que l'opérateur visualise les sélections faites par les filtres.

Ce filtre spécifique aux saumons permet de diviser par 3 le temps de traitement des données par rapport à une visualisation complète de tous les fichiers sur le logiciel constructeur (Sound Metrics) mais elle reste à améliorer. En effet, sur le nombre total de cibles sélectionnées par le filtre entre août 2013 et mars 2016, seules 0.01 % sont validées visuellement comme étant des saumons atlantiques. De plus, une comparaison entre les données issues de ce filtre et les données issues de 24h de visualisation complète via le logiciel Sound Metrics a permis de mettre en évidence qu'en moyenne seulement 55% des saumons sont sélectionnés par le filtre actuel, ce pourcentage variant de 48 à 75% selon les journées (Stage de M2 d'Anne Mouget,

2016). Cette analyse met en évidence que le filtre n'est pas efficace à 100% et qu'un certain nombre de faux négatifs est produit. Cela devra être pris en compte dans le modèle d'estimation des flux de migration.

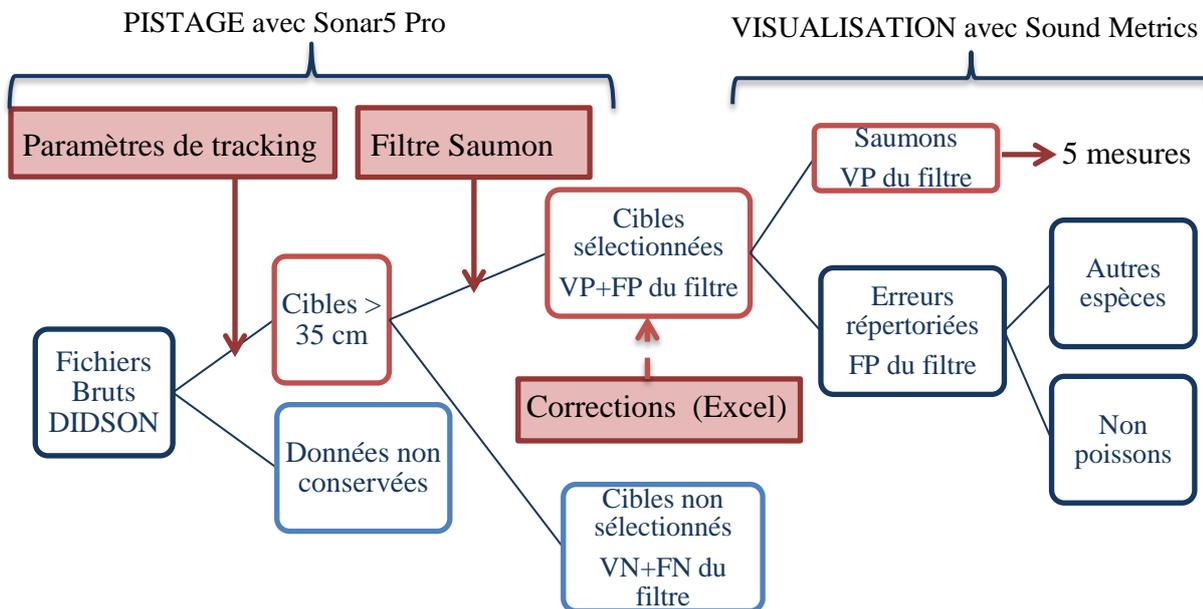


Figure 4: Représentation schématique de la méthodologie de « tracking » semi-automatique des saumons atlantiques (VP : vrai positif, VN : vrai négatif, FP : faux positif et FN : faux négatif) (issue du rapport 2015 projet Sélune, volet « Dispersion », financement AESN)

3.4. Le fonctionnement et le traitement des données de l'échosondeur sur la Sélune

Un échosondeur de type SIMRAD EY500 équipé d'un transducteur à faisceaux partagés a été ajouté sur site en complément du didson en Juillet 2014, Mars-Avril 2015, et entre octobre 2015 et février 2016. Un échosondeur émet des ondes sonores dans l'eau et en récupère les échos. L'intensité de ces échos est mesurée (en dB) et est proportionnelle à la taille de la cible. L'échosondeur utilisé dans cette étude possède un transducteur avec une ouverture de faisceau de 11° et une fréquence de 70kHz.

Les données enregistrées par l'échosondeur installé sur la Sélune sont analysées à l'aide du logiciel Sonar5-Pro. Les procédures mises en place lors du suivi des saumons atlantiques sur le Couesnon, fleuve voisin de la Sélune, entre 2010 et 2015 sont employées pour distinguer les saumons atlantiques des poissons d'autres espèces (Martignac *et al.*, 2013 ; Martignac, 2016). Les critères de sélection ont été définis volontairement de manière très restrictive pour ne pas inclure des poissons d'autres espèces dans les analyses et ne pas biaiser les interprétations, le risque de ne pas sélectionner un saumon est donc important. Ces critères se basent sur les caractéristiques comportementales (passage vers l'amont, vitesse de nage supérieure ou égale à 0,4 m.s⁻¹) et morphologiques (taille > 50cm) des saumons atlantiques. Contrairement au DIDSON, l'échosondeur ne permet pas une mesure directe de la taille sur les données enregistrées, la taille est estimée à partir de l'intensité acoustique de l'écho du

poisson, valeur physique proportionnelle à la taille de l'objet (Ona, 1999). Cette relation étant dépendante de l'espèce, d'après l'équation de Lilja *et al.* (2000), les échos de saumons d'une taille comprise entre 55 et 90 cm possèdent une intensité acoustique de -28 à -23 dB.

Si les données du DIDSON permettent de déterminer l'espèce grâce à la visualisation directe de la morphologie et du comportement du poisson sur des images, une telle vérification est impossible à partir des données de l'échosondeur. Ainsi, sur la Sélune, les saumons potentiels sélectionnés sur les données de l'échosondeur ne peuvent être validés que grâce à un couplage avec les données du DIDSON. De plus, le faisceau de détection de l'échosondeur étant nettement plus étroit que celui du DIDSON (11° contre 29°) et sa portée étant moins importante dans ce milieu, la majorité du volume couvert par l'échosondeur est compris dans le volume couvert par le faisceau du DIDSON. Pour ces deux raisons, il est très peu probable que des saumons soient enregistrés par l'échosondeur sans être enregistrés par le DIDSON.

3.5. Le modèle hiérarchique appliqué au cas Sélune

3.5.1. Les données

Le DIDSON enregistre en continu les passages de différentes espèces de poissons mais seulement une partie des données est visionnée par l'opérateur grâce au filtre. Ces données sont ensuite traitées par un opérateur pour éliminer les faux positifs créés par le filtre. Cela constitue le jeu de données continues DIDSON utilisé dans le modèle (Fig. 5).

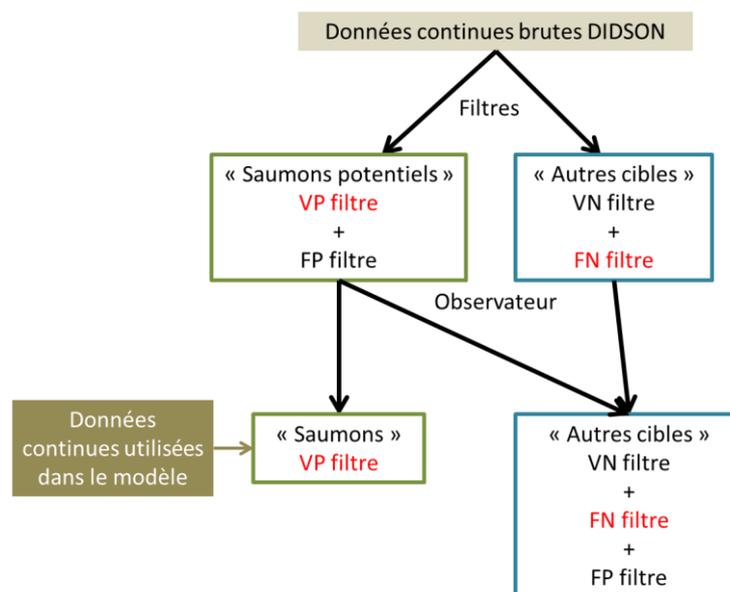


Figure 5 : Représentation schématique du traitement des données continues brutes du DIDSON (VP : vrai positif, VN : vrai négatif, FP : faux positif et FN : faux négatif).

Ainsi entre mi-août 2013 et janvier 2016, 1282 saumons ont été détectés par le filtre et validés par l'opérateur. Si l'on regarde à l'échelle d'une année, 690 saumons ont été détectés par le filtre et validés par l'opérateur en 2014 (entre 0 et 20 saumons à la journée, Fig. 6) contre 414 en 2015 (entre 0 et 22 saumons à la journée).

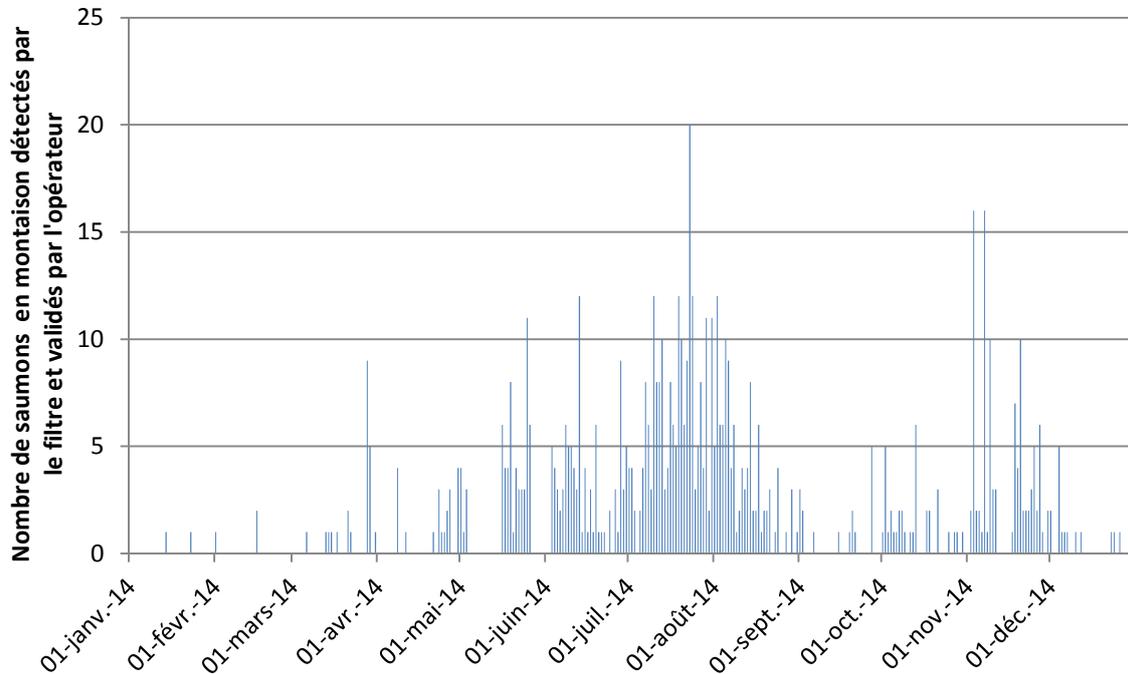


Figure 6 : Nombre de saumons en montaison détectés par le filtre du DIDSON et validés par l'opérateur entre le 01/01/2014 et le 31/12/2014.

Cependant le filtre n'étant pas efficace à 100% un certain nombre de saumons n'est pas sélectionné (faux négatif du filtre). Pour pouvoir séparer l'efficacité de l'appareil et celui du filtre, les données acquises certains jours sont visualisées intégralement sans l'utilisation du filtre, il s'agit des données 24h (Fig. 7).

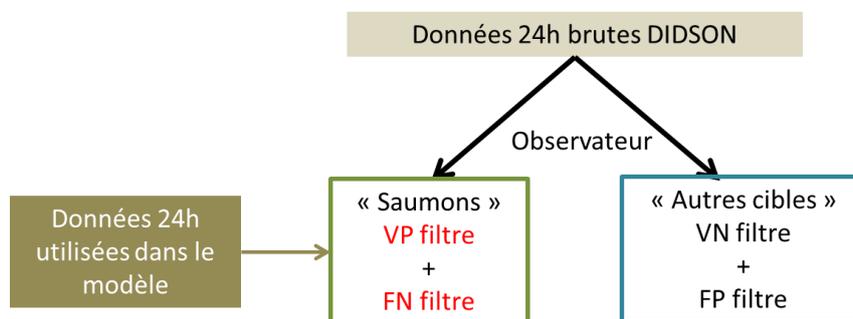


Figure 7 : Représentation schématique du traitement des données 24h brutes du DIDSON (VP : vrai positif, VN : vrai négatif, FP : faux positif et FN : faux négatif).

Pour l'instant peu de visualisations 24h ont été faites. Des tests avec des données simulées sont en cours pour évaluer le nombre de jours nécessaires à une bonne estimation des

paramètres. Lors du stage de M2 de Anne Mouget, trois jours complets de vidéos ont été visualisées (Tableau 1).

Tableau 1 : Résultats de 3 jours de visualisation complète sans le filtre des vidéos du DIDSON et comparaison avec les données continues (traitées par le filtre et l'opérateur).

Jour	Nombre de saumons identifiés comme saumon par le filtre	Nombre de saumons non identifiés comme saumon par le filtre	Nombre total de saumons enregistrés en 24h
07/11/14	15	16	31
20/07/14	11	7	18
26/06/14	3	1	4

Le processus est plus complexe concernant les données issues de l'échosondeur, la validation de l'espèce s'effectuant avec une visualisation par l'opérateur des vidéos issues du DIDSON (données continues, Fig. 8). Sur les données traitées actuellement (juillet 2014 et mars-avril 2015), seulement 18 saumons ont été détectés par le filtre et validés par l'opérateur (via les vidéos du DIDSON).

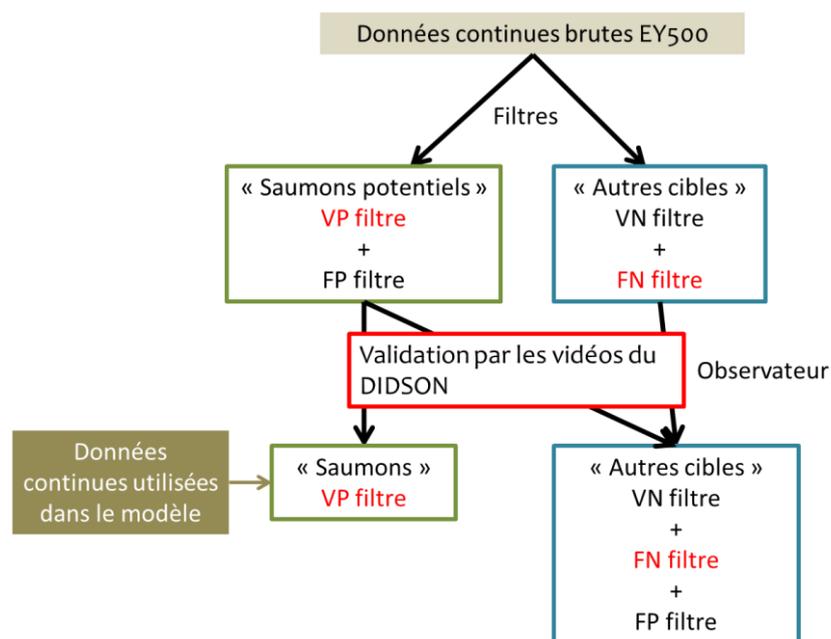


Figure 8 : Représentation schématique du traitement des données continues brutes de l'échosondeur EY500 (VP : vrai positif, VN : vrai négatif, FP : faux positif et FN : faux négatif).

3.5.2. Le modèle

La structure du modèle général (cf partie 2.) a été complexifiée pour s'adapter au cas Sélune. Des étapes sont ajoutées pour mieux rendre compte de l'utilisation de filtres sur les données produites par chacun des appareils (Fig. 9). Cette nouvelle structure permet de séparer la probabilité de détection de l'appareil (DIDSON ou échosondeur) de celle des filtres utilisés pour simplifier le traitement de données.

Dans les deux cas, on considère que l'opérateur est 100% efficace (pour détecter les saumons sur les vidéos et pour identifier l'espèce).

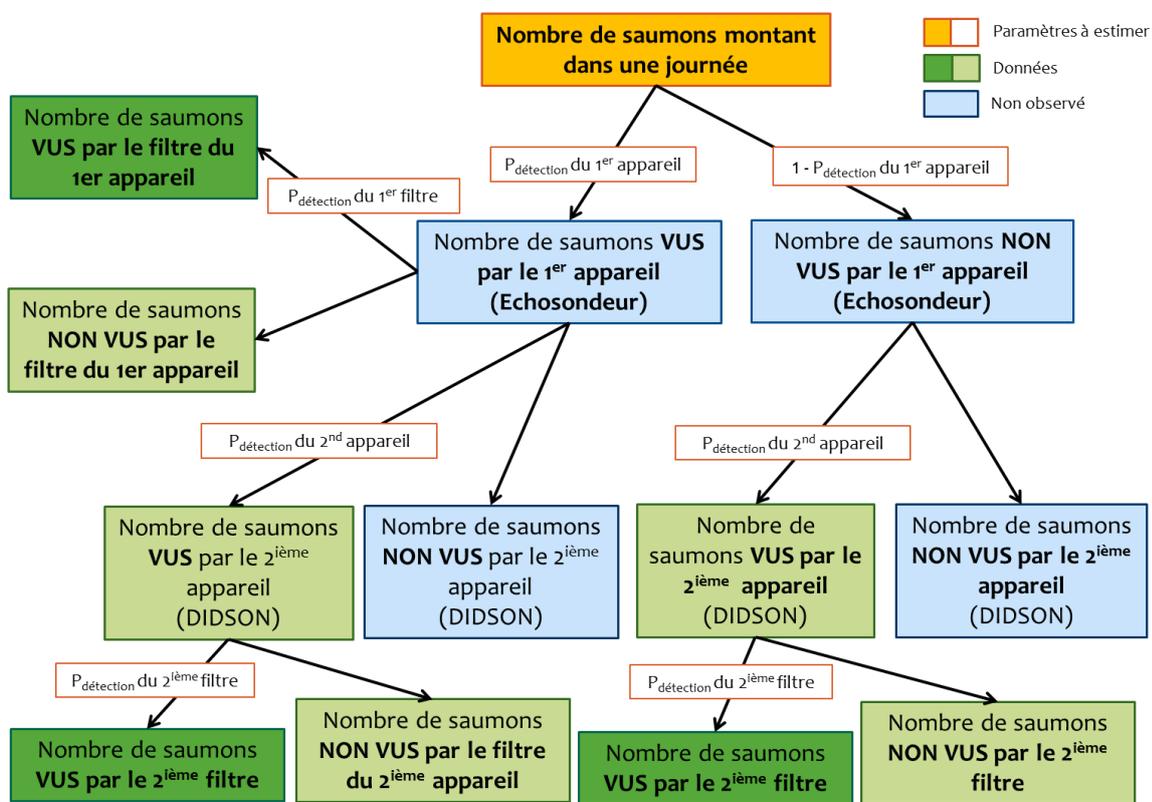


Figure 9 : Structure générale du modèle dans le cas Sélune s'appuyant sur les différents cas pouvant être rencontrés. Dans la structure actuelle la probabilité de détection du 2^{ème} appareil est la même que les individus soient vus ou non par le 1^{er} appareil

3.6. Les premières analyses : Cartographie des faisceaux de détection et intercalibration des données

Une première analyse des données couplées disponibles (juillet 2014 et mars-avril 2015, les données de la période octobre 2015-janvier 2016 ne sont toujours pas traitées) a montré qu'il y avait un décalage entre les temps et les distances enregistrées par les deux appareils pour

chaque objet détecté, ce qui se traduit par une difficulté à attribuer à un saumon donné une observation sur l'un ou l'autre des appareils. Il a donc fallu dans un premier temps faire une inter-calibration des deux appareils. Une expérimentation a donc été réalisée pour calculer ce décalage et aussi cartographier l'emprise réelle des faisceaux des deux appareils dans le cours d'eau, leur recouvrement et les possible zones de non-détection au sein de ces faisceaux (écho du fond trop fort, obstacles,...). Pour cela, en novembre 2015, une cible a été déplacée le long de 8 transects traversant le fleuve. Un cordage tendu d'une rive à l'autre associé à un tube de pvc relié à la cible et couissant le long du cordage a permis de tester la détection de la cible par les deux appareils tous les mètres à différentes profondeurs. Cette expérimentation a permis d'obtenir une cartographie 3D des faisceaux réels des deux appareils dans l'espace (Fig. 10).

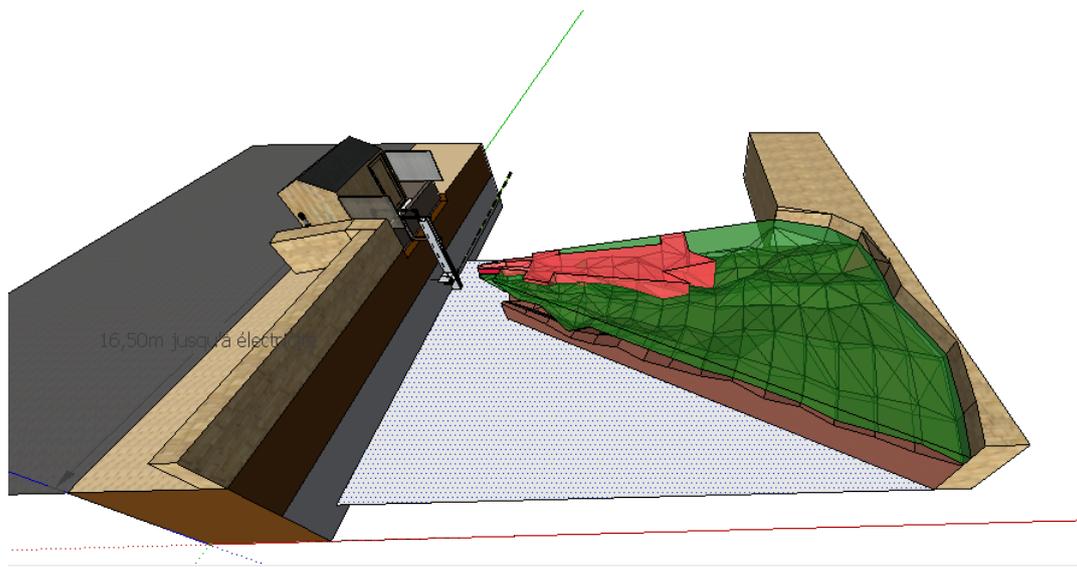


Figure 10: Cartographie 3D des faisceaux réels du DIDSON (en vert) et de l'échosondeur (en rose) sur le site de la Sélune.

Par ailleurs, les premières analyses des données issues de cette expérimentation montrent qu'il existe une différence de 50 à 108 cm dans l'interprétation de la position de la cible entre l'échosondeur et le DIDSON (Tableau 2) mais également que chaque jour un décalage des horloges a lieu entre l'ordinateur enregistrant les données de l'échosondeur et celui enregistrant les données du DIDSON.

Pour quantifier ce décalage temporel entre le 18/11/15 et le 03/02/16, l'heure (à la seconde près) a été relevée sur les deux ordinateurs qui ont été ensuite re-synchronisés lors de la relève des données par les opérateurs. L'analyse de ces données montre que le décalage n'est pas constant et qu'il varie entre -2.808 et + 2.434 s/Jour (Tableau 3). Ce décalage non constant rend difficile l'exploitation des données lorsque les deux ordinateurs ne sont pas re-synchronisés régulièrement et que le décalage n'est pas estimé. En effet, pour travailler sur l'ensemble de la période de combinaison des deux appareils, il faudrait prendre en compte des décalages de temps important (+/- 3 min) pour identifier si un saumon vu par un appareil est vu par l'autre appareil. De plus, cela ajoute une incertitude dans les données puisque si un saumon n'est pas vu par l'un des appareils cela pourra être dû soit à un problème de détection de l'appareil soit à un décalage choisi pas assez important.

3.7. Conclusions

Ces résultats mettent en évidence que des problèmes d'estimation pourront être rencontrés à cause de la non-indépendance des deux appareils et d'un traitement des données complexe (couplage des données des deux appareils difficile à cause d'une non-intercalibration des deux appareils. A cause de cela, la partie modélisation de la boîte à outils sur le cas Sélune est pour le moment non applicable ce qui rend impossible l'étude des flux de migrations de saumons atlantiques.

Cependant une estimation des flux de migration de saumons atlantiques sera réalisée courant 2017. En effet, une caméra acoustique ARIS (nouvelle génération de DIDSON) appartenant au pôle ONEMA-INRA Gest'Aqua sera installée en parallèle du DIDSON déjà en place pendant une période de mars à juillet 2017. Les appareils seront ainsi entièrement indépendants et les ordinateurs seront re-synchronisés à chaque passage d'un opérateur.

Tableau 2: Décalage de distance estimée entre les deux appareils sur un même transect et à même profondeur).

Distance réelle entre le DIDSON et le point de mesure en m	Distance DIDSON en m	Distance Sondeur en m	Décalage (DIDSON-Sondeur) en m
9	9,58	8,5	1,08
8	8,82	7,8	1,02
7	7,68	7,1	0,58
6	6,86	6,1	0,76
5	5,75	5	0,75
4	4,59	4	0,59
3	3,5	3	0,5
2	2,1	2,61	-0,51

Tableau 3 : Décalage d'horloge entre l'ordinateur enregistrant les données de l'échosondeur et celui du DIDSON.

Date	Heure sondeur	Heure DIDSON	Décalage (sondeur - DIDSON) en s	Temps depuis recalage DIDSON en s	Temps depuis recalage Echosondeur en s	décalage en s/Jour	Recalage (O/N)
18/11/2015	15:51:01	15:51:00	1	0			O
26/11/2015	10:16:00	10:16:19	-19	584719	584700	-2,808	N
16/12/2015	12:23:00	12:23:09	-9	2417229	2417220	-0,321	O
05/01/2016	15:18:37	15:18:00	37	1738440	1738477	1,839	N
12/01/2016	10:00:49	10:00:00	49	2325240	2325289	1,821	O
25/01/2016	11:18:46	11:18:15	31	1127775	1127806	2,375	N
03/02/2016	14:23:54	14:23:00	54	1916460	1916514	2,434	N

4. Test du modèle à l'aide de données simulées

La structure générale du modèle dans le cas de la Sélune sera quasiment équivalente à celle déjà proposée (Fig. 9) dans le cas de l'installation d'une seconde caméra acoustique (avec quatre probabilités de détection à estimer : 2 pour les appareils et 2 pour les filtres). Pour évaluer l'efficacité du modèle à estimer les probabilités de détection des 2 appareils et le nombre d'individus migrants, des données simulées (simulation de flux de saumons reproducteur sur une année, Fig. 11) ont été utilisées. L'utilisation de données simulées permet de comparer la performance du modèle par rapport aux valeurs des paramètres utilisées pour produire les données.

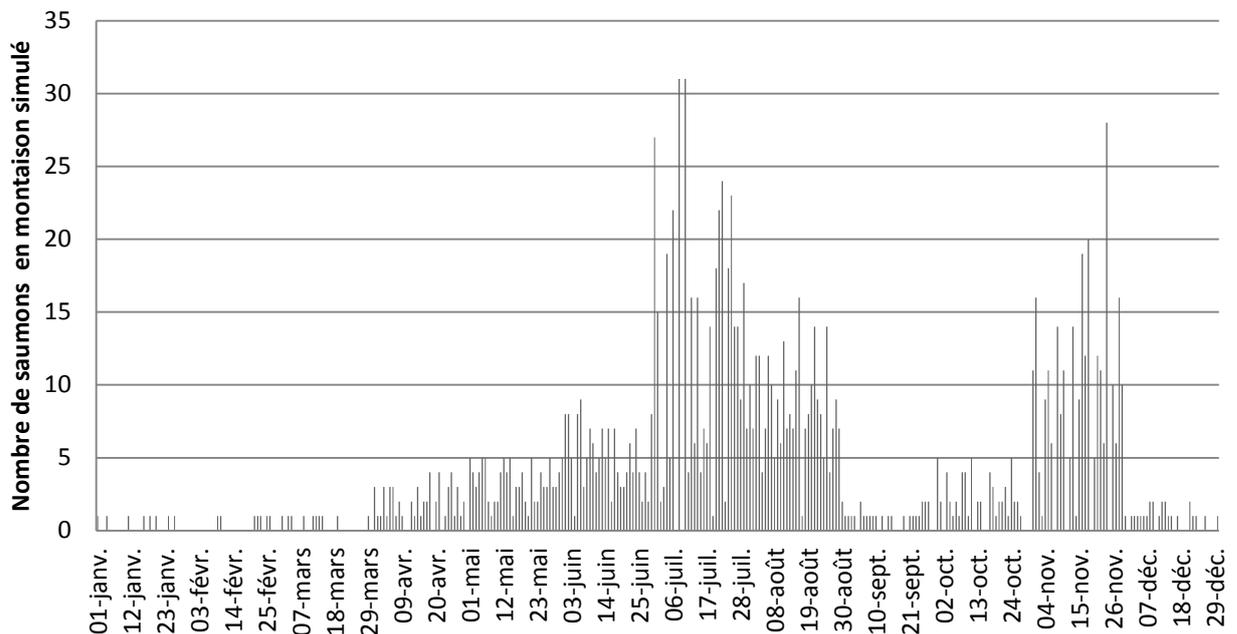


Figure 11: Données simulées représentant le nombre de saumons en montaison quotidiennement. Ces données servent à tester la puissance et la sensibilité du modèle en comparant le flux de migration estimé à celui simulé.

4.1. 16 jeux de données tests

Différentes modalités ont été testées ou sont encore à tester (probabilité de détection basse ou élevée, nombre d'individus migrants bas ou élevé) pour évaluer dans quelles conditions le modèle est efficace.

Dans un premier temps nous avons simulé un flux de migration équivalent à celui attendu sur la Sélune avec un nombre total de saumons remontant dans l'année égal à 1376 (Fig. 11). Ensuite pour produire des données utilisables, différentes probabilités de détection pour mimer l'effet d'une observation imparfaite par les appareils et les filtres ont été testées (élevée : 0.7 ou basse : 0.2). Cela a permis d'obtenir 16 jeux de données de référence (Tableau 4) pour tester la performance du modèle et voir s'il était capable d'estimer convenablement

l'ensemble des paramètres dans les différents cas (valeur simulée incluse dans l'intervalle de confiance estimé).

Tableau 4: Description des 16 jeux de données utilisés pour tester le modèle avec les modalités à estimer pour chaque probabilité de détection (basse :0.2 ou élevée : 0.7).

Jeux de données	Nombre annuel de poisson à estimer	Probabilité de détection du 1er appareil à estimer	Probabilité de détection du 1er filtre à estimer	Probabilité de détection du 2nd appareil à estimer	Probabilité de détection du 2nd filtre à estimer
1	1376	0,2	0,2	0,2	0,2
2	1376	0,2	0,2	0,2	0,7
3	1376	0,2	0,2	0,7	0,2
4	1376	0,2	0,2	0,7	0,7
5	1376	0,2	0,7	0,2	0,2
6	1376	0,2	0,7	0,2	0,7
7	1376	0,2	0,7	0,7	0,2
8	1376	0,2	0,7	0,7	0,7
9	1376	0,7	0,2	0,2	0,2
10	1376	0,7	0,2	0,2	0,7
11	1376	0,7	0,2	0,7	0,2
12	1376	0,7	0,2	0,7	0,7
13	1376	0,7	0,7	0,2	0,2
14	1376	0,7	0,7	0,2	0,7
15	1376	0,7	0,7	0,7	0,2
16	1376	0,7	0,7	0,7	0,7

4.2. Recherche du couplage de données le plus informatif.

Différents cas d'études ont été testés à chaque fois avec ces 16 jeux de données pour évaluer avec quel type de données le modèle était le plus performant :

- 1 an de données pour le 1^{er} appareil et 3 mois pour le 2nd appareil + des données de 24h (pour les deux appareils) seulement lorsque le nombre de poissons visualisés par le filtre du 1^{er} appareil était supérieur à 7.

Dans ce cas-là, le modèle estime correctement le nombre de poisson annuel pour seulement 3 jeux de données (6, 14 et 15). Lorsque le modèle n'estime pas correctement le nombre total de poisson annuel, dans 9 cas sur 13 la probabilité du 1^{er} filtre est sous-estimée.

Ces résultats laissent supposer un manque d'information pour permettre au modèle d'estimer correctement les paramètres. **Pour améliorer les estimations nous avons donc dans un premier temps augmenté le nombre jour où des données de 24h sont disponibles (pour mieux estimer la probabilité du filtre 1) puis dans un second temps augmenté le nombre de jour de couplage des données (de trois mois à un an).**

- 1 an de données pour le 1^{er} appareil et 3 mois pour le 2nd appareil + des données de 24h (pour les deux appareils) seulement lorsque le nombre de poissons visualisés par le filtre du 1^{er} appareil était supérieur à 5.

Par rapport au cas précédent, on passe d'environ 20 jours où des données 24h sont disponibles pour les deux appareils à environ 50 jours de données 24h pour le 1^{er} appareil et 30 jours le 2nd appareil. Le modèle estime correctement le nombre de poisson annuel pour seulement 3 jeux de données (6, 8, et 15). Lorsque le modèle n'estime pas correctement le nombre total de poisson annuel, dans 8 cas sur 13 la probabilité du 1^{er} filtre sont sous-estimées.

- 1 an de données pour le 1^{er} appareil et le 2nd appareil + des données de 24h (pour les deux appareils) seulement lorsque le nombre de poissons visualisés par le filtre du 1^{er} appareil était supérieur à 7.

Le modèle estime correctement le nombre de poisson annuel pour seulement 5 jeux de données (2, 6, 8, 12 et 16). Lorsque le modèle n'estime pas correctement le nombre total de poisson annuel, dans 5 cas sur 11 la probabilité du 1^{er} appareil et dans 6 cas sur 11 la probabilité du 1^{er} filtre sont sous-estimées.

Ces résultats montrent qu'une augmentation du nombre de jours de couplage ou de visualisation de 24h ne permet pas une nette amélioration des estimations. Cependant dans l'ensemble de ces cas, les données de 24h de visualisation sont disponibles seulement pendant les pics de migrations (nombre journalier de poisson important) ce qui rend l'information disponible hors de ces périodes très faible pour le modèle (pas de données du 2nd appareil et pas de données de 24h de visualisation pour le 1^{er} appareil). Un autre cas a donc été testé avec des données de 24h de visualisation pour le 1^{er} appareil hors des pics de migrations

- 1 an de données pour le 1^{er} appareil et 3 mois pour le 2nd appareil + des données de 24h de visualisation pour le 1^{er} appareil une fois par mois (lorsque l'on a le nombre maximum de poissons observés dans une journée par le filtre du 1^{er} appareil, (pas de visualisation si le nombre maximal de saumon détecté est 0) + des données de 24h pour le 2nd appareil seulement lorsque le nombre de poissons visualisés par le filtre du 2^{ième} appareil était supérieur à 6.

Les résultats montrent que dans 75% des cas (12 cas sur 16, Tableau 5), le nombre de saumons remontant dans l'année est bien estimé. Lorsque les estimations sont bonnes, les

patrons saisonniers d'abondance de saumons sont bien estimés et à l'échelle journalière le nombre de poisson est bien estimé dans 44% des cas, sur-estimé dans 36% des cas et sous-estimé dans 20% des cas (exemple pour le jeu de données 14 ; Fig. 12 et 13). Lorsque le modèle n'estime pas correctement les paramètres c'est surtout dans les cas où les probabilités de détections des appareils et des filtres sont faibles (1, 3, 4 et 5). Dans la majorité des cas, on observe une sous-estimation des probabilités de détection du 1^{er} appareil ou de son filtre (3 cas sur 4).

Tableau 5: Résultats obtenus avec les 16 jeux de données. En rouge, les paramètres sont mal estimés par le modèle (valeur à estimer non comprise dans l'intervalle de confiance du paramètre) et en vert les paramètres sont correctement estimés.

Jeux de données	Nombre annuel de poisson à estimer	Probabilité de détection du 1er appareil à estimer	Probabilité de détection du 1er filtre à estimer	Probabilité de détection du 2nd appareil à estimer	Probabilité de détection du 2nd filtre à estimer
1	+				
2			-		
3	+	+			
4	+		-		
5	+	-		-	
6					
7					
8					
9		+	-		-
10					
11					
12					
13					
14					
15			-		
16					

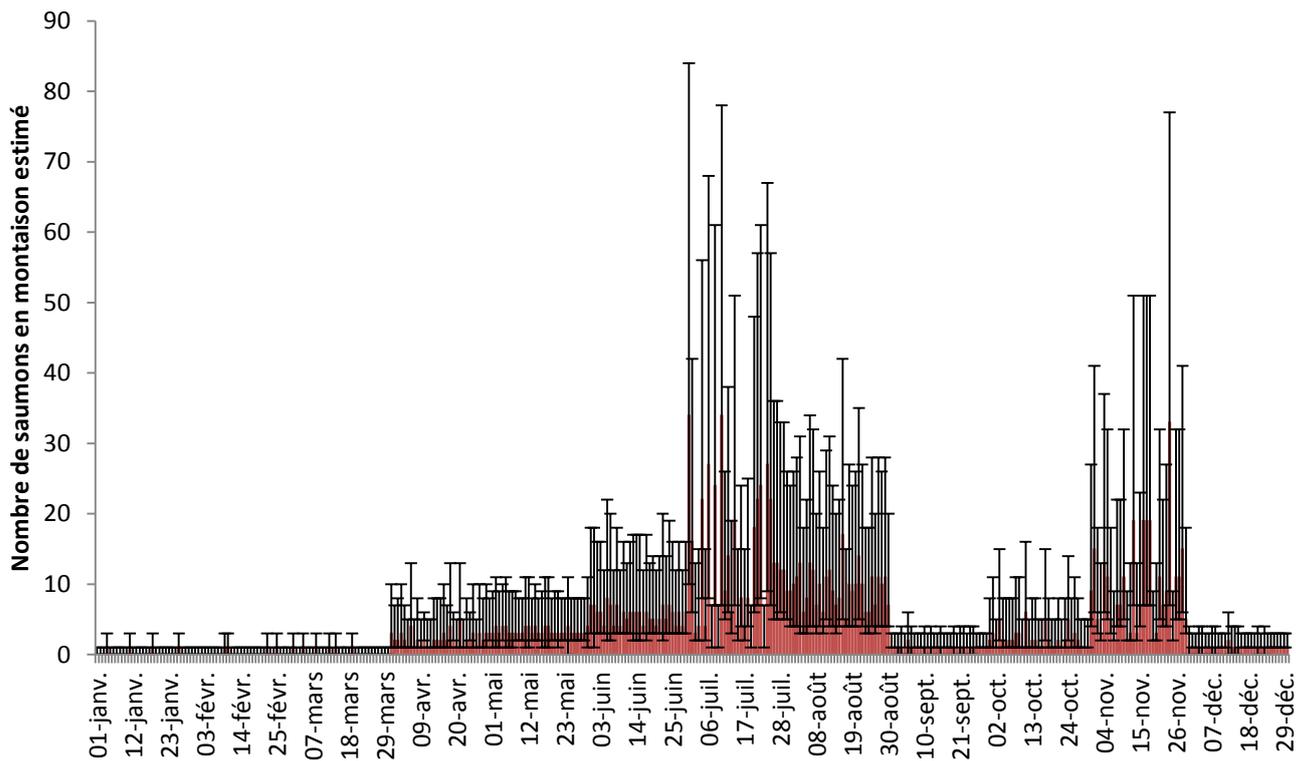


Figure 12: Flux de migration estimé par le modèle dans le cas du jeu de données 14. Les barplots représentent la médiane et les barres d'erreurs représentent l'intervalle de confiance à 95%.

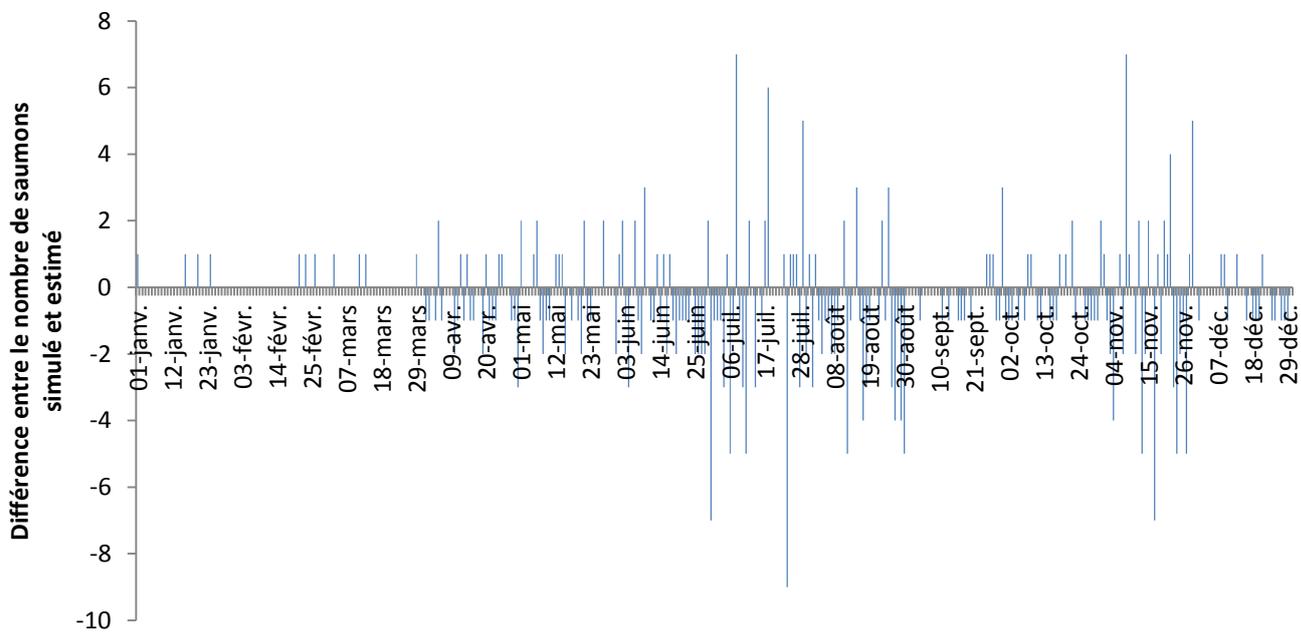


Figure 13: Différence entre le nombre de saumons en montaison quotidien et la médiane du nombre de saumon en montaison estimé par le modèle dans le cas du jeu de données 14.

4.3. Conclusions

Les différents tests semblent mettre en évidence que l'information issue des données de 24h de visualisation est importante pour que le modèle soit performant. Une augmentation du nombre de jours de 24h de visualisation n'apporte pas d'amélioration dans les estimations si ces jours ne sont pas répartis sur l'ensemble de la période d'étude. Des analyses sont toujours en cours pour voir si l'on observe la même tendance pour des flux de migrations moins importants ou avec des pics de migrations moins contrastés. Enfin, des tests sont en cours pour que l'ensemble des paramètres soient correctement estimés pour toutes les modalités (ajout de dire d'expert et changement d'échelle d'étude). Toutes ces analyses permettront de fournir une liste de recommandations à destination des gestionnaires pour l'utilisation du modèle (nombre de poissons détectés minimum sur une année, précaution à prendre si les probabilités de détection sont faibles).

5. Perspectives

Le dispositif tel que conçu actuellement sur la Sélune ne permet pas la mise en place complète de la boîte à outils (la partie modélisation), le traitement des données de l'échosondeur étant complètement dépendant du DIDSON. Pour permettre une estimation des flux de migrations de saumon sur la Sélune à l'aide de la boîte à outils, une caméra acoustique ARIS (nouvelle génération de DIDSON) appartenant au pôle ONEMA-INRA Gest'Aqua sera installée en parallèle du DIDSON déjà en place de mars à juillet 2017. L'expérience précédente nous ayant démontré l'importance d'une inter-calibration des deux outils, une re-synchronisation des ordinateurs sera effectuée à chaque passage d'un opérateur.

Pour vérifier la flexibilité de notre dispositif (méthode de surveillance et de modélisation), un second cas d'étude a été choisi. Pour cela une première étape a consisté à faire un inventaire non exhaustif des systèmes d'observations des poissons migrateurs en France. Parmi les stations de surveillance répondant aux critères nécessaires pour l'application de cet outil, la station du Breuil en Auge sur la Touques (Calvados) a été sélectionnée. Après une visite sur site, le gestionnaire de la station (Fédération de pêche du Calvados) s'est montré très intéressé par le projet. Il a donc été décidé que la caméra acoustique soit installée en parallèle de la station de vidéo-comptage entre août 2017 et fin janvier 2018 pour suivre la dévalaison des anguilles argentées. Des premiers tests ont été effectués en Novembre 2016 pour évaluer le comportement des anguilles argentées face à l'entrée de la passe à poisson en dévalaison. Les résultats sont en cours d'analyse.

Pour permettre une meilleure identification des stations de surveillance où le dispositif pourra être mis en place et prendre un premier contact avec les gestionnaires, un questionnaire sur les caractéristiques des stations et de leur fonctionnement sera envoyé aux gestionnaires en 2017. Cela permettra également d'envisager des modifications de la structure du modèle pour mieux prendre en compte les différents modes de fonctionnement.

6. Bibliographie

- Belcher E., Hanot W. & Burch J. (2002) Dual-Frequency Identification Sonar (DIDSON). In: *Proceedings of the 2002 International Symposium on Underwater Technology, 2002*. pp. 187–192.
- Belcher E., Matsuyama B. & Trimble G. (2001) Object identification with acoustic lenses. In: *MTS/IEEE Oceans 2001. An Ocean Odyssey. Conference Proceedings (IEEE Cat. No.01CH37295)*. pp. 6–11 vol.1.
- Helfman G.S. (2007) *Fish Conservation: A Guide to Understanding and Restoring Global Aquatic Biodiversity and Fishery Resources*. Island Press, Island, Washington.
- IUCN 2014. *The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014-3*. <<http://www.iucnredlist.org>>. Downloaded on 07 December 2014.
- Lilja J., Marjomäki T.J., Riikonen R. & Jurvelius J. (2000) Side-aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), whitefish (*Coregonus lavaretus*), and pike (*Esox lucius*). *Aquatic Living Resources* **13**, 355–360.
- 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*. Agrocampus ouest, Rennes.
- Martignac F., Baglinière J.L., Thieulle L., Ombredane D. & Guillard J. (2013) Influences of a dam on Atlantic salmon (*Salmo salar*) upstream migration in the Couesnon River (Mont Saint Michel Bay) using hydroacoustics. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **134**, 181–187.
- Maxwell S.L. & Gove N.E. (2007) Assessing a dual-frequency identification sonars' fish-counting accuracy, precision, and turbid river range capability. *The Journal of the Acoustical Society of America* **122**, 3364–3377.
- McDowall R.M. (1988) Diadromy in fishes: migrations between freshwater and marine environments.
- Moriarty C. (ed) & Dekker W. (ed) (1997) *Management of the European Eel*. Marine Institute.
- Myers G.S. (1949) Usage of Anadromous, Catadromous and Allied Terms for Migratory Fishes. *Copeia* **1949**, 89–97.
- Ona E. (1999) *Methodology for target strength measurements*. Copenhagen, Denmark.
- STRANAPOMI *Les grandes orientations de la stratégie nationale de gestion*. Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement.