



HAL
open science

Dispersion et (re)colonisation, suivi Didson

Aurélie Daroux, Clarisse Boulenger, Marie Nevoux, François Martignac, Jean
Guillard, Dominique Ombredane, Jean-Luc Baglinière

► **To cite this version:**

Aurélie Daroux, Clarisse Boulenger, Marie Nevoux, François Martignac, Jean Guillard, et al.. Dispersion et (re)colonisation, suivi Didson. [Rapport de recherche] Agence de l'Eau Seine-Normandie. 2016, pp.18. <hal-03357153>

HAL Id: hal-03357153

<https://hal.inrae.fr/hal-03357153v1>

Submitted on 28 Sep 2021

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License



Programme Sélune

Phase pré-arasement

Rapport bilan 2013-2015

Biocénose aquatique

Volet 2

Dispersion et recolonisation

Auteurs

**Daroux A.¹, Boulenger C.¹, Nevoux M.¹, Martignac F.², Guillard J.³,
Ombredane D.¹, Baglinière J.L.¹**

¹ : UMR INRA-Agro campus Ouest, Ecologie et Santé des Ecosystèmes (ESE)

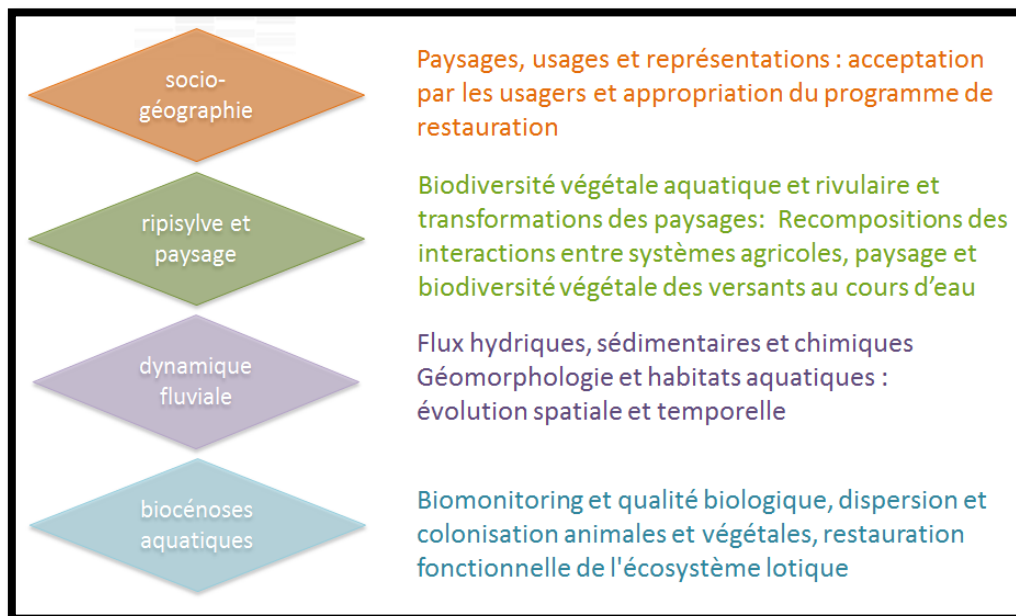
² : ASCONIT Consultants, Agence Ouest

³ : UMR INRA – Université de Savoie, CARTEL

Février 2016

Introduction

Le programme scientifique du suivi de l'arasement des barrages sur la Sélune, coordonné par l'INRA, a débuté en 2012. Il est actuellement organisé en quatre thèmes interdépendants :



Le présent rapport concerne le thème biocénose aquatique. L'objectif de ce thème est d'étudier les effets de la renaturation écologique du fleuve sur la (re)distribution des différents organismes sur son bassin versant et l'évolution concomitante de différents traits biologiques. Il s'intéresse aux organismes photosynthétiques (phytoplancton, biofilm et macrophytes), aux macroinvertébrés, dont certaines espèces exotiques présentent des risques d'invasions biologiques (cas de l'écrevisse signal), aux espèces migratrices diadromes ainsi qu'à certaines espèces de mammifères, porteurs d'un enjeu fort en biologie de la conservation. Il analysera également les interactions entre ces compartiments pour comprendre comment les réseaux trophiques vont évoluer dans le contexte général de restauration de la continuité écologique.

Les barrages constituent une barrière physique affectant les flux biologiques. L'arasement des barrages de la Sélune va profondément affecter la distribution des espèces des milieux aquatiques à l'échelle de son bassin versant par deux mécanismes : (1) la reconnexion des deux parties du bassin versant situées en amont et en aval de la zone des barrages, et qui sont aujourd'hui artificiellement isolées l'une de l'autre pour un grand nombre d'espèces aquatiques ; (2) la possible adaptation à un régime lotique d'espèces aujourd'hui limitées aux réservoirs, ce qui pourrait ensuite les amener à recoloniser l'ensemble du bassin versant. Le processus essentiel qui est à l'œuvre lors des phases de (re)colonisation de nouveaux milieux, qui deviennent accessibles parce qu'ils ont été rendus propices suite à des modifications environnementales (comme le réchauffement climatique) ou parce que des barrières ont été levées (comme lors de l'arasement de barrages), est la dispersion. Ce trait, qui est commun à toutes les espèces vivantes, peut évoluer rapidement sur les fronts de colonisation, ce qui explique en particulier le succès d'un certain nombre d'espèces invasives. Cette évolution ne se fait cependant pas sans incidence sur d'autres traits, comme la reproduction ou la compétition, et le succès de (re)colonisation des espèces peut de ce fait largement dépendre de leur capacité à modifier l'allocation d'énergie à ces différents traits en fonction des contextes. En d'autres termes, les capacités de colonisation des espèces dépendent de leurs capacités de dispersion mais aussi de leurs stratégies d'histoires de vie. L'arasement des barrages de la Sélune représente un contexte

unique pour étudier ces phénomènes d'un point de vue comparatif à différentes échelles d'organisation. Il sera notamment possible de tester les modèles théoriques relatifs à l'évolution des traits de dispersion sur les fronts de colonisation, et de mettre en relation cette évolution avec la diversité intra-spécifique en génotypes et en phénotypes, et le succès de colonisation. Que ce soit à l'échelle inter-individuelle ou inter-spécifique, cette situation permettra aussi de mesurer dans quelle mesure les stratégies d'histoires de vie et les compromis évolutifs contraignent ce succès de colonisation. Ces questionnements seront notamment développés sur les poissons diadromes qui représentent localement des enjeux socio-économiques et écologiques importants, et qui sont des modèles biologiques de choix quand on s'intéresse à l'effet de la diversité des stratégies d'histoire de vie et de l'évolution des traits de dispersion sur les succès de (re)colonisation.

Ce projet s'inscrit dans le groupe Dispersion et recolonisation (du thème biocénose aquatique) et le présent rapport correspond au bilan de l'état initial pré-arasement pour la partie suivi des flux de poissons migrants par hydroacoustique (DIDSON).

La première année du suivi pré-arasement (2013) a été essentiellement consacrée à l'acquisition de la caméra acoustique DIDSON et des dispositifs de mesures environnementales, à l'installation des dispositifs, ainsi qu'à quelques observations préliminaires (Rapport d'étape 2013). L'année 2014 a permis de mettre en place une méthodologie adaptée au « tracking » semi-automatique des saumons atlantiques et de traiter les premiers résultats (Rapport d'étape 2014). L'année 2015 a permis de poursuivre les travaux engagés en renforçant les campagnes débutées en 2013 et 2014 et de développer les travaux méthodologiques réalisés en 2014.

SOMMAIRE

1 – CONTEXTE ET OBJECTIFS	7
2 – LE SITE DE SUIVI	7
3 – LE SUIVI HYDROACOUSTIQUE ET ENVIRONNEMENTAL	9
3.1 – DESCRIPTION DES OUTILS	9
3.2 – STRATEGIE D’ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DES DONNEES	10
4 – RESULTATS ET AVANCEES 2015	11
4.1 – DEVELOPPEMENTS METHODOLOGIQUES : PRECISION DES DONNEES DE LONGUEURS EXTRAITES DES ENREGISTREMENTS DU DIDSON	11
4.2 – ACTIVITE DE MIGRATION ET CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUE DE LA POPULATION DE SAUMON	14
4.2.1. CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES DE LA POPULATION DE SAUMON	14
4.2.2. ACTIVITE DE MIGRATION	15
4.2.2.1. Influence de la composante marine	15
4.2.2.2. Influence des conditions tidales	15
4.2.2.3. Influence de la température de l’eau	16
4.2.2.4. Influence du débit fluvial	17
- sur l’ensemble de la période de migration	17
- lors d’un épisode de crue	19
4.2.2.5. Activité nycthémérale	21
4.3 - CONCLUSIONS	22
5 – GUIDE D’UTILISATION DU DIDSON POUR SUIVRE LES POPULATIONS DE POISSONS MIGRATEURS .23	
5.1 - CHOIX DU SITE DE SUIVI	23
5.2 - PARAMETRAGE DE LA CAMERA ACOUSTIQUE DIDSON	23
5.3 - DETECTION DES POISSONS AVEC LA CAMERA ACOUSTIQUE DIDSON	24
5.4 - TRAITEMENT DES DONNEES	24
5.4.1. CAS DU SUIVI DES SAUMONS ATLANTIQUES (<i>SALMO SALAR</i>)	24
5.4.2. CAS DES AUTRES ESPECES DE POISSONS DIADROMES	25
6 – CONSTRUCTION D’UN MODELE POUR ESTIMER LES FLUX DE POPULATIONS DE POISSONS MIGRATEURS	25
6.1 – CARTOGRAPHIE DES FAISCEAUX DU SONDEUR ET DU DIDSON	26
6.2 - MODELISATION DU FLUX DE MIGRATION	28
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE	29

Table des figures et liste des tableaux

Figure 1. Localisation du site de suivi de populations de poissons migrateurs et des deux barrages sur la Sélune	8
Figure 2. Représentation tridimensionnelle de l'installation du DIDSON, en vert le faisceau de détection de la caméra acoustique DIDSON.....	8
Figure 3. Site d'installation fonctionnel (26 juillet 2013). A : intérieur de l'abri ; B : vue à partir du Vieux Pont de Ducey	9
Figure 4. Dispositifs de suivi installé sur la Sélune. A) La caméra acoustique DIDSON ; B) Echosondeur EY500 avec son transducteur 70KHz ; C) Turbidimètre type APC-TU-TRANS (PONSEL) ; D) Courantomètre Hydreka Mainstream IV ; E) Logger de température Tidbit.....	10
Figure 5. Visualisation de la stratégie d'échantillonnage de l'acquisition des données DIDSON	11
Figure 6. Installation lors de l'expérimentation en février 2015	11
Figure 7. Variabilité des mesures de tailles par les 2 opérateurs expérimentés (1 couleur par opérateur) en fonction de la taille réelle des 50 poissons	12
Figure 8. Représentation de l'erreur entre TD et TR en fonction de la taille réelle des poissons.....	13
Figure 9. Variabilité de l'erreur moyenne absolue en fonction du nombre de mesures répétées. La ligne représente le gain de précision lié à l'augmentation du nombre de mesurées répétées.....	13
Figure 10. Distribution des tailles corrigées des saumons mesurés à partir des images DIDSON (n = 923) et des saumons capturés à la ligne sur la Sélune lors des campagnes d'acquisitions 2013 et 2014 (1SW : n = 115 ; MSW: n = 112, données CNICS).....	15
Figure 11. Distribution des passages de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 984) du 07 août 2013 au 1er mai 2015	15
Figure 12. Distribution des passages de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 923) entre deux étales de pleine mer (PM) en fonction des hauteurs d'eau enregistrées sur le site de suivi (en mm) et des saisons hiver (n = 27) ; printemps (n = 82), été (n = 559), automne (n=255).....	16
Figure 13. Distribution des passages journaliers de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 983) en fonction des moyennes journalières de températures de l'eau sur le site de suivi	17
Figure 14. Nombre de passages de saumons moyen par jour en fonction de la gamme de température de l'eau (°C)	17
Figure 15. Distribution des passages journaliers de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 983) en fonction des débits fluviaux moyens quotidiens en L.s-1 (données UMR SAS- débit mesuré au pont de Signy).....	18
Figure 16. Vitesse d'écoulement enregistrée lors du passage des saumons au droit du site de suivi de la Sélune (n = 678).....	19
Figure 17. Distribution des passages de saumons atlantiques (sur 6h consécutives) sur la Sélune lors des pics de débit du 29 avril (n = 24), 21 juillet (n = 128) et 11 novembre 2014 (n = 68) en fonction du débit de la Sélune à Ducey (en m ³ .s-1).....	20
Figure 18. Distribution des passages de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 983) en fonction des heures de la journée (GMT+2)	21
Figure 19. Distribution des passages de saumons atlantiques sur la Sélune en fonction des heures de la journée (GMT+2) et des phases observées lors des pics de crue d'avril, juillet et novembre 2014 : conditions stables avant la crue (n = 58), crues mineures (n=81), décrue (n=13), crues majeures (n=12) et retour aux conditions stables (n=56)	22
Figure 20. Représentation schématique de la méthodologie de « tracking » semi-automatique des saumons atlantiques	25
Figure 21. Photographie de la cible construite pour réaliser l'expérimentation (bas). Aperçu de la cible sur le site de suivi sur l'écran du sondeur (haut à gauche) lors d'un déplacement d'un bout à l'autre de la rive. Aperçu sur l'écran du DIDSON (en haut à droite) lors d'une stabilisation à 6.50 mètres du DIDSON	27
Figure 22. Photographie du dispositif de déplacement de la cible d'une rive à l'autre.....	27
Figure 23. Cartographie des transects et des points d'échantillonnages et positions réelles des faisceaux du DIDSON (rose) et de l'échosondeur (vert).....	28
Tableau 1. Nombre de passages de saumons par heure sur la Sélune lors des trois périodes étudiées (en passages.heure ⁻¹).....	20

1 – Contexte et objectifs

Le bassin versant de la Sélune abrite une communauté de poissons diadromes, espèces d'intérêt écologique et patrimonial, dont la présence et l'abondance sont des indicateurs significatifs de l'intégrité biologique d'un écosystème aquatique (Karr, 1991; Rose, 2000). Leur gestion nécessite une bonne connaissance de leur abondance et de leur niveau de colonisation liés à la fois à l'écologie des espèces (stratégie d'histoire de vie, démographie, comportement) et à des facteurs environnementaux (Waine, 2010). Dans le cadre du programme d'effacement des deux grands barrages présents sur la Sélune, il est prévu de suivre l'évolution des caractéristiques biologiques de ces poissons diadromes et dans une première étape de réaliser un diagnostic de l'état de leurs populations en ciblant particulièrement une espèce emblématique, le saumon atlantique.

Différentes méthodes de suivi existent mais celles-ci ne peuvent pas s'adapter à tous les cours d'eau. Par exemple, les stations de vidéo-comptage sont limitées en conditions de très fortes turbidités, et les stations de piégeage demandent un fort investissement humain et matériel. Pour ces raisons, une méthode hydroacoustique, s'affranchissant ou limitant ces contraintes, a été choisie pour suivre les populations de la Sélune.

Utilisant les propriétés du son dans l'eau, les méthodes hydroacoustiques sont quantitatives, non-intrusives et synoptiques (Foote, 2009). Une impulsion acoustique est émise par un transducteur et se diffuse dans le milieu. Tous les obstacles rencontrés par ces ondes réfléchissent l'énergie transmise et leurs échos sont en partie captés par le transducteur. Les méthodes acoustiques permettent de convertir ces mesures physiques en unités écologiques pertinentes (Trenkel *et al.*, 2011), sans perturber ni le comportement ni l'intégrité des populations. Les innovations technologiques ont permis l'essor de ces méthodes dont l'utilisation en écologie se développe. Ainsi, depuis une dizaine d'années, des sonars à très haute fréquence, ou caméras acoustiques, permettent d'obtenir des images d'une résolution proche de celle des vidéos sous-marines.

Ainsi, une caméra acoustique DIDSON a été installée pour décrire quantitativement et qualitativement les populations de poissons migrateurs de la Sélune. Un courantomètre et deux capteurs de température ont également été installés afin de mesurer en continu les paramètres environnementaux sur le site d'étude. Ce rapport décrit le site de suivi, les outils utilisés et présente les résultats d'août 2013 à mai 2015. Il contient également une partie permettant de guider les utilisateurs du DIDSON pour des études de suivi de poissons migrateurs en rivière. Afin de répondre aux besoins d'estimation de poissons migrateurs auxquels le DIDSON ne peut répondre seul, la dernière partie de ce rapport introduit la méthodologie qui sera mise en place en utilisant 2 outils hydroacoustiques.

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» (Figure 1). 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).

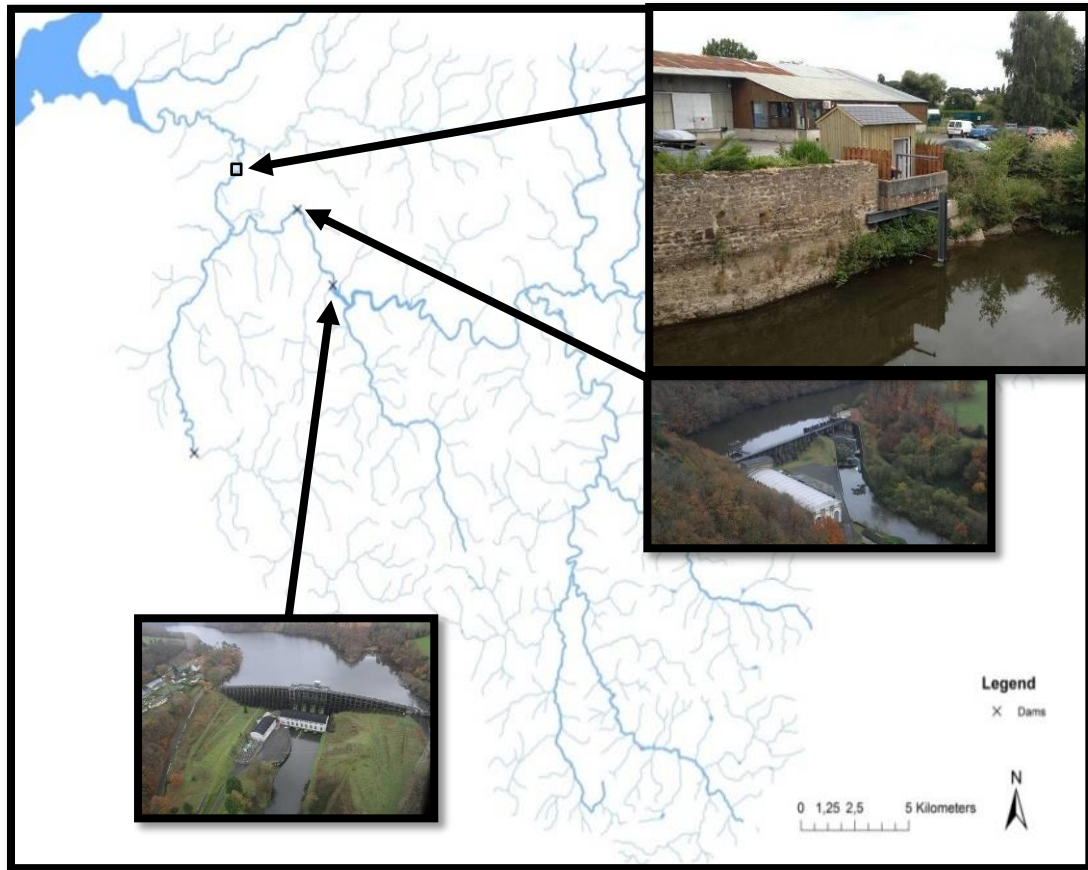


Figure 1. Localisation du site de suivi de populations de poissons migrateurs et des deux barrages sur la Sélune

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 en amont immédiat du seuil.

Un support galvanisé permet de fixer le DIDSON, un courantomètre et deux enregistreurs de température. Un nouveau support galvanisé se fixant au premier permet l'installation additionnelle d'un turbidimètre et un sondeur EY500 (Figure 2). 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.

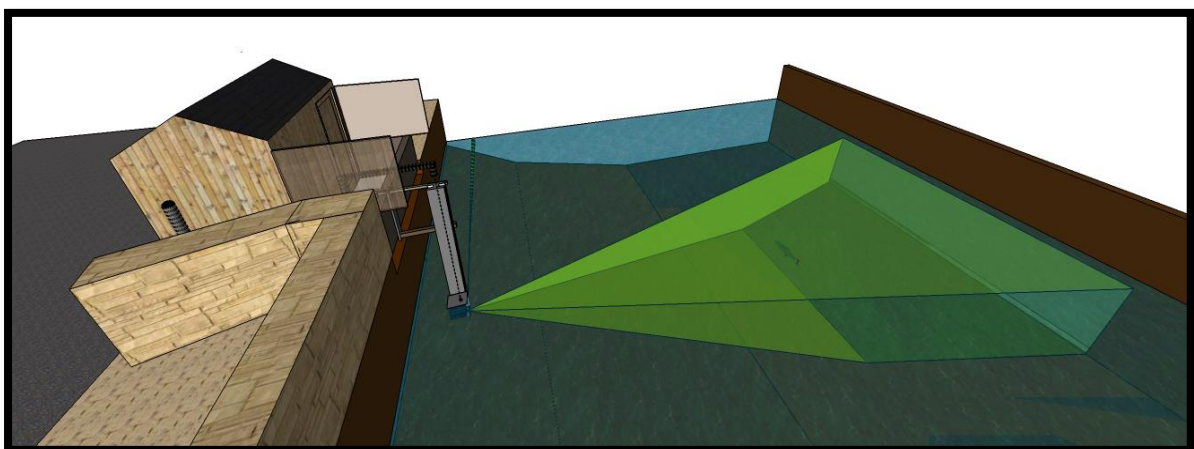


Figure 2. Représentation tridimensionnelle de l'installation du DIDSON, en vert le faisceau de détection de la caméra acoustique DIDSON

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 depuis permanentes. 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.



Figure 3. Site d'installation fonctionnel (26 juillet 2013). A) intérieur de l'abri ; B) vue à partir du Vieux Pont de Ducey

Le site de suivi a été amélioré en 2015 avec l'ajout d'étagères pour faciliter le rangement, l'installation d'une lumière et d'un chauffage (qui reste en mode antigel) à l'intérieur de l'abri. A l'extérieur, une table à rabat a été fixée pour faciliter le nettoyage régulier de la caméra DIDSON et une pompe vide cave va être mise en place afin de sécuriser l'accès à l'eau nécessaire au nettoyage des appareils.

3 - Le suivi hydroacoustique et environnemental

3.1 - Description des outils

Les outils utilisés (Figure 4) pour le suivi des poissons migrateurs (DIDSON) et pour le suivi des conditions environnementales (courantomètre Hydreka Mainstream IV et enregistreurs de

température Prosensor) ont été décrits dans le dernier rapport d'avancement (Le Gonidec *et al.*, 2015).

Un turbidimètre de type APC-TU-TRANS de chez PONSEL a été ajouté le 30 juillet 2015 sur le site de suivi. Il utilise l'opacimétrie comme technologie de mesure. La longueur d'onde émission/réception est de 880 nm. Le chemin optique est de 20 mm. Il mesure la turbidité dans une gamme de 0 à 2000 FTU (Formazine Turbidity Unit) avec une précision de $\pm 5\%$ de la valeur mesurée. La fréquence d'acquisition des mesures est de 6 minutes.

Un échosondeur de type SIMRAD EY500 équipé d'un transducteur à faisceaux partagés a été ajouté en Mars-Avril 2015, juillet 2015 et est en place depuis novembre 2015. Un échosondeur émet des ondes sonores dans l'eau et en récupère les échos. L'intensité de cet écho 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.

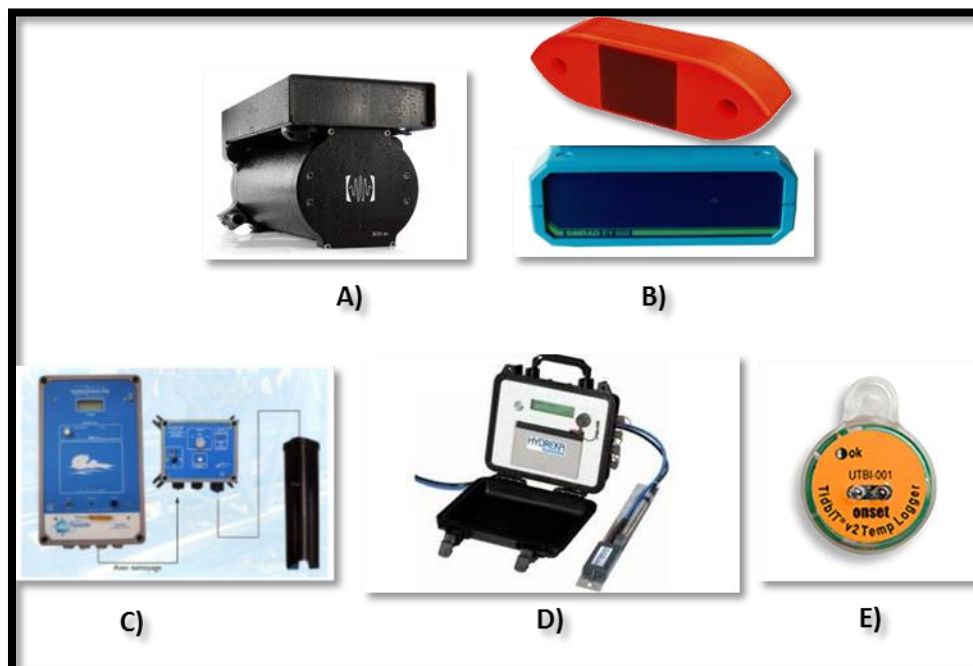


Figure 4. Dispositifs de suivi installés sur la Sélune. A) La caméra acoustique DIDSON ; B) Echosondeur EY500 avec son transducteur 70KHz ; C) Turbidimètre type APC-TU-TRANS (PONSEL) ; D) Courantomètre Hydreka Mainstream IV ; E) Logger de température Tidbit

Le couplage de ces deux outils hydroacoustiques a pour objectif le développement d'une méthodologie d'estimation du niveau d'abondance de la population de saumon.

3.2 – Stratégie d'échantillonnage et analyse des données

Les données volumineuses (200 Go par semaine en moyenne) enregistrées par le DIDSON sont collectées chaque semaine et stockées sur des disques durs de 4 To en double exemplaires. Les données de températures, de courant et de turbidité sont également collectées régulièrement et stockées dans une base de données Access.

Afin de rester en mode haute fréquence (résolution des images maximisée induisant des mesures de tailles les plus précises possibles) et de travailler avec des fichiers de taille réduite, la stratégie d'échantillonnage pour l'enregistrement des données du DIDSON s'est effectuée par séquence de 15 minutes en s'organisant comme suit (Figure 5) :

- de HH:00 à HH:15, le DIDSON effectue un enregistrement entre 7 et 17m de « range »
- de HH:15 à HH:30, le DIDSON effectue un enregistrement entre 2 et 12m de « range »
- de HH:30 à HH:45, le DIDSON effectue un enregistrement entre 7 et 17m de « range »
- de HH:45 à HH:59, le DIDSON effectue un enregistrement entre 2 et 12m de « range »

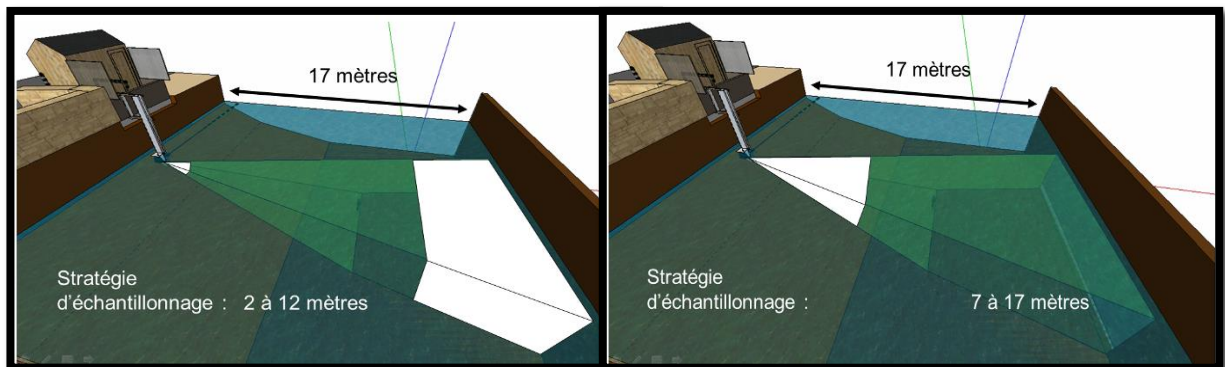


Figure 5. Visualisation de la stratégie d'échantillonnage de l'acquisition des données DIDSON

Deux opérateurs sont chargés de traiter ces données.

L'année 2015 a été consacrée à l'analyse des relations entre les passages de saumons atlantiques et les conditions environnementales. Par ailleurs, d'importants développements méthodologiques et travaux de valorisation ont été effectués.

4 – Résultats et avancées 2015

4.1 – Développements méthodologiques : Précision des données de longueurs extraites des enregistrements du DIDSON

Les travaux méthodologiques effectués en 2014 (le Gonidec *et al.*, 2015) ont été répétés en février 2015 avec 30 truites arc en ciel (*Oncorhynchus mykiss*) domestiques. Les truites, d'une taille totale comprise entre 510 et 589 mm ont été libérées une à une dans un bassin expérimental dans lequel le DIDSON a été installé (Figure 6).



Figure 6. Installation lors de l'expérimentation en février 2015

Les images propres à chaque individu sont analysées et les tailles des poissons insonifiés mesurées individuellement manuellement par deux opérateurs différents, puis comparées aux tailles (totales) réelles des poissons. Ces mesures sont effectuées indépendamment par deux opérateurs expérimentés sur 20 images (« frames »). Cette opération est répétée sur les données expérimentales récoltées en 2014 sur 20 carpes argentées. Le jeu de données analysé comprend donc 20 images par opérateur sur 50 poissons. En outre, une sélection de 20 images choisies par un opérateur inexpérimenté sur un sous-échantillon de 15 poissons a été analysée par les 2 opérateurs expérimentés ainsi que par 2 autres non expérimentés.

Les résultats mettent en évidence qu'il existe une grande variabilité dans les mesures de taille des poissons sur les images (Figure 7). Cependant, aucune différence significative entre la moyenne des mesures de taille avec le DIDSON (TD) et les tailles réelles (TR) n'a été mise en évidence ($W=1984100$, $p\text{-value}=0.664$).

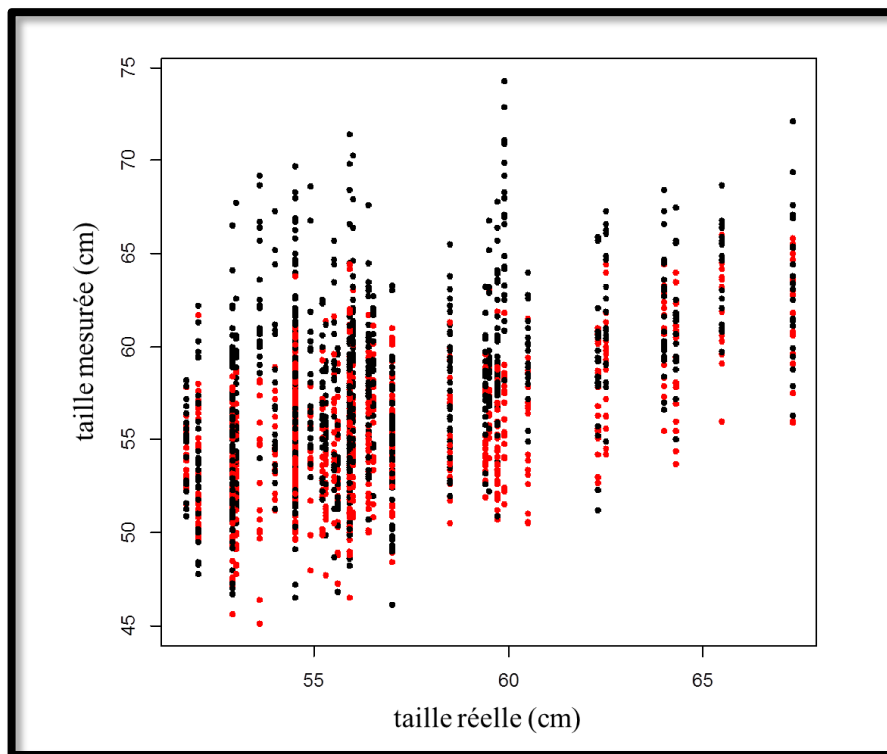


Figure 7. Variabilité des mesures de tailles par les 2 opérateurs expérimentés (1 couleur par opérateur) en fonction de la taille réelle des 50 poissons

L'utilisation de modèles linéaires mixtes, a permis d'estimer l'impact de différents facteurs sur la différence en TR et TD. Il n'apparaît aucune influence de la distance entre le poisson et la caméra ($\chi^2(1)=1.4078$, $p\text{-value}=0.2354$) et une influence faible mais négligeable de l'angle ($\chi^2(1)=4.611$, $p\text{-value}=0.0312$). En revanche, un fort effet opérateur a été trouvé ($\chi^2(1)=20.707$, $p\text{-value}<0.001$) mais il n'est pas dû à la sélection des images par l'opérateur.

Par ailleurs, la longueur mesurée pour les petits poissons (moins de 55 cm) est surestimée tandis que la longueur mesurée est sous-estimée pour les grands poissons (plus de 55 cm) (Figure 8).

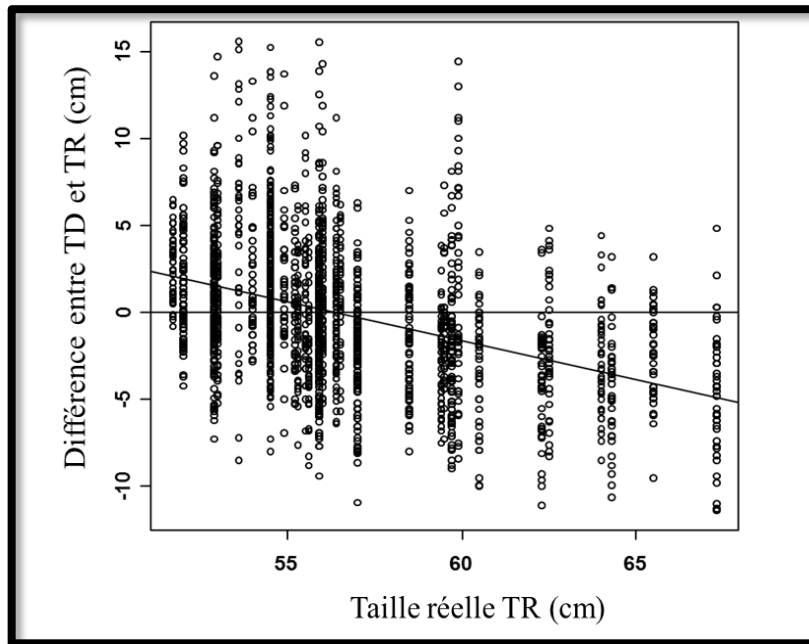


Figure 8. Représentation de l'erreur entre TD et TR en fonction de la taille réelle des poissons

En raison de la forte variabilité des mesures de TD, le nombre optimal de mesures pour obtenir une TD moyenne précise a été calculé. L'erreur moyenne absolue et l'intervalle de confiance à 95% pour le nombre associé de mesures TD (compris entre 1 et 20) ont également été calculés en utilisant un échantillonnage aléatoire (Figure 9). Cinq mesures sont nécessaires pour obtenir une erreur moyenne absolue entre TD et TR est de 2,69 cm. L'augmentation du nombre de mesures ne conduit pas à un gain important de précision et engendre un traitement des données plus chronophage.

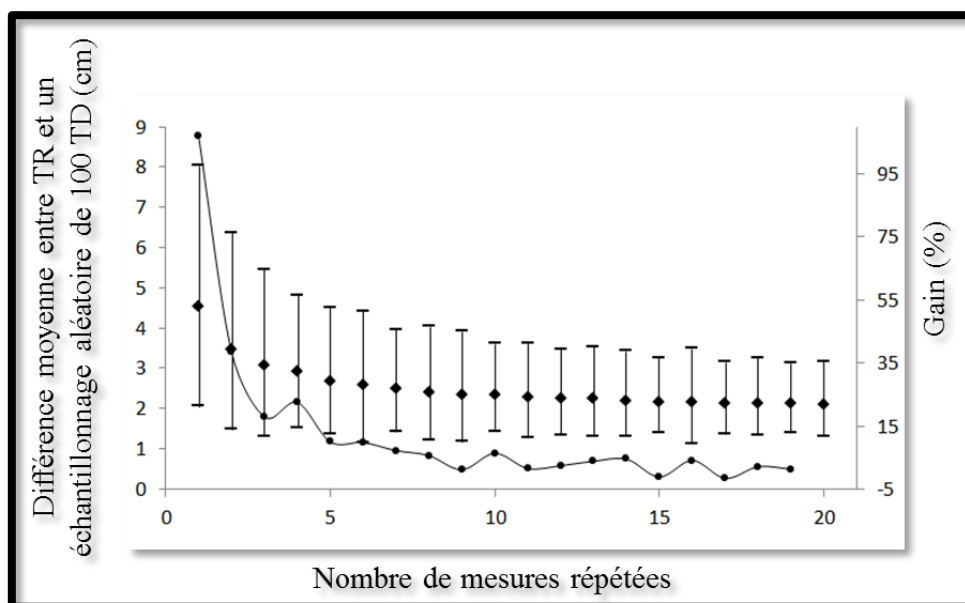


Figure 9. Variabilité de l'erreur moyenne absolue en fonction du nombre de mesures répétées. La ligne représente le gain de précision lié à l'augmentation du nombre de mesurées répétées

Les conclusions de ces expérimentations soulignent la fiabilité des mesures morphologiques extraites des données enregistrées par le DIDSON (Daroux *et al.*, 2015; *submitted*). Cependant, plusieurs paramètres sont à prendre en compte, dont la variabilité des tailles mesurées pour un

même poisson. La réalisation de 5 mesures par poisson semble être un bon compromis entre la précision et la faisabilité sur les données de terrain.

4.2 – Activité de migration et caractéristiques biologique de la population de saumon

Cette analyse de l'activité de migration et des caractéristiques biologique de la population de saumon a été effectuée à partir d'un jeu de données enregistrées du 07 août 2013 au 2 mai 2015.

4.2.1. Caractéristiques biologiques de la population de saumon

La mesure de la taille des saumons sur les vidéos du DIDSON a permis d'estimer la composition de la population colonisant la Sélune en termes de gamme de taille, structure en tailles et proportion des deux composantes marines.

La distribution des tailles est proche de celle des poissons capturés à la ligne, mais fait apparaître plus de poissons de petite taille parmi les individus sélectionnés par le DIDSON. La raison principale de cette différence pourrait être liée à la sélectivité de la pêche à la ligne, à sa réglementation et à sa gestion par quota sur les rivières du Massif Armoricain (Bretagne et Basse-Normandie, méthodes des Totaux Autorisés de capture ou TAC) (Prévost & Porcher 1996). Ainsi, la taille légale de capture est de 50 cm ce qui fait que les quelques poissons de taille inférieure capturés à la ligne sont remis à l'eau et n'apparaissent pas dans les captures. La comparaison avec les saumons capturés sur l'Oir à Cerisel pourrait sembler peu opportune puisque les poissons capturés par piégeage ne font pas partie a priori des saumons enregistrés par le DIDSON situé en amont de la confluence Oir - Sélune. Cependant, les observations et les modèles de dynamique de population montrent qu'une majorité d'adultes retournant dans l'Oir n'en est pas originaire mais proviendrait de juvéniles produits par la Sélune (Rivot *et al.* 2004; Baglinière *et al.* 2005). De fait, les gammes et les deux distributions de taille ne sont pas significativement différentes (Khi^2 ; $p = 0,25$). Des individus d'une taille inférieure à 50 cm sont cette fois bien observés dans les captures par piégeage, mais apparaissent cependant en proportion moindre par rapport aux données du DIDSON, ce qui pourrait s'expliquer par un taux d'échappement plus important au piège. Les poissons de grande taille, qui correspondent à des poissons ayant séjourné trois hivers en mer (Baglinière & Porcher 1994), sont présents en abondance faible tant dans les captures à la ligne que dans les enregistrements du DIDSON. Cette composante marine, qui avait quasiment disparu des captures à la ligne à partir des années 1990 et ce jusqu'en 2002 (Baglinière *et al.* 2004) est réapparue ensuite en faible proportion dans les captures (données du Centre national des captures et de l'interprétation des écailles de salmonidés, CNCIS).

La comparaison des tailles obtenues avec le DIDSON avec les tailles et âges de mer des poissons capturés sur le bassin versant, par pêche à la ligne ou à la station de comptage sur l'Oir, permet d'estimer les proportions des deux composantes marines dans la population de saumons détectés par le DIDSON et ainsi de décrire la période de migration des deux composantes marines (castillons et saumons de printemps). Sachant que l'estimation de la précision des mesures de tailles sur les images du DIDSON a mis en évidence une tendance à la surestimation des poissons < 55 cm et une sous-estimation des poissons > 55 cm (partie 3.1), les tailles mesurées ont été recalculées à partir du modèle GLM reliant taille estimée à partir des vidéos du DIDSON et taille réelle du poisson (Figure 10) pour les poissons d'une taille mesurée inférieure à 70 cm. Ce modèle a été défini pour des poissons compris entre 51 et 68 cm, couvrant donc la majeure partie de la gamme de taille commune aux castillons et aux saumons de plusieurs-hivers-de-mer. Ce modèle n'explique cependant que 40% de la variance observée sur les données expérimentales (Daroux *et al.* 2015 ; submitted). Cette distribution n'observe aucune différence significative avec la distribution des saumons capturés à la ligne (Khi^2 ; $p = 0,30$). En estimant à l'aide des données biométriques de captures ligne l'âge de mer des 923 saumons identifiés sur les données du DIDSON sur l'ensemble de la campagne d'acquisition, la proportion de saumons de plusieurs-hivers-de-mer s'élève à 35% de la population et celle des castillons majoritaire, à 65%.

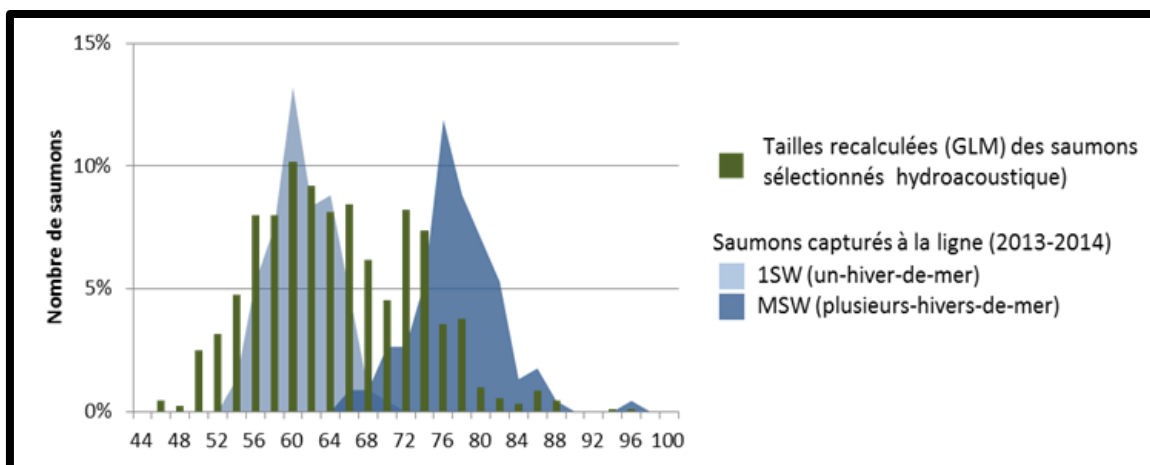


Figure 10. Distribution des tailles corrigées des saumons mesurés à partir des images DIDSON (n = 923) et des saumons capturés à la ligne sur la Sélune lors des campagnes d’acquisitions 2013 et 2014 (1SW : n = 115 ; MSW: n = 112, données CNICS)

4.2.2. Activité de migration

L’analyse des passages montre plusieurs phases dans la migration des saumons *i)* une augmentation progressive de l’abondance au printemps après une migration très faible pendant les trois premiers mois de l’année *ii)* un palier atteint en juillet et août et *iii)* un pic automnal (Figure 11).

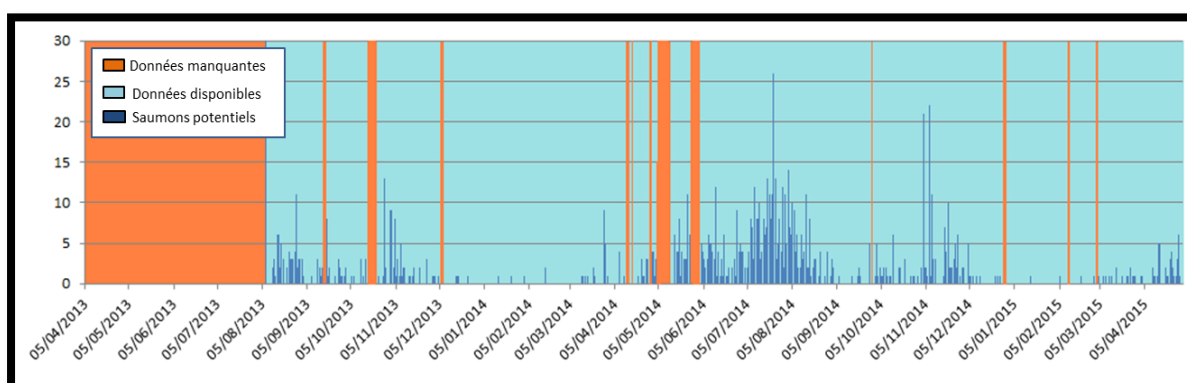


Figure 11. Distribution des passages de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 984) du 07 août 2013 au 1er mai 2015

Cette activité de migration a été reliée à un facteur biologique et quatre paramètres environnementaux.

4.2.2.1. Influence de la composante marine

L’activité de migration a été analysée en fonction de la composante marine. Des passages de saumons de printemps sont enregistrés tout au long de l’année mais avec des pics d’abondance en mars, juillet et novembre. Ce dernier pic apparaît même comme le plus important et est observé sur les deux années. En revanche, l’abondance des castillons augmente au cours du temps avec un pic important en juillet et août. Ces poissons restent encore bien présents par la suite avec un dernier pic d’abondance observé en novembre 2014

4.2.2.2. Influence des conditions tidales

Les mouvements de marée n’ont aucun effet sur la distribution des passages de saumons lorsque l’analyse est faite à l’échelle de l’ensemble de la campagne d’acquisition (Figure 12). L’analyse de l’activité migratoire saisonnière ne révèle aucune influence des mouvements de marée au printemps

et en été (Martignac, 2016). En revanche, il apparaît un effet des mouvements de marée en automne et en hiver qui se traduit par une même organisation des passages dans le temps : deux principaux pics de passage sont observés, le premier quatre à cinq heures après l'étale de pleine mer (PM+3 à PM+5), le second quatre à cinq heures après l'étale de basse mer (PM+10 à PM+11) (Figure 11).

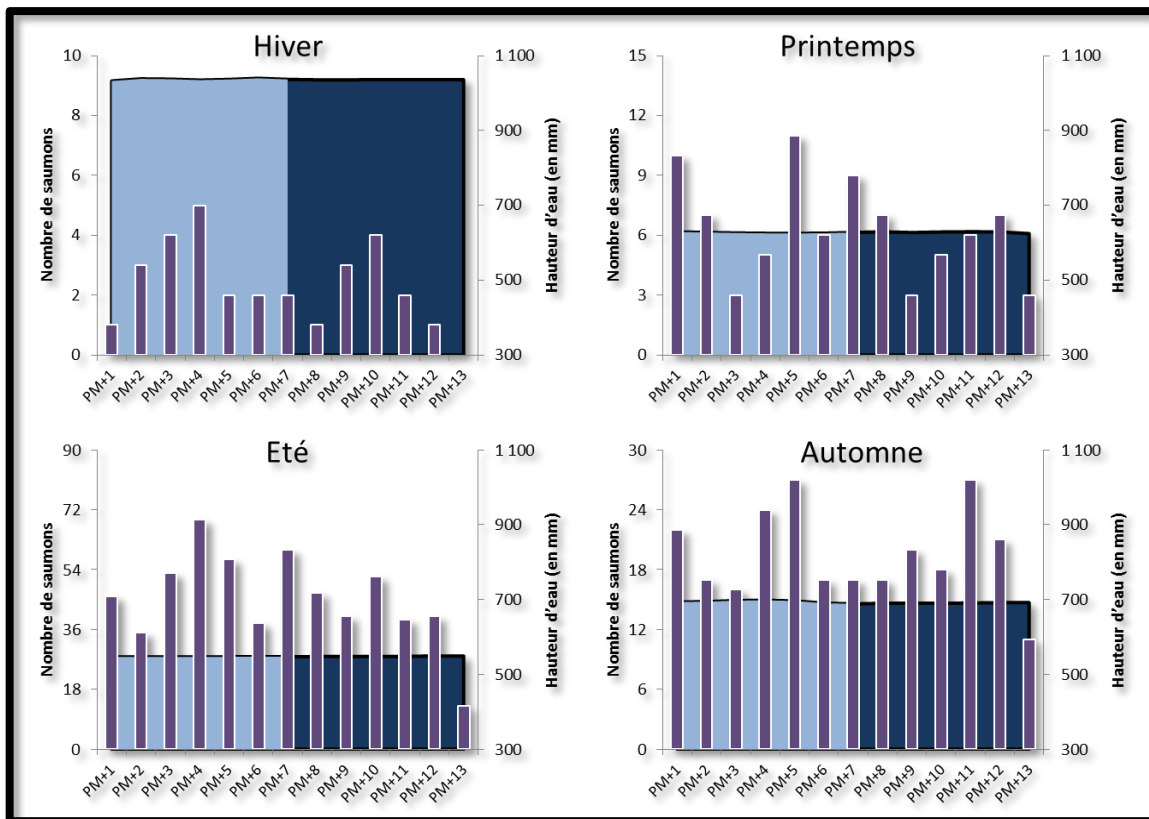


Figure 12. Distribution des passages de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 923) entre deux étales de pleine mer (PM) en fonction des hauteurs d'eau enregistrées sur le site de suivi (en mm) et des saisons hiver (n = 27) ; printemps (n = 82), été (n = 559), automne (n=255)

4.2.2.3. Influence de la température de l'eau

Il existe une relation significative entre la température de l'eau et le nombre de saumons ($R^2 = 0,34$; $p = 2,37 \times 10^{-9}$). A l'exception du pic automnal de 2014, le nombre de passages de saumons suit l'évolution des températures au cours de la campagne d'acquisition (Figure 13).

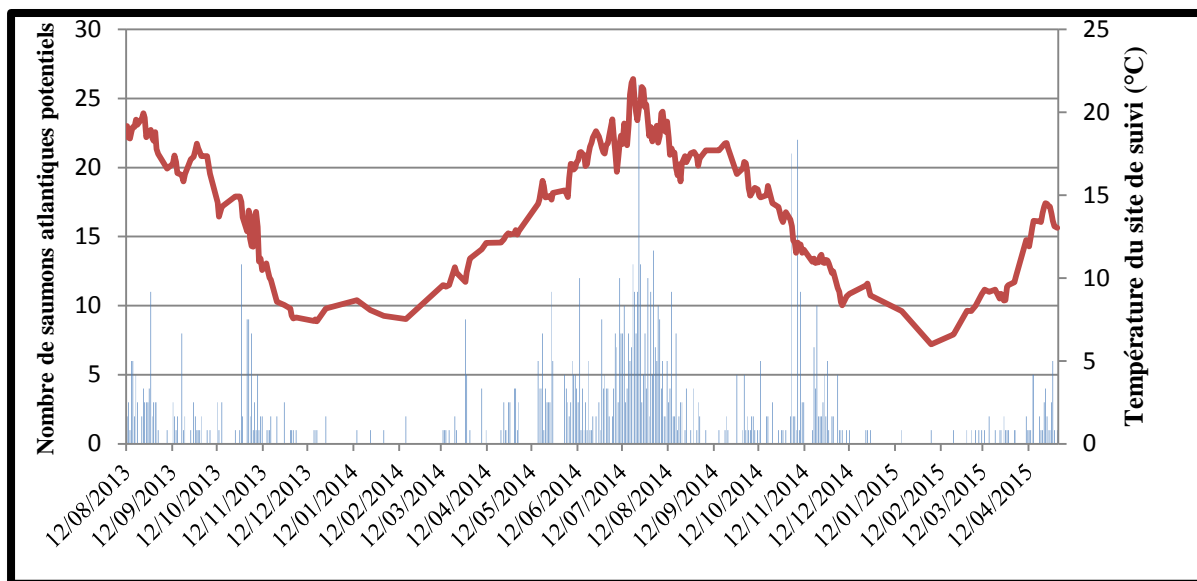


Figure 13. Distribution des passages journaliers de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 983) en fonction des moyennes journalières de températures de l'eau sur le site de suivi

Le nombre journalier de passages de saumon augmente avec la température de l'eau (Figure 14). L'activité de migration est faible (6,8 %) lorsque les températures de l'eau sont basses (entre 6 et 10°C) ce qui représente 27% de la période d'acquisition. Inversement, 50% des saumons ont été détectés lorsque la température de l'eau était comprise entre 15 et 20°C.

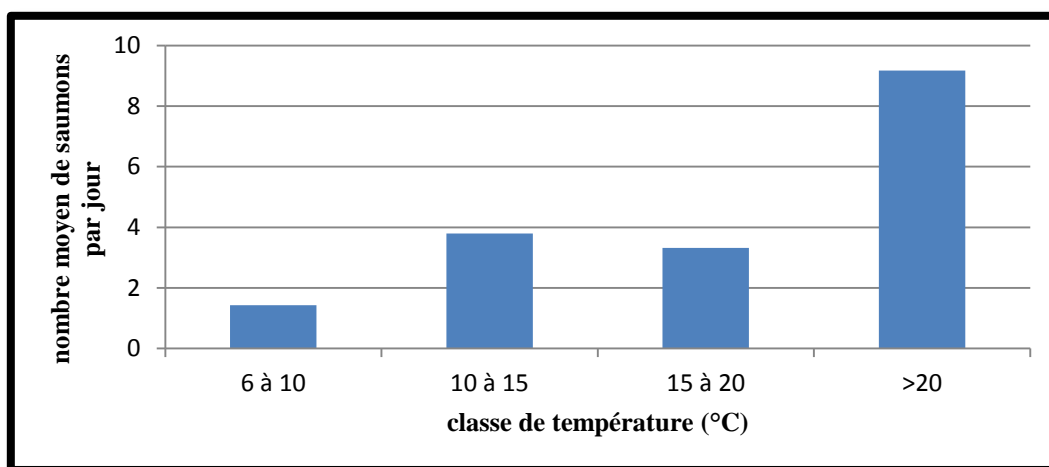


Figure 14. Nombre de passages de saumons moyen par jour en fonction de la gamme de température de l'eau (°C)

4.2.2.4. Influence du débit fluvial

Le rôle du débit sur la dynamique migratoire a été analysé à différentes échelle de temps.

- sur l'ensemble de la période de migration

Il existe une relation significative entre les débits fluviaux et l'abondance des passages de saumons ($R^2 = -0,20$; $p = 0,0004$). Les augmentations du débit fluvial semblent influencer positivement les remontées de saumons (Figure 15).

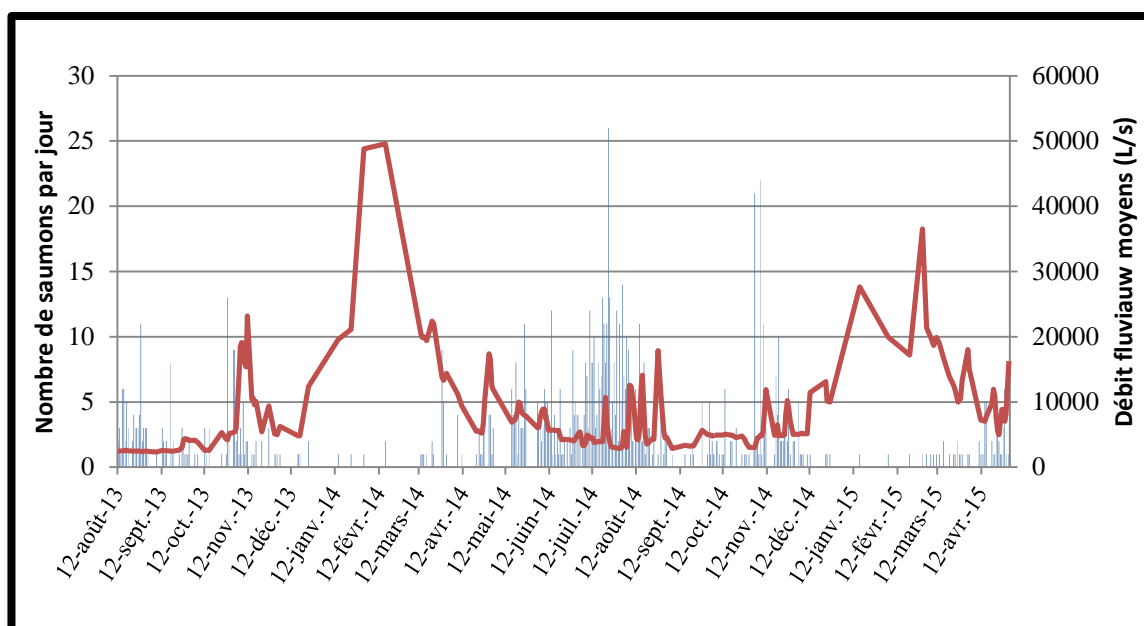


Figure 15. Distribution des passages journaliers de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 983) en fonction des débits fluviaux moyens quotidiens en L.s-1 (données UMR SAS- débit mesuré au pont de Signy)

Entre août et novembre 2013, les conditions sont hydrologiquement très stables alors que la migration est active. Cependant, la première augmentation de débit observée en novembre 2013 donne lieu à un important pic de remontée. Les observations sont similaires lors de la campagne 2014. Les saumons franchissent le site de suivi de façon quasi-continue entre mai et début septembre, mais la plupart des augmentations de débit entraîne une hausse de l'activité de migration. Ainsi, le taux de passage des saumons à des débits compris entre 5 et 10 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ est significativement supérieur à celui du débit d'étiage (2,4 à 3,5 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) (Wilcoxon ; $p < 0,01$). Cependant, le débit fluvial, au-delà d'un certain seuil, inhibe la progression des saumons. En effet, au-delà d'un débit de 12 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$, les taux de passages quotidiens décroissent significativement (Wilcoxon ; $p < 0,05$). Les capacités de nage des saumons peuvent être alors soulignées par des passages jusqu'à des vitesses de courant de 25 $\text{cm}.\text{s}^{-1}$ (Figure 16). Néanmoins, seulement 9% des saumons sont enregistrés lorsque les vitesses de courant sont supérieures à 16 $\text{cm}.\text{s}^{-1}$ et 3% lorsqu'elles excèdent 20 $\text{cm}.\text{s}^{-1}$. L'activité de migrations a préférentiellement lieu à des vitesses de courant inférieures comprises entre 4 et 12 $\text{cm}.\text{s}^{-1}$.

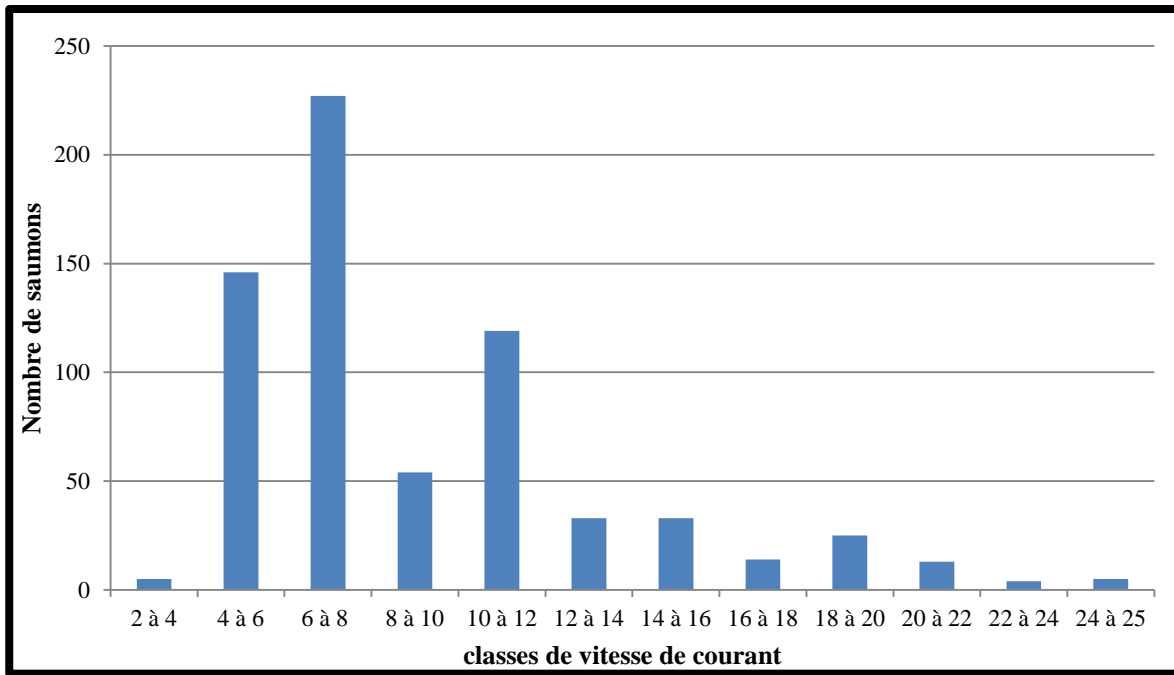


Figure 16. Vitesse d'écoulement enregistrée lors du passage des saumons au droit du site de suivi de la Sélune (n = 678)

- lors d'un épisode de crue

Le comportement de migration des saumons a été analysé avant, pendant et après l'apparition d'un épisode de crue à trois périodes de l'année et dans des conditions hydrologiques différentes : au printemps avec le pic de débit du 29 avril 2014 ($31,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; diminution progressive du débit après la période de hautes eaux, début de la période de migration), en été avec celui du 21 juillet 2014 ($11,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ durant les condition d'étiage, au cœur de la période de migration), en automne avec le pic du 11 novembre 2014 ($13,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; fin de la période de migration). Ces chroniques sont centrées autour d'un pic de crue majeur survenant après une période marquée de calme hydrologique (débit multiplié par 2 à près de 4 en quelques heures), accompagné de plusieurs augmentations de débit d'une intensité plus faible (débit initial multiplié par 1,2 à 1,8). L'analyse montre que l'activité de migration des saumons au cours d'un épisode de crue différent selon la période (Figure 17).

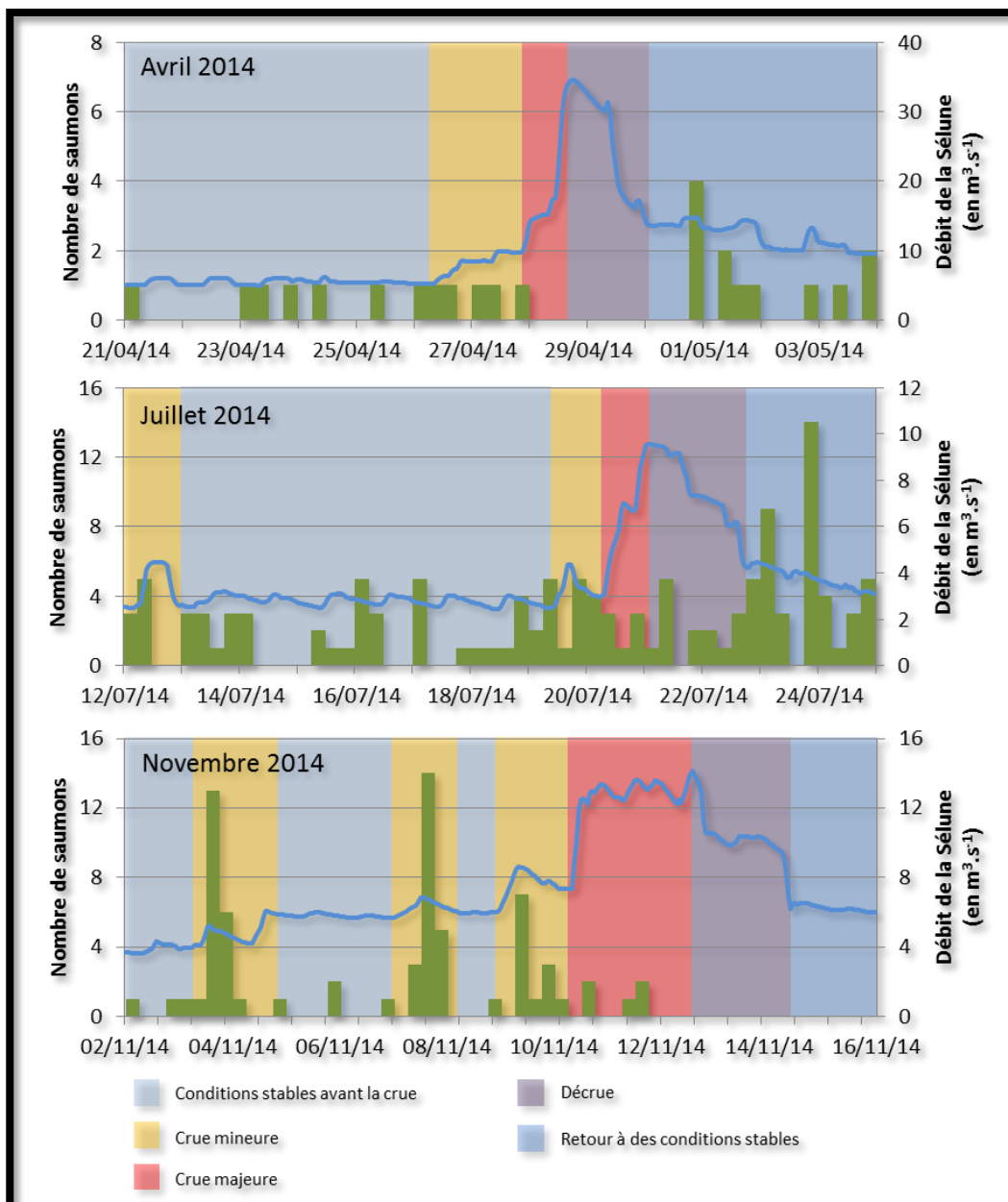


Figure 17. Distribution des passages de saumons atlantiques (sur 6h consécutives) sur la Sélune lors des pics de débit du 29 avril (n = 24), 21 juillet (n = 128) et 11 novembre 2014 (n = 68) en fonction du débit de la Sélune à Ducey (en m³.s⁻¹)

Tableau 1. Nombre de passages de saumons par heure sur la Sélune lors des trois périodes étudiées (en passages.heure⁻¹)

Période	Nombre de saumons	Conditions stables	Crues mineures	Crue majeure	Décru	Retour aux conditions stables	Moyenne sur la période
Avril	24	0,07	0,08	0,00	0,00	0,13	0,08
Juillet	128	0,28	0,45	0,35	0,51	0,81	0,43
Novembre	68	0,14	0,52	0,09	0,00	0,00	0,20

En avril et en juillet, une très nette augmentation du nombre de passages de saumons est observée après la crue (multiplication par 4 du débit), lorsque les débits retrouvent un niveau constant (Tableau 1). A l’opposé, aucun passage n’est recensé après le pic de crue en novembre. Lors

des trois périodes, les augmentations du débit de faible intensité ont un effet positif sur le taux de passage de saumons, plus particulièrement en novembre. Enfin, lors des périodes de crues majeures, aucune migration n'est observée ou celles-ci sont très fortement ralenties. La seule période lors de laquelle les saumons migrent lors du pic de crue est celle de juillet alors que le débit de base est plus faible (Martignac, 2016).

4.2.2.5. Activité nycthémérale

L'analyse du rythme des passages journaliers des 983 saumons enregistrés sur l'ensemble de la période analysée révèle une claire activité nocturne de ces poissons : 75% des migrations ont lieu entre la tombée de la nuit et le au lever du jour (Figure 18).

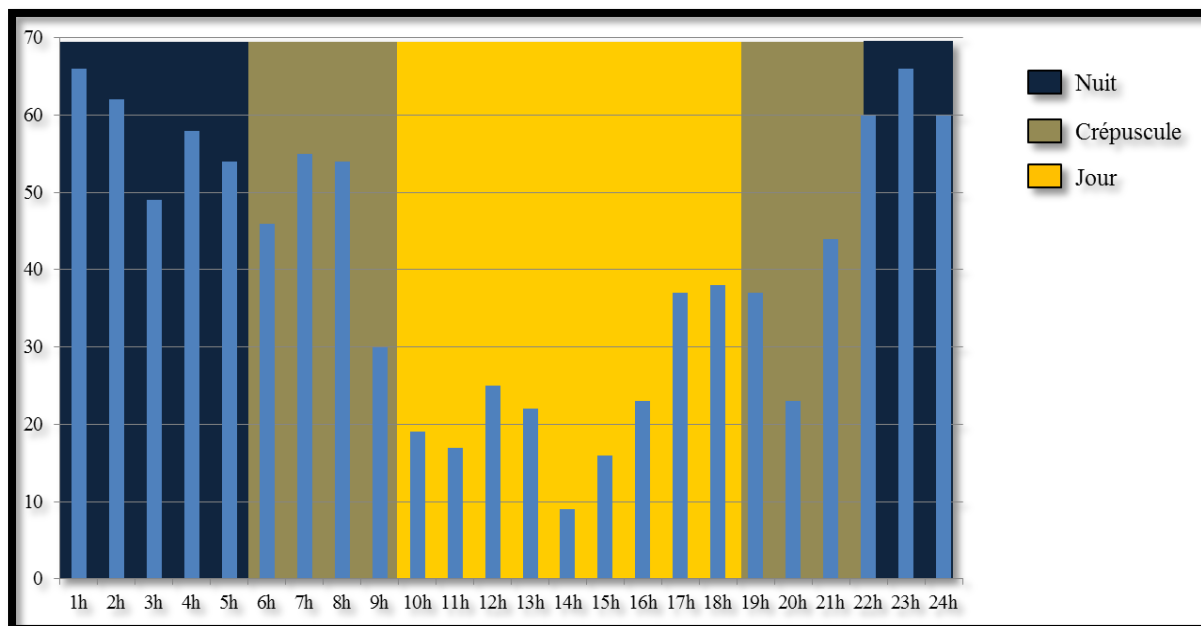


Figure 18. Distribution des passages de saumons atlantiques sur la Sélune (n = 983) en fonction des heures de la journée (GMT+2)

Néanmoins, si cette migration nocturne est très marquée en hiver, au printemps et en été, elle diffère significativement en automne (Wilcoxon ; $p < 0,05$) où elle se répartit d'une manière plus homogène sur le nycthémère.

Lors des épisodes de crue, l'activité nycthémérale n'est plus la même puisque les passages se répartissent tout au long de la journée, voire sont préférentiellement diurnes aussi bien lors ces crues sont fortes (débit 2,5 à 5 fois supérieur au débit initial) ou de faible intensité (débit 1,2 à 1,8 fois supérieur au débit initial). Ainsi, lors des petits pics de débit automnaux, 70% des passages (39/55) sont enregistrés en plein jour entre 9h et 18h. A l'opposé, en conditions stables, avant ou après la crue, l'activité des saumons est majoritairement nocturne (respectivement 86% et 90 des passages) (Figure 19).

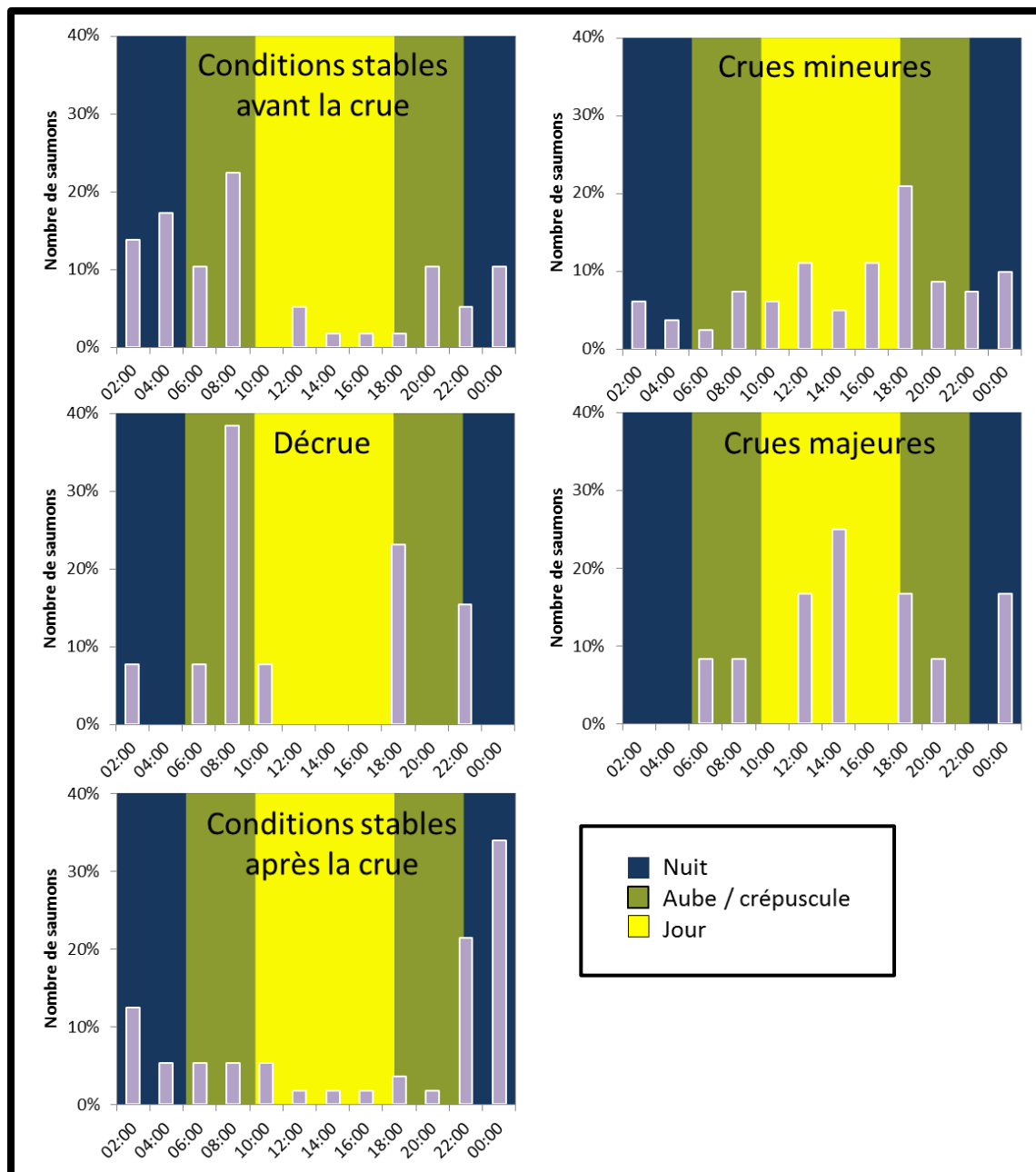


Figure 19. Distribution des passages de saumons atlantiques sur la Sélune en fonction des heures de la journée (GMT+2) et des phases observées lors des pics de crue d'avril, juillet et novembre 2014 : conditions stables avant la crue (n = 58), crues mineures (n =81), décrue (n=13), crues majeures (n=12) et retour aux conditions stables (n=56)

4.3 - Conclusions

Le DIDSON avec ses possibilités de mesure directe sur les images enregistrées a permis de donner une image représentative de la structure biométrique et démographique de la population de la Sélune (Martignac, 2016). La proportion estimée de la composante castillons à partir des images DIDSON (65%) est en accord avec les observations réalisées sur d'autres cours d'eau du Massif Armoricaïn à savoir une prédominance de cette composante dans les remontées : 84 % sur le Scorff (période 2004-2013, Jeannot et Baglinière, données non publiées), 75 % sur l'Elorn (période 2008-2014, Dartiguelongue, 2015), même si elle reste plus faible. Ce plus faible pourcentage de castillons sur la Sélune pourrait être l'une des caractéristiques des rivières de l'Avranchin, au débit spécifique plus important et colonisé alors par une proportion plus importante de gros poissons (Baglinière & Porcher 1994). Par ailleurs, cette proportion de castillons estimée à partir des images DIDSON est

très différente de celle obtenue à partir des captures à la ligne (49 %). Cette observation confirme l'importance du taux d'exploitation plus élevé sur la composante « saumons de printemps » déjà évoquée par Baglinière *et al.* (2005). D'ailleurs la consommation du TAC (Totaux autorisés de capture) est souvent dépassée sur ce fleuve, ce qui s'est traduit lors des deux campagnes d'études par un arrêt prématuré de la pêche à la ligne dès le mois d'août (pas de pêche automnale).

Le DIDSON donne également une bonne image de la dynamique migratoire du saumon. La période et l'activité de migration correspondent aux connaissances déjà acquises sur l'espèce, notamment dans les rivières du Massif Armoricaïn (Baglinière & Porcher 1994). Ces connaissances ont néanmoins été décrites à partir de données recueillies par piégeage, par vidéo-comptage ou par des opérations de radio-téléométrie avec les réserves qui s'imposent dues à l'utilisation de ces méthodes intrusives : comportement perturbé par la présence d'obstacles et par l'ingestion de l'émetteur ou nombre limité d'individus. Ainsi, l'analyse faite à partir des données DIDSON permet de donner une image non perturbée de l'activité de migration pour laquelle l'influence des quatre principaux paramètres habituellement évoqués est mise en évidence : âge de mer, température, débit et rythme nyctéméral, soulignant la pertinence d'un suivi par hydroacoustique des populations de poissons migrateurs et de la méthodologie mise en place.

L'interprétation des données enregistrées sur la Sélune confirme d'interaction complexe entre le comportement de migration des saumons atlantiques et son environnement. La description des passages sur le site de suivi de la Sélune offre un bon aperçu des phénomènes qui régissent, déclenchent ou inhibent une nage vers l'amont. Le contexte hydroclimatique et hydrologique module la dynamique migratoire des saumons de la Sélune, et assurent des rôles de déclencheurs autant que d'inhibiteurs en fonction de leur intensité. Le débit fluvial est l'un des premiers facteurs modulant l'activité de migration des saumons. A l'étiage, les augmentations modérées de débit déclenchent des progressions vers l'amont. Sur la Sélune, le taux de passage est significativement plus important lors de crues modérées que lors des périodes hydrologiquement calmes (Martignac, 2016).

5 - Guide d'utilisation du DIDSON pour suivre les populations de poissons migrateurs

5.1 - Choix du site de suivi

Le site de suivi doit être facilement accessible et sécurisé pour contenir tout le matériel informatique nécessaire. Sa localisation doit être assez proche de celle des personnes en charge du suivi pour pouvoir intervenir rapidement en cas d'événements exceptionnels (crues, fortes précipitations, coupures de courant électrique...) (Pipal *et al.*, 2010) et pour l'entretien régulier du matériel (Lilja *et al.*, 2010). Pour suivre les populations de poissons migrateurs, le site doit être situé en aval des zones de reproduction et des principaux affluents (Pipal *et al.*, 2010) et en amont de la zone d'influence de la marée (Daum et Osborne, 1998).

Le profil du fond du cours d'eau doit être le plus linéaire possible, avec un courant laminaire (Maxwell, 2007). Idéalement, l'aplanissement du fond cours d'eau permet d'éviter les zones d'ombres où la détection des poissons est impossible. De plus, l'aménagement du cours d'eau associé à un aplanissement permettrait potentiellement de travailler sur les ombres acoustiques des poissons passant dans le faisceau et d'identifier plus aisément les espèces.

5.2 - Paramétrage de la caméra acoustique DIDSON

La caméra acoustique DIDSON possède deux fréquences d'émission : une haute fréquence à 1,8 MHz et une basse fréquence à 1,1 MHz. Pour une plus grande précision (calculée expérimentalement à 2,9 cm pour une moyenne sur 5 mesures), l'utilisation du mode haute fréquence est recommandée. La portée de l'appareil est cependant limitée à 10 mètres (contre 40 mètres en basse

fréquence). Les rivières de grande largeur ne peuvent donc pas être échantillonnées directement par cette méthode, à moins d'y associer un barrage déflecteur qui assure le passage des poissons dans le faisceau de détection. La mise en place d'une stratégie d'échantillonnage est donc souvent nécessaire.

5.3 - Détection des poissons avec la caméra acoustique DIDSON

Pour être détecté, les poissons doivent se déplacer dans le faisceau de la caméra et doivent migrer activement et directionnellement. Si les poissons vont et viennent devant la caméra, ils peuvent être comptés plusieurs fois et biaiser les résultats (Maxwell, 2007).

Si l'espèce ciblée n'est pas la seule présente dans le système, une méthode alternative doit être développée pour identifier les autres espèces. Néanmoins, si les autres espèces présentes disposent de comportement ou de gammes de tailles suffisamment distinctes de l'espèce ciblée, l'observation de ces traits spécifiques ou filtres d'identification peut permettre la discrimination.

Le DIDSON est principalement utilisé pour détecter des organismes de plus de 20 centimètres. Il permet l'enregistrement de plusieurs caractéristiques : la taille du poisson, son angle dans le faisceau, sa distance à la caméra mais pas la profondeur du poisson dans la colonne d'eau (Hughes, 2012).

5.4 - Traitement des données

Le traitement des données avec le logiciel constructeur Sound Metrics Corp. est très chronophage. L'utilisation d'un logiciel alternatif de traitement de données acoustique est nécessaire pour se diriger vers une automatisation du traitement.

5.4.1. Cas du suivi des saumons atlantiques (*Salmo Salar*)

Une méthodologie de tracking spécifique aux saumons atlantiques a été mise en place (Figure 20) en utilisant le logiciel Sonar5-Pro et les critères suivants :

1) Paramètres du tracking : *perimeter length* ≥ 17 *samples*, nombre minimal de *frames* (images) consécutifs = 3, nombre maximal de *frames* « vides » = 2. Ces paramètres sont peu restrictifs et permettent d'intégrer dans la sélection les saumons visibles sur très peu d'images (ou *frames*).

2) Critères de sélection des saumons potentiels :

- Passage à une distance raisonnable du DIDSON : « **Range** » ≥ 2 m. Lorsque les passages sont proches de la caméra acoustique (petite ouverture du faisceau), l'enregistrement de leurs propriétés notamment concernant la mesure de taille n'est pas pertinent.

- **Passage de l'aval vers l'amont** : *Vx First Last* ≤ 0 . L'utilisation de « *Vx First Last* » a prouvé son efficacité pour décrire le sens de passage des individus pistés automatiquement dans le faisceau.

- Vitesse de nage importante : **Mean Echo Speed** $\geq 0,4$ m/s.

- **Longueur réelle** ≥ 50 cm : *Fish length* > 50 cm. L'estimation de la taille des individus est problématique pour les poissons d'une taille importante ($>$ à 45 cm d'après nos résultats) dont la trajectoire n'est pas perpendiculaire ou presque perpendiculaire au faisceau. Pour pallier ce problème, en plus de s'accorder une marge de quelques centimètres, un double critère additionnel peut être appliqué sur les poissons non sélectionnés par les trois précédents :

+ **Aspect angle** $\geq 90 \pm 15^\circ$ et **Fish length** ≥ 35 cm. Les poissons sélectionnés par ce double critère ont une très forte probabilité d'être identifiés comme saumons potentiels dont la taille serait sous-estimée par le pistage automatique.

3) Vérification visuelle avec SoundMetrics de chacune des cibles sélectionnées par Sonar5-pro : au regard des résultats obtenus, une validation visuelle est **indispensable** pour s'assurer de la pertinence de l'abondance des passages de saumons devant le DIDSON. Au-delà des problèmes de comptage multiple et de sous-estimation de la taille des poissons, Sonar5-pro ne peut pas décrire les comportements des poissons dans leur milieu naturel qui restent des critères d'identification. Ainsi

l'observation d'un comportement trophique (prédation, fouille dans le sédiment, broutage des algues sur les blocs), d'une nage anguilliforme (anguille, lamproie) ou tout autre comportement caractéristique d'une autre espèce (tel qu'un bull d'aloise) indique que la cible n'est pas un saumon. Si la cible est (ou peut-être) un saumon atlantique, l'opérateur mesure cinq fois la taille du poisson sur les images qu'il estime être les plus représentatives. S'il ne s'agit pas d'un saumon, il catégorise le type de cible dont il s'agit.

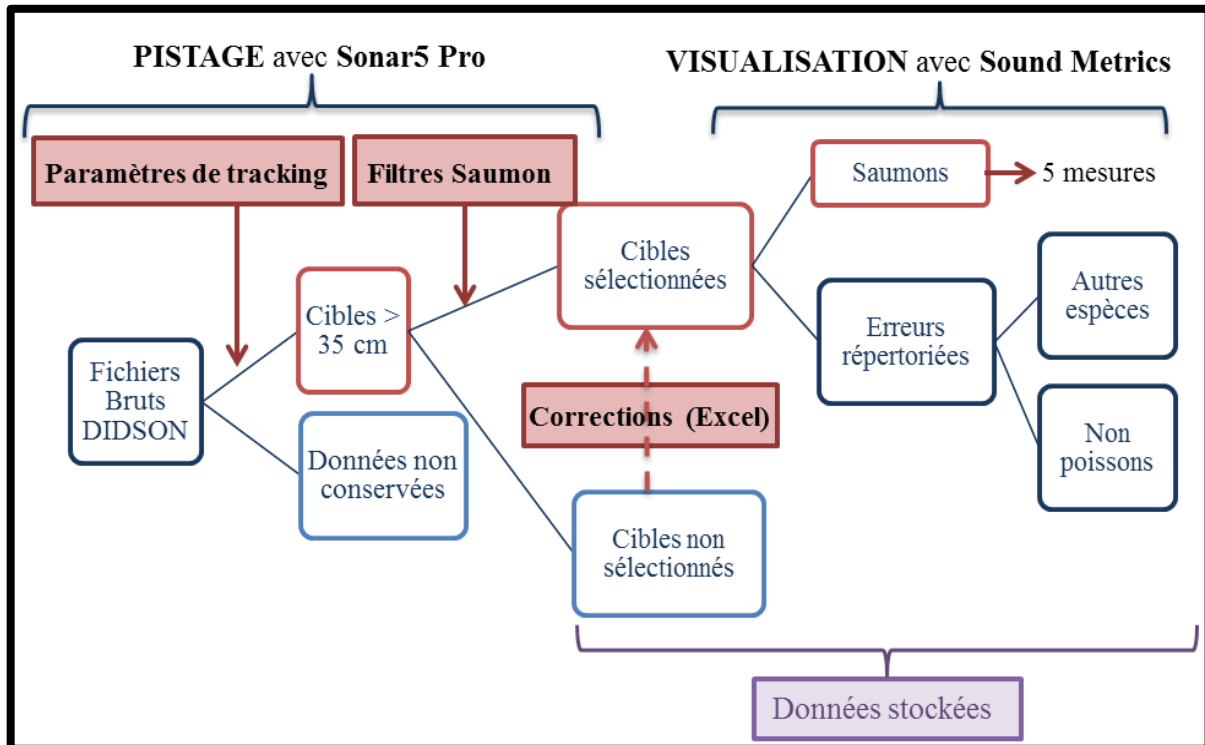


Figure 20. Représentation schématique de la méthodologie de « tracking » semi-automatique des saumons atlantiques

Cette méthodologie spécifique aux saumons utilisant Sonar5-Pro permet de diviser par 3 le temps de traitement des données par rapport à une visualisation complète de tous les fichiers sur Sound Metrics. Mais elle reste à améliorer. En effet, sur le nombre total de cibles sélectionnées par Sonar 5-Pro, seules 1.14 % sont validées visuellement comme étant des saumons atlantiques. L'utilisation de critères additionnels pourrait permettre de diminuer le nombre de cibles à valider visuellement sur Sound Metrics sans éliminer celles considérées comme des saumons.

5.4.2. Cas des autres espèces de poissons diadromes

L'adaptation de la méthodologie de « tracking » des saumons aux lamproies marines en s'appuyant sur des critères comme la courbure du corps de la cible et le calcul des coordonnées de la cible dans le faisceau ne s'est pas révélée concluante. Les limites du logiciel Sonar5-Pro ont été atteintes et des améliorations internes au logiciel sont nécessaires afin de suivre correctement la trajectoire des individus anguilliformes au cours des « tracking » automatiques.

6 - Construction d'un modèle pour estimer les flux de populations de poissons migrants

Les données de comptage de salmonidés issus de la caméra acoustique DIDSON sur la Sélune seront utilisées afin de développer une boîte à outils permettant l'estimation des stocks de poissons

grâce à un couplage entre méthodes d'observations et modélisation. Ce travail fait l'objet d'une fiche action de la convention ONEMA-INRA 2016-2018.

La Sélune étant un premier cas d'étude pour la mise en place de cette boîte à outils, il s'agira de développer une approche générale, applicable à des cas de figure très divers comme l'estimation de stocks en place (ex anguilles jaunes) ou des flux migratoires (ex salmonidés) à l'aide de méthodes d'observations différentes.

Estimer l'abondance d'une population ou d'un flux de poissons migrant dans un cours d'eau, dans ces conditions nécessite de prendre en compte une détection imparfaite des poissons par le système d'observations considéré. L'estimation de cette probabilité de détection doit se faire par le couplage entre deux appareils d'observation, et dans le cas présent entre une caméra DIDSON et un échosondeur.

6.1 – Cartographie des faisceaux du sondeur et du DIDSON

Pour estimer les flux de migration de saumon et la détection imparfaite du DIDSON, un échosondeur EY500 a été installé en complément du DIDSON sur le site de suivi de la Sélune pendant plusieurs périodes. Une première analyse des données couplées disponibles (Mars-Avril et Juillet 2015) a montré qu'il y avait un possible décalage entre les temps et les distances enregistrées par les deux appareils 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 mais aussi cartographier l'emprise réelle des faisceaux des deux appareils dans le cours d'eau, leur recouvrement et les possibles zones de non-détection au sein de ces faisceaux (écho du fond trop fort, obstacles,...).

Pour cela, en novembre 2015, une cible (Figure 21) a été déplacée le long de 8 transects traversant le fleuve (Figure 22). Un cordage tendu d'une rive à l'autre associé à un tube de pvc relié à la cible et coulissant 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 l'obtention d'une cartographie des faisceaux réels des deux appareils dans l'espace (Figure 23). Par ailleurs, les premières analyses des données issues de cette expérimentation montrent qu'il existe une différence de 20 à 80 cm dans l'interprétation de la position de la cible entre l'échosondeur et le DIDSON mais également que chaque jour l'ordinateur enregistrant les données de l'échosondeur prend une seconde de retard par rapport à celui enregistrant les données du DIDSON.

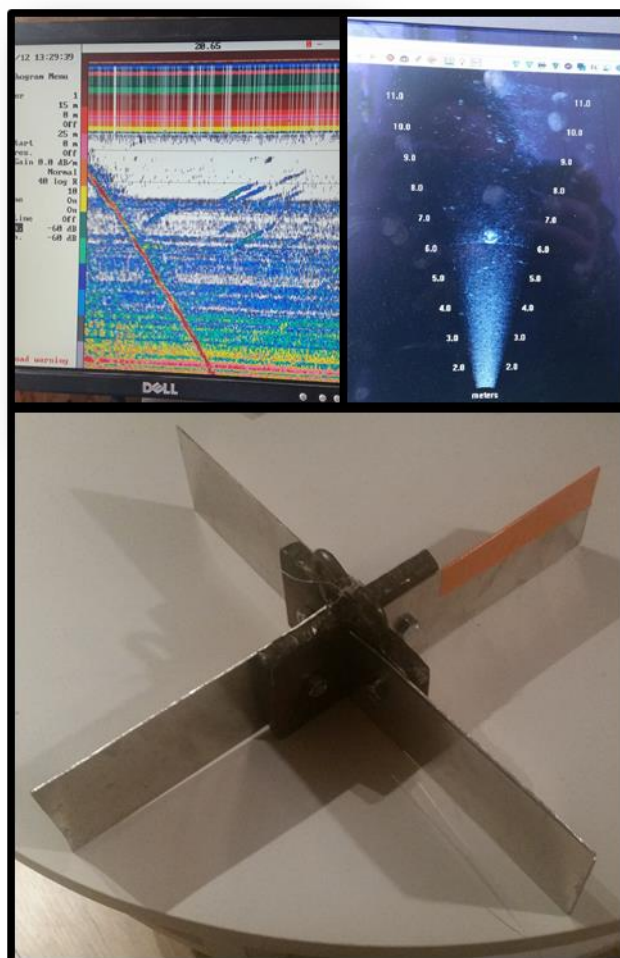


Figure 21. Photographie de la cible construite pour réaliser l'expérimentation (bas). Aperçu de la cible sur le site de suivi sur l'écran du sondeur (haut à gauche) lors d'un déplacement d'un bout à l'autre de la rive. Aperçu sur l'écran du DIDSON (en haut à droite) lors d'une stabilisation à 6.50 mètres du DIDSON



Figure 22. Photographie du dispositif de déplacement de la cible d'une rive à l'autre

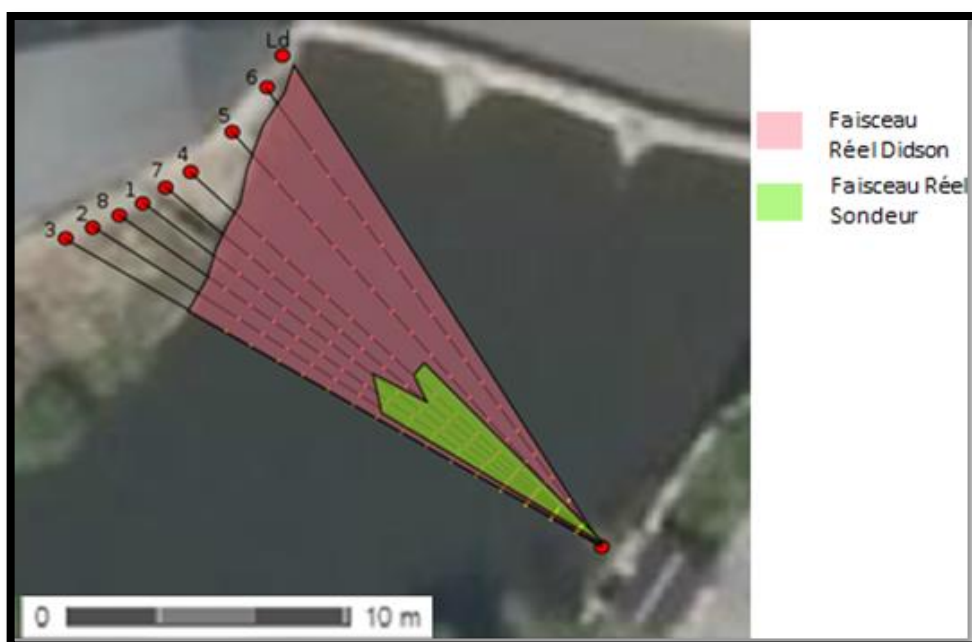


Figure 23. Cartographie des transects et des points d'échantillonnages et positions réelles des faisceaux du DIDSON (rose) et de l'échosondeur (vert)

Les données issues de cette inter-calibration serviront à corriger les données de comptage des deux appareils mais aussi à créer la structure du modèle qui servira à l'estimation des flux de migration de saumons.

6.2 - Modélisation du flux de migration

Un modèle hiérarchique bayésien est en cours de construction pour estimer les flux de migration à l'aide de ces données couplées. Ce type de modélisation est un outil très puissant permettant l'analyse de jeux de données importants et hétérogènes en traitant conjointement des données riches et pauvres en information et en organisant le transfert d'informations des données riches vers les données pauvres. Ces modèles permettent également de considérer explicitement les différentes sources d'incertitudes dans les estimations et les prédictions. Dans un premier temps, des données de comptage de saumon au cours de la saison ont été simulés permettant ainsi de tester la puissance du modèle pour des scénarios simples. Nous avons d'abord considéré le cas de faisceaux communs pour les deux appareils d'observation et avec des données abondantes. Puis nous testerons des cas plus complexes avec des faisceaux de détection intermittents (pour reproduire le mode d'acquisition du DIDSON sur la Sélune) et des données pauvres en information. Dans un second temps (printemps 2016), le modèle sera testé avec les données enregistrées avec le DIDSON sur la Sélune. Un second système d'étude sera identifié en 2016 pour tester le niveau de transposabilité de l'approche proposée à d'autres cas d'études.

Références bibliographique

- Baglinière J.-L., Denais L., Rivot E., Porcher J.P., Prévost E., Marchand F. & Vauclin V. (2004). Length and age structure modifications of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations of Brittany and Lower Normandy from 1972 to 2002. Technical Report, INRA-CSP.
- 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*, 101–122. Ifremer, Brest.
- Baglinière J.-L., Marchand F. & Vauclin V. (2005). Interannual changes in recruitment of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) population in the River Oir (Lower Normandy, France): relationships with spawners and in-stream habitat. *ICES Journal of Marine Science*, **62**, 695–707.
- Daroux A., Martignac F., Nevoux M., Baglinière J.-L., Ombredane D. & Guillard J. (2015, submitted). Fish length measurements using an acoustic camera (DIDSON): accuracy and impacting factors. *Journal of Fish biology*.
- Dartiguelongue J. (2015). *Contrôle du fonctionnement de la passe à poissons de installée à Kerhamon sur la rivière Elorn (29). Suivi de l'activité Ichtyologique en 2014*. Rapport de sous-traitance S.C.E.A./ Fédération du Finistère pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques.
- Daum D.W., Osborne B.M. (1998) Use of fixed-location, split-beam sonar to describe temporal and spatial patterns of adult fall chum salmon migration in the Chandalar River, Alaska. *North Am J Fish Manag* **18**, 477-486.
- Foote K.G. (2009). Acoustic Methods: Brief Review and Prospects for Advancing Fisheries Research, in: Beamish & Rothschild (Ed.), *The Future of Fisheries Science in North America*, 313-342.
- Karr J.R. (1991). Biological integrity : a long-neglected aspect of water resource management. *Ecol. Appl.* **1**, 66-84.
- Le Gonidec C., Grimaldi C., Crave A., Rollet A.-J., Beauchamp A., Lespez L., Martignac, Saxer S., Daroux A., Forget G., Côte J., Baglinière J.L., Ombredane D., Guillard J., 2015. Dynamique fluviale (Flux hydriques, sédimentaires et chimiques et Géomorphologie) et Biocénoses aquatiques (Suivi des flux migratoires de poissons par Hydroacoustique (DIDSON) et Caractérisation biologique et toxicologique de la population de poissons dans la retenue de Vezins). Programme Sélune Phase pré-arasement. Rapport d'étape annuel 2014, 97 p.
- Lilja J., Romakkaniemi A., Stridsman S., Karlsson L. (2010) Monitoring of the 2009 salmon spawning run in River Tornionjoki/Torneälven using Dualfrequency IDentification SONar (DIDSON), A Finnish-Swedish collaborative research report. 43 p.
- Martignac F. (2016). Utilisation de deux outils hydroacoustiques pour analyser la dynamique migratoire du saumon atlantique (*Salmo salar*) dans deux fleuves de la baie du Mont-Saint Michel. Thèse Agrocampu-Ouest Université Européenne de Bretagne, 303 p.
- Maxwell S.L. (2007) Hydroacoustics: Rivers. In *Salmonids Field Protocols Handbook. Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations*. (Eds. DH Johnson, BM Shrier, JS O'Neal, JA Knudzen, X Augerot, TA O'Neil, TN Peasons), American Fisheries Society, 133-152.
- Pipal K., Jessop M., Holt G., Adams P. (2010) Operation of Dual Frequency identification sonar (DIDSON) to monitor adult steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) in the central California coast, in: COMMERCE, U.S.D.O., Administration, N.O.a.A., Service, N.M.F., Center, S.F.S. (Eds).
- Prévost E. & Porcher J.P. (1996). Méthodologie d'élaboration de Totaux Autorisés de Captures (TAC) pour le saumon atlantique (*Salmo salar* L.). Evaluation et gestion de poissons migrateurs. GRISAM.

Rivot E., Prévost E., Parent E. & Bagliniere J.L. (2004). A Bayesian state-space modelling framework for fitting a salmon stage-structured population dynamic model to multiple time series of field data. *Ecological Modelling*, 179, 463–485.

Rose K.A. (2000). Why are quantitative relationships between environmental quality and fish populations so elusive? *Ecol. Appl.* 10, 367-385.

Trenkel V.M., Ressler P.H., Jech M., Giannoulaki M., Taylor C. (2011). Underwater acoustics for ecosystem-based management: state of the science and proposals for ecosystem indicators. *Marine Ecology Progress Series* 442, 285-301.

Waine M.W. (2010). Assessing Spawning Runs of Anadromous Fishes Using a Bayesian Analysis of Split-beam and DIDSON Count Data, *Fisheries, Wildlife, and Conservation Biology*. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, p. 83.