



A : Biocénose : suivi des flux migratoires de poissons par hydroacoustique (DIDSON) B : Géomorphologie, flux (sédimentaires, hydriques et chimiques) et relation avec les habitats [Rapport d'étape annuel 2014 - Programme Sélune Phase pré-arasement]

François Martignac, Claude Le Gonidec, Aurélie Daroux, Jean Guillard,
Jean-Luc J.-L. Baglinière, C. Grimaldi, Alain Crave

► **To cite this version:**

François Martignac, Claude Le Gonidec, Aurélie Daroux, Jean Guillard, Jean-Luc J.-L. Baglinière, et al.. A : Biocénose : suivi des flux migratoires de poissons par hydroacoustique (DIDSON) B : Géomorphologie, flux (sédimentaires, hydriques et chimiques) et relation avec les habitats [Rapport d'étape annuel 2014 - Programme Sélune Phase pré-arasement]. [Rapport de recherche] Agence de l'Eau Seine-Normandie. 2014, pp.50. hal-03378760

HAL Id: hal-03378760

<https://hal.inrae.fr/hal-03378760>

Submitted on 14 Oct 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 Attribution 4.0 International License



Rapport d'étape annuel - Programme Sélune Phase pré-arasement –

Volets d'étude concernés :

- Biocénose : suivi des flux migratoires de poissons
Par hydroacoustique (DIDSON)**
- Géomorphologie, flux (sédimentaires, hydriques et chimiques)
Et relation avec les habitats**

Auteurs :

Martignac F.², Le Gonidec C.³, Daroux A.¹, Guillard J.⁵, Baglinière J.L.¹, Grimaldi C.³, Crave A.⁴

¹ : UMR 0985 INRA Ecologie et Santé des Ecosystèmes.

² : Asconit Consultants, Agence Ouest

³ : UMR INRA Sol, Agriculture, Spatialisation

⁴ : Géoscience – Université de Rennes I

⁵ : INRA – Université de Savoie UMR 42 CARTEL.

Janvier 2014

Table des matières

INTRODUCTION	4
<u>A- UTILISATION DE LA CAMERA ACOUSTIQUE DIDSON POUR SUIVRE LES POPULATIONS DE POISSONS MIGRATEURS DANS LA SELUNE</u>	<u>5</u>
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	5
2. INSTALLATION SUR LE SITE DE DUCEY	5
3. DESCRIPTION DES OUTILS	8
3.1. UN SONAR HAUTE-FREQUENCE : UNE CAMERA ACOUSTIQUE	8
3.2. UN COURANTOMETRE A EFFET DOPPLER ASSOCIE A UN PIEZOMETRE	9
3.3. LOGGER DE TEMPERATURE	9
4. TRAITEMENT DES DONNEES	9
4.1. DONNEES ENVIRONNEMENTALES	9
4.2. ENREGISTREMENTS DU DIDSON	9
5. RESULTATS PRELIMINAIRES	11
5.1. ENREGISTREMENT DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	11
5.2. INFORMATIONS EXTRAITES DES ENREGISTREMENTS DU DIDSON	12
5.2.1. Caractéristiques morphologiques des poissons	12
5.2.2. Description comportementale	14
5.2.3. Identification des espèces	16
6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	19
<u>B- GEOMORPHOLOGIE, FLUX (SEDIMENTAIRES, HYDRIQUES ET CHIMIQUES) ET HABITAT</u>	<u>21</u>
1. CONTEXTE	21
2. QUANTIFICATION DES FLUX SEDIMENTAIRES, HYDRIQUES ET CHIMIQUES	23
2.1. SUIVI HAUTE FREQUENCE DES FLUX SEDIMENTAIRES EN SUSPENSION (PAR TURBIDIMETRIE)	23
2.1.1. Acquisition haute fréquence	23
2.1.2. Corrélation turbidité/concentration en MES	24
2.2. PRESENTATION DU MATERIEL DE MESURE	26
2.2.1. Le turbidimètre	26
2.2.2. Transmetteur et centrale d'acquisition	27
2.3. PRESENTATION DU SITE D'ETUDE	27
2.3.1. Localisation des stations de mesures	27
2.3.2. Stations multi-paramètres EDF	28
2.4. INSTALLATION STATION	28
2.4.1. Fabrication d'une armature pour le turbidimètre	29
2.4.2. Obtention des autorisations	29

2.4.3. Alimentation électrique	30
2.5. RESULTATS ATTENDUS	30
3. EXPLORATION DES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES PAR VELOCIMETRIE	31
3.1. LA VELOCIMETRIE	31
3.2. LE VELOCIMETRE UB-FLOW F156	31
3.2.1. Présentation	31
3.2.2. Traitement des données	32
3.3. TESTS EN CANAL DE LABORATOIRE	33
3.4. RESULTATS ATTENDUS	34
4. GEOMORPHOLOGIE DYNAMIQUE DE LA RIVIERE	35
4.1. L'EQUILIBRE DYNAMIQUE D'UN COURS D'EAU	35
4.1.1. L'équilibre dynamique naturel	35
4.1.2. Modifications de l'équilibre dynamique par les activités anthropiques	36
4.2 CARACTERISATION GEOMORPHOLOGIQUE DU CHENAL AVANT OUVERTURE DES BARRAGES	36
4.2.1. Géomorphologie dynamique de la Sélune (contemporaine)	37
4.2.2. Géomorphologie dynamique de la Sélune (temps longs)	43
4.2. SUIVI GEOMORPHOLOGIQUE EVENEMENTIEL/ANNUEL APRES OUVERTURE DES BARRAGES	44
5. PERSPECTIVES	45
5.1. RELATION AVEC LES HABITATS PISCICOLES	45
5.2. AUTRES COLLABORATIONS	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48
ANNEXE 1. AFFICHE EXPLICATIVE DE L'INTERET DU SUIVI DES POISSONS MIGRATEURS AVEC LE DIDSON, INSTALLEE SUR L'ABRI DE DUCEY	50

Introduction

Les barrages sont à l'origine de modifications significatives du régime hydrologique, du continuum hydrologique, de la température de l'eau et des flux biologiques et biogéochimiques.

Dans ce contexte, l'enlèvement de barrages reste actuellement un outil potentiel fort pour la restauration écologique des cours d'eau permettant un retour à une hétérogénéité des habitats et à des conditions de libre circulation. Cependant, les conséquences globales d'une telle opération sur le milieu peuvent être difficiles à prévoir et à généraliser et des conséquences écologiques non souhaitables (modification des communautés en place, augmentation de la vulnérabilité d'espèces en danger) peuvent apparaître. Ainsi l'enlèvement de barrages constitue, au même titre que leur installation, une perturbation écologique importante.

En France, aucun cas d'étude d'enlèvement de barrage n'a été jusqu'à présent véritablement documenté alors que trois grands barrages ont été arasés entre 1996 et 1998. En revanche, ce type d'opération est relativement fréquent aux Etats-Unis où la réflexion est largement avancée et prend en compte d'une manière pragmatique le niveau de production des barrages, leur durée d'exploitation et les bénéfices de maintien vs les bénéfices d'enlèvement.

La Sélune (91 km, 1040 km²) est un des quatre cours d'eau avec la Sée (estuaire commun), le Couesnon et la Sienne, de la Baie du Mont Saint-Michel. Elle est fréquentée par la communauté de poissons diadromes (saumon, truite de mer, anguille, lamproies et aloses) sur un linéaire réduit de son cours principal (14 km) en raison de la présence de deux grands barrages (16 et 36 m).

Suite au non renouvellement de concession par EDF de leur exploitation hydroélectrique, leur arasement a été décidé par le MEDDE en 2012. L'objectif premier est de restaurer la continuité écologique terre-mer sur ce bassin versant. Ainsi, il était intéressant de proposer une étude sur le suivi avant et après le démantèlement de ces deux grands barrages.

Ce rapport présente les méthodes de suivi, les appareils de mesures et leur installation sur site, ainsi que les premiers résultats et les perspectives associées pour la caractérisation de l'état initial pré-arasement. Il concerne les volets d'étude suivants :

- A- Suivi des populations de poissons migrateurs de la Sélune par la caméra acoustique DIDSON**
- B- Géomorphologie, flux (sédimentaires, hydriques et chimiques) et habitat**

A- Utilisation de la caméra acoustique DIDSON pour suivre les populations de poissons migrateurs dans la Sélune

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'arasement des deux grands barrages présents sur la Sélune, il est prévu de suivre la dynamique migratoire 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 avant le début des travaux (vidanges dès 2014, arasements des ouvrages fin 2018). 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 la phase d'installation des outils sur le site d'acquisition puis présente la méthodologie utilisée pour traiter les données collectées. Les premiers résultats seront discutés et orienteront les perspectives et objectifs pour les prochaines années de suivi.

2. Installation sur le site de Ducey

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).

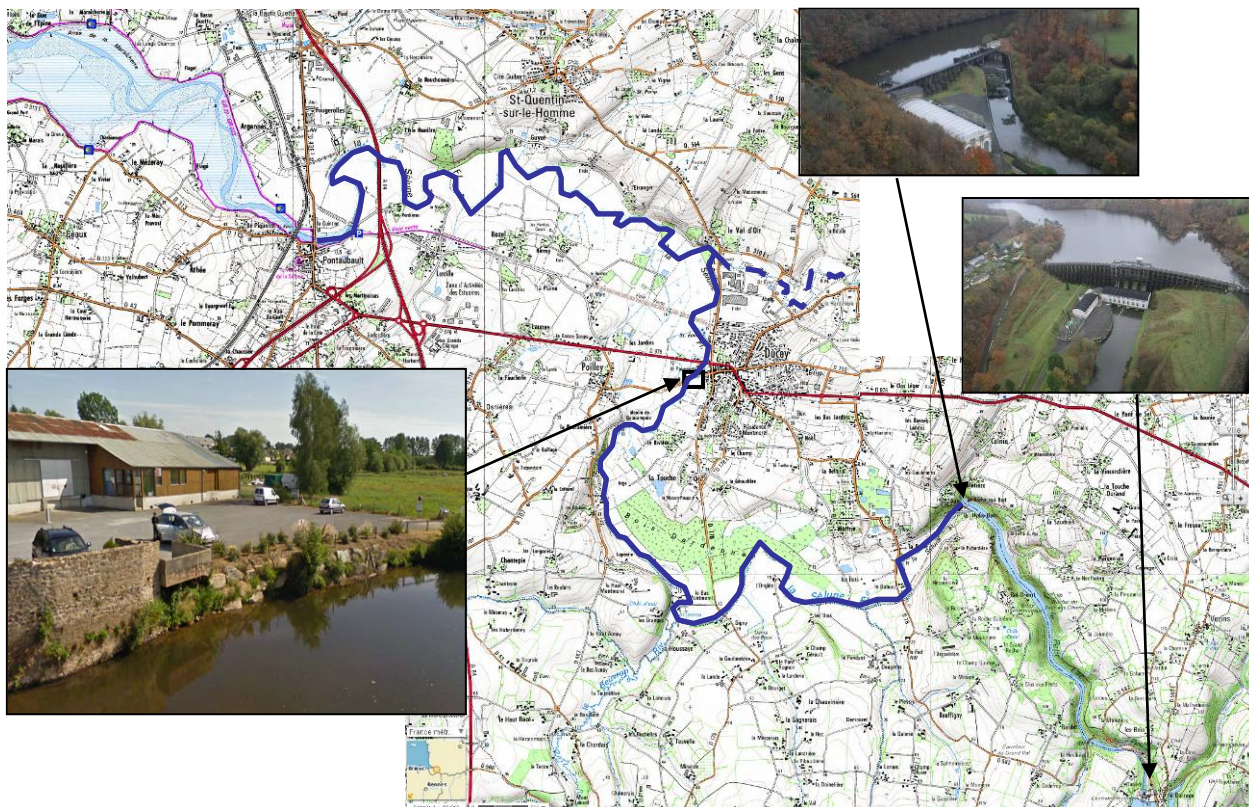


Figure 1. Localisation du site de suivi de populations de poissons migrateurs (photographie avant travaux) et des deux barrages sur la Sélune (données IGN). En bleu : ligne pleine, le cours principal accessible aux migrateurs ; en pointillés, l'Oir, affluent rive droite de la Sélune, un des sites de l'Observatoire de Recherches en Environnement Inra Petits Fleuves Côtiers (ORE PFC).

L'installation fait l'objet d'une convention de mise à disposition à l'amiable co-signée par l'INRA et le propriétaire. Ce site a été choisi en raison d'un profil bathymétrique adapté qui permet la visualisation de près de 90% de la lame d'eau et la présence d'un seuil en aval (qui garantit une immersion constante du DIDSON). Le plan d'installation définitif (Figure 2) a été validé début mars 2013 :

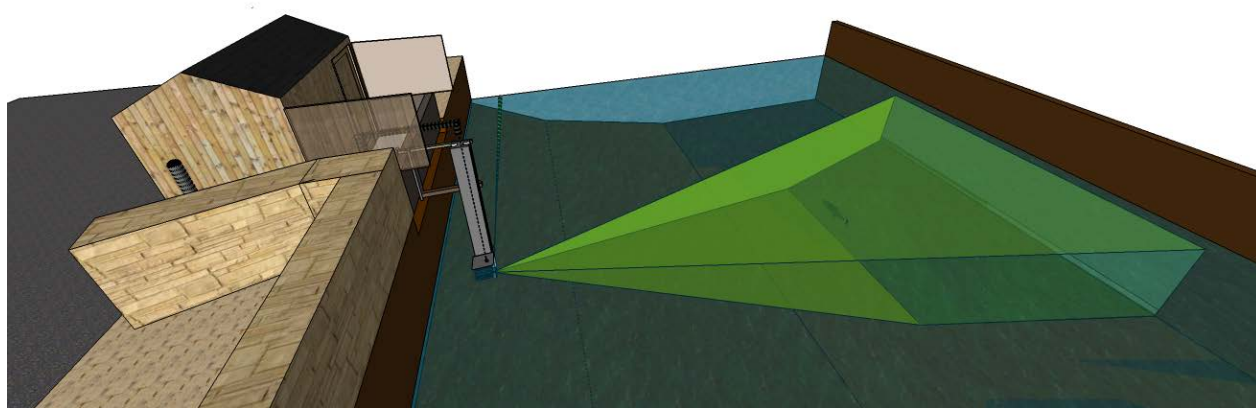


Figure 2. Représentation tridimensionnelle de l'installation du DIDSON, en vert le faisceau de détection

Un IPN (poutre métallique) placé horizontalement sous l'avancée bétonnée permet le renforcement de celui-ci. Un support galvanisé, conçu spécifiquement, permet de fixer le DIDSON, un courantomètre et deux enregistreurs de température. Deux capteurs sont installés pour pallier tout problème d'enregistrement des températures. Ce support coulisse le long d'une poutre verticale (fixé à la fois dans le fond de la Sélune et au niveau de l'IPN horizontal) grâce à l'action d'un treuil. Les trois enregistreurs peuvent donc être placés à une profondeur optimale dépendante des conditions hydrologiques.

Pour la réalisation de ces travaux, nous avons fait appel à trois artisans locaux : un maçon, un menuisier et un ferronnier. A la suite des prises de contact et des demandes de devis (mars à mai), les travaux ont débuté le 17 juin 2013 par la pose d'un IPN sous l'avancée bétonnée afin de la consolider (Figure 3A). Courant juillet, l'IPN vertical ainsi que la potence ont été mis en place (Figure 3B).



Figure 3. Site d'installation du DIDSON. A) Après la pose d'un IPN sous l'avancée bétonnée (juin 2013); B) Après la mise en place de l'IPN vertical et de la potence (juillet 2013)

Un abri d'une surface au sol inférieure à 5 m² (surface qui ne nécessite pas une autorisation administrative de la mairie) a également été installé pour permettre le stockage et la sécurisation des outils informatiques (Figure 4). Ces outils sont alimentés grâce à un raccordement à l'électricité de la ville que la mairie de Ducey nous fournit.

L'abri se trouvant à proximité du Vieux Pont de Ducey, inscrit aux Bâtiments de France, plusieurs exigences esthétiques ont dû être respectées (un bardage vertical en bois et une couverture du toit en ardoise). Après réalisation d'un dossier validé par un architecte des Bâtiments de France, nous avons reçu l'autorisation finale de la préfecture de la Manche le 27 mai 2013 pour construire cet abri.

Les travaux d'installation se sont terminés le 26 juillet 2013, jour à partir duquel la caméra acoustique DIDSON a été mise en fonctionnement. Les acquisitions du DIDSON sont depuis permanentes. Un ingénieur d'EurOcéanique, revendeur français de cette caméra acoustique, s'est déplacé sur site le 31 juillet pour valider la pertinence et la solidité de l'installation. Il a en particulier souligné que le site d'installation paraissait optimal pour le fonctionnement du DIDSON. Une pancarte « Station de comptage des poissons migrateurs » et une affiche explicative (dont une copie est jointe en annexe) ont été installées sur l'abri. Cette communication permet d'apporter aux riverains et aux visiteurs quelques éléments de réponses sur l'utilité et l'importance de ce nouvel élément du paysage.

La relève des données (enregistrées sur un disque dur externe) et l'entretien des appareils sont réalisés chaque semaine.



Figure 4. Site d'installation fonctionnel (26 juillet 2013). A gauche, intérieur de l'abri ; à droite, vue à partir du Vieux Pont de Ducey

3. Description des outils

3.1. Un sonar haute-fréquence : une caméra acoustique

Le DIDSON (Figure 5A) 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.

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. La largeur d'impulsion est dépendante de la portée, variant de 4 à 128 μ S. Le défilement maximal est de 21 images/secondes. L'enregistrement peut être visualisé à partir du logiciel constructeur, similaire à un lecteur vidéo (Maxwell et Gove, 2004). Cependant, des logiciels spécifiques aux traitements des données hydroacoustiques ont développé des outils pour intégrer des modules propres aux enregistrements du DIDSON.

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 (Hughes, 2012). 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.

3.2. Un courantomètre à effet Doppler associé à un piézomètre

Le courantomètre Hydreka Mainstream IV (Figure 5B) est un appareil permettant de mesurer :

- la hauteur par capteur piézorésistif
- la vitesse du courant par capteur de vitesse à effet Doppler avec une résolution de 1mm/s

Cet appareil est alimenté par une batterie rechargeable et enregistre les hauteurs d'eau et les vitesses du courant toutes les minutes.

3.3. Logger de température

Ce capteur de température est un petit enregistreur de données (Figure 5C) qui mesure des températures sur une large plage avec une précision de $\pm 0,2$ ° C. Il est conçu pour les environnements extérieurs et aquatiques. Une navette avec une interface USB permet de décharger les données en quelques secondes sur site puis de les transférer sur un ordinateur. Les capteurs enregistrent une valeur de température toutes les 10 minutes.



Figure 5. Dispositifs de suivi installés sur la Sélune. A) La caméra acoustique DIDSON ; B) Courantomètre Hydreka Mainstream IV ; C) Logger de température Tidbit

4. Traitement des données

4.1. Données environnementales

Les données enregistrées en continu sont collectées régulièrement sur site. Les acquisitions du courantomètre sont programmées et extraites à l'aide du logiciel Winfluid d'Hydreka. Les données issues des capteurs de températures sont programmées via le logiciel HOBOWare. Ces données environnementales sont compilées dans une base de données commune.

4.2. Enregistrements du DIDSON

Les données volumineuses (250 Go par semaine) enregistrées par le DIDSON sont déchargées chaque semaine et stockées sur des disques durs externes en deux exemplaires.

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 est la suivante (Figure 6) :

- de HH:00 à HH:14, le DIDSON effectue un enregistrement entre 7 et 17m de « range »
- de HH:15 à HH:29, le DIDSON effectue un enregistrement entre 1 et 11m de « range »
- de HH:30 à HH:44, le DIDSON effectue un enregistrement entre 7 et 17m de « range »
- de HH:45 à HH:50, le DIDSON effectue un enregistrement entre 1 et 11m de « range »

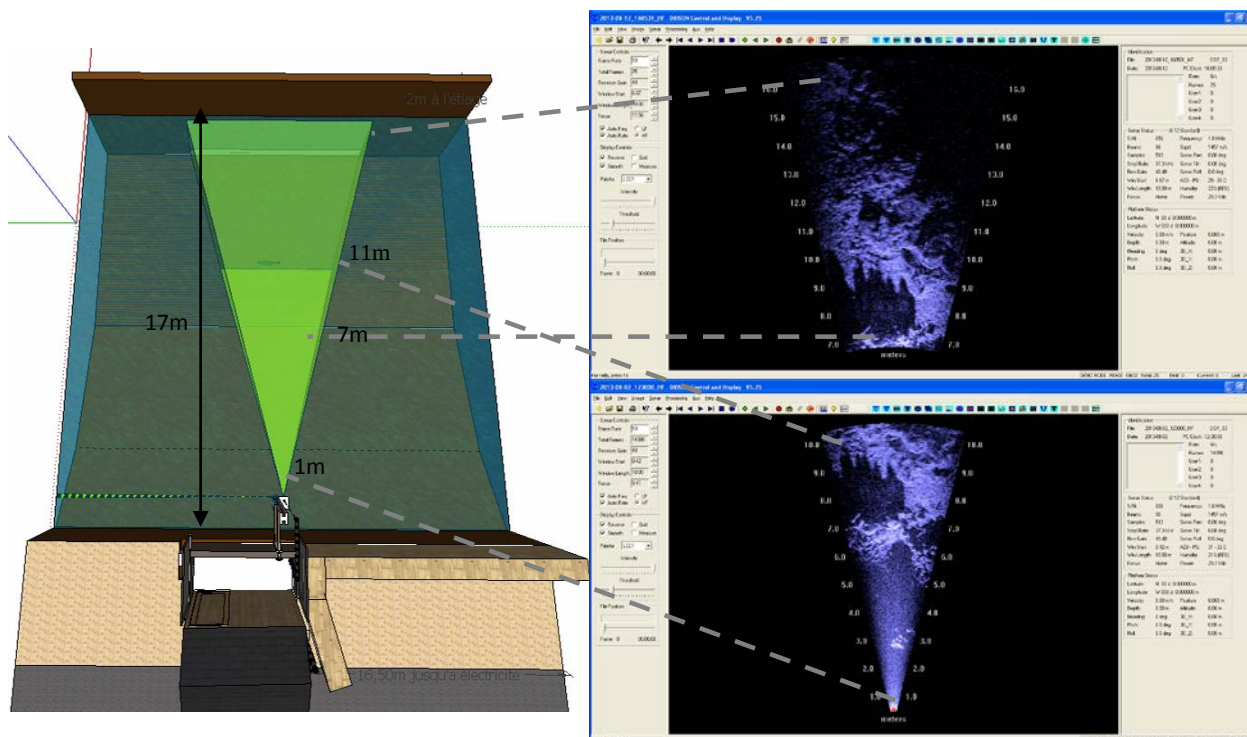


Figure 6. Représentation des différents « range » utilisés pour la stratégie d'échantillonnage (à gauche) et les images correspondantes obtenues avec le DIDSON (à droite).

Deux opérateurs sont chargés de traiter ces données via le logiciel constructeur créé par Soundmetrics.

Les limites de ce logiciel ont rapidement pu être identifiées. Les procédures de traitement automatique des données (comptage, mesure centimétrique et description du passage des poissons dans le faisceau de détection) ne sont pas adaptées et ne donnent pas de résultats cohérents. Le dépouillement des fichiers enregistrés suit donc la méthodologie suivante :

- L'opérateur visualise les vidéos enregistrées en accéléré (la vitesse de défilement dépend de la qualité des images et du nombre de poissons dans le faisceau).
- Dès qu'un poisson d'une taille supérieure à 50 cm passe dans le faisceau, l'opérateur identifie l'image la plus représentative de l'individu et stoppe le défilement. Ce seuil de taille est un des critères utilisé pour identifier les géniteurs de grands salmonidés migrateurs (saumon atlantique et truite de mer), il est évolutif en fonction de l'espèce ciblée.
- Le poisson est mesuré manuellement en dessinant une ligne le long du corps, de la tête vers la nageoire caudale (Figure 7). Si la qualité des images est faible, plusieurs mesures du même poisson peuvent être effectuées pour s'assurer de disposer d'une estimation de la taille représentative.
- Les champs longueur du poisson et distance de l'individu par rapport au sondeur (« Range ») se remplissent automatiquement. L'angle du corps du poisson par rapport au faisceau est également calculé automatiquement.
- Les poissons et leur comportement peuvent être décrits : espèce (si aucun doute sur celle-ci), déplacement (migration, comportement erratique, stabulation, dérive ou posé sur le fond) et direction (amont/aval). L'opérateur peut ajouter des remarques ou commentaires sur le poisson et estimer via une classe de 1 à 5 la possibilité que ce poisson soit déjà passé dans le faisceau.
- Une fois les champs renseignés, l'opérateur valide la saisie : un fichier texte est incrémenté avec une ligne détaillant les différentes informations pour chaque poisson. Un fichier texte est créé par fichier dépouillé.
- Les fichiers textes sont intégrés à une base de données via une interface R créée par l'Institut d'Aménagement de la Vilaine pour faciliter les traitements ultérieurs.

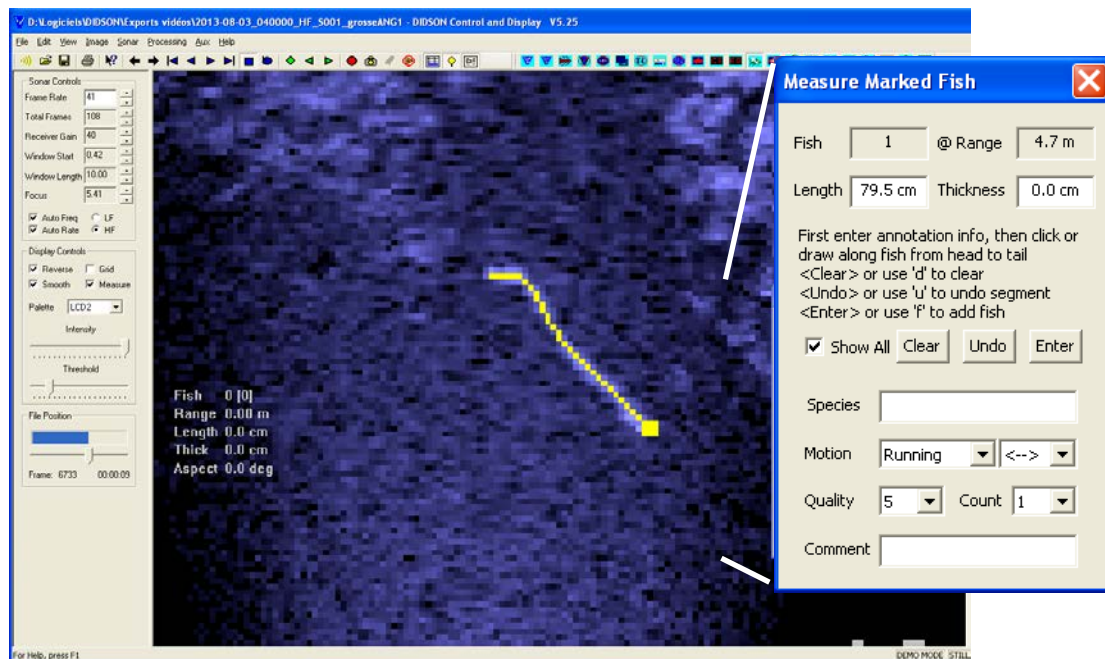


Figure 7. Capture d'écran du module « Mark Fish » du logiciel DIDSON.

Cette procédure est très chronophage, mais constitue une étape indispensable de la première année de suivi pour identifier des patterns éventuels de migration des espèces étudiées. Ces résultats devraient orienter l'optimisation de la méthodologie (sous-échantillonnage, observation sur les périodes les plus propices).

5. Résultats préliminaires

5.1. Enregistrement des conditions environnementales

Les données environnementales enregistrées depuis fin juillet permettent d'établir des chroniques sur les trois paramètres suivants : température de l'eau, vitesse du courant et hauteur d'eau (Figure 8).

Ces chroniques permettent d'identifier aisément les périodes de crue : lors de l'installation des capteurs fin juillet, et lors de la première quinzaine d'octobre.

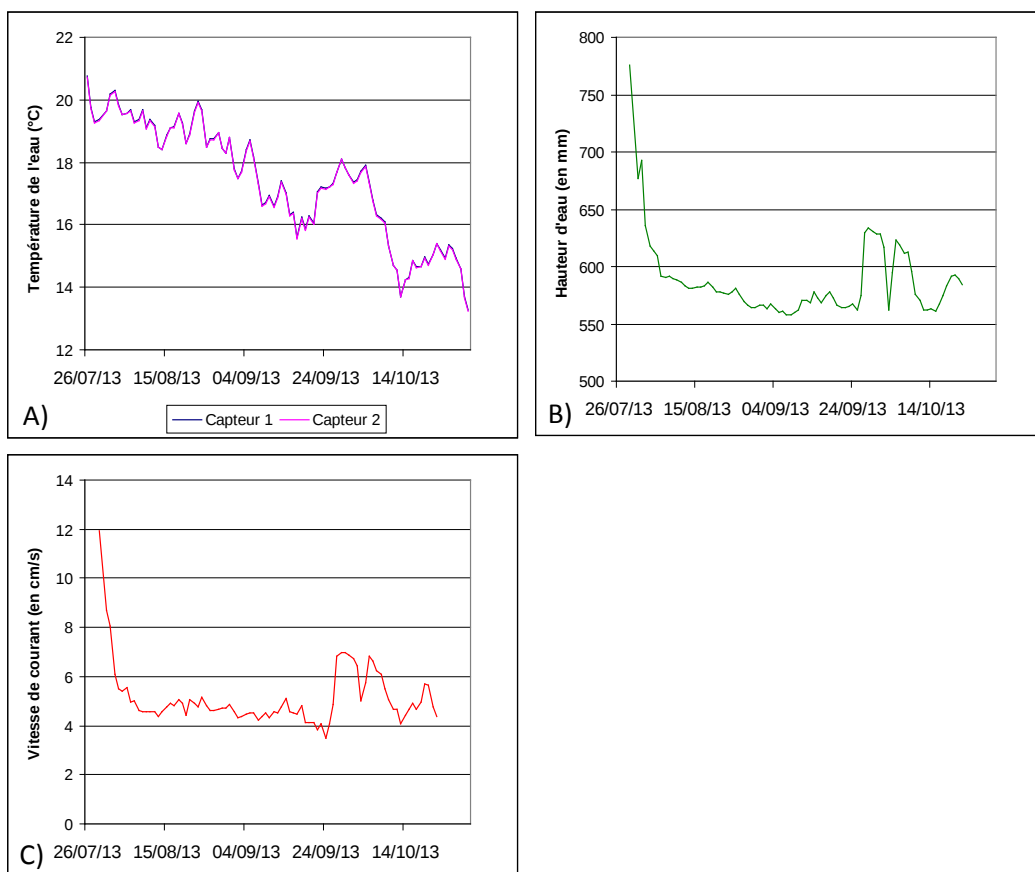


Figure 8. Chroniques des conditions environnementales de la Sélune (du 26/07 au 30/10).
A) Température de l'eau (°C) ; B) Hauteur d'eau (en mm) ; C) Vitesse de courant (en cm/s)

5.2. Informations extraites des enregistrements du DIDSON

Les données collectées sont en cours de traitement. L'analyse des données est très chronophage. Néanmoins, les premières données traitées permettent d'identifier le type d'informations pouvant être extraites des enregistrements. Elles concernent la morphologie et le comportement du poisson.

5.2.1. Caractéristiques morphologiques des poissons

5.2.1.1. Forme générale

L'image retranscrite sur le logiciel étant une projection des échos perçus par le sonar en réponse à ses émissions, les poissons aux morphologies atypiques sont clairement identifiables. Ainsi, les organismes aquatiques anguilliformes peuvent être discriminés des autres poissons (Figure 9) : anguille (*Anguilla anguilla*), lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*) et marine (*Petromyzon marinus*) toutes présentes dans la Sélune.

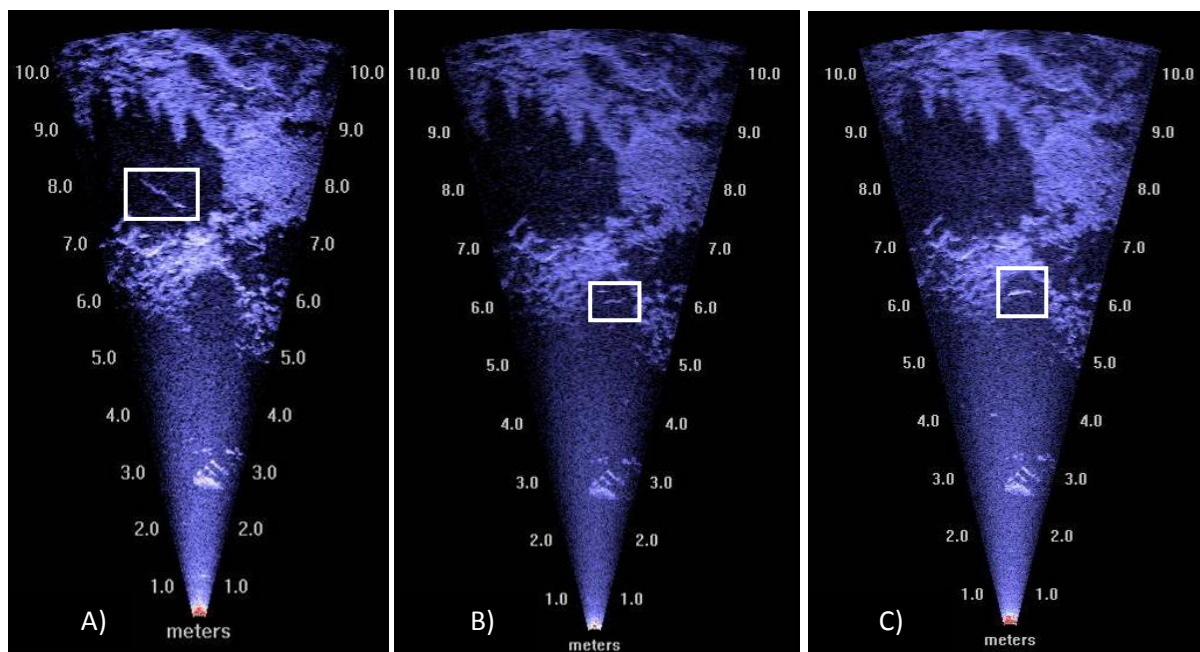


Figure 9. Visualisation des passages de lamproie marine, 88cm (A), d'anguille, 35 cm (B) ou de poisson, 37 cm (C)

L'ombre portée des poissons peut également apporter de précieuses informations (Figure 10). En effet, le corps du poisson arrête les ondes acoustiques et l'ombre qui en résulte est visible plus ou moins clairement sur les images enregistrées, en fonction de l'angle du poisson dans le faisceau et de la rugosité du fond. Au-delà de la morphologie du poisson (présence et position des nageoires, forme de la nageoire caudale, hauteur du corps), l'ombre portée peut renseigner l'opérateur sur la position de l'individu dans la lame d'eau ou sur l'inclinaison du corps du poisson par rapport au fond.

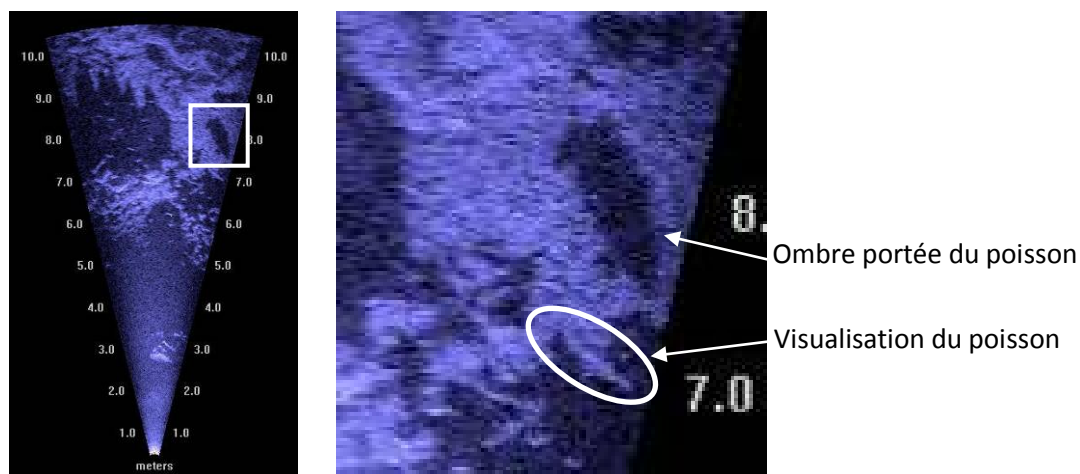


Figure 10. Visualisation d'un poisson de 75 cm et de son ombre portée

5.2.1.2. Taille mesurée

En utilisant la génération précédente d'échosondeurs, les tailles des poissons détectés étaient extrapolées à partir de l'intensité acoustique (TS) de leur écho. Cette valeur physique, exprimée en décibels, est proportionnelle à la taille de la vessie natatoire du poisson. Le DIDSON permet une mesure directe de la longueur du poisson sur les vidéos enregistrées, en s'affranchissant de la variabilité induite par la conversion des TS en taille centimétrique réelle et par la variabilité intrinsèque de cette réponse. Suivant la même logique, si l'angle de vue du poisson le permet (déplacement transversal), l'épaisseur

du corps du poisson (de flanc à flanc) peut être mesurée et renseigner l'opérateur sur la forme générale de l'individu (distinction possible entre une truite de mer et un saumon adulte à taille égale).

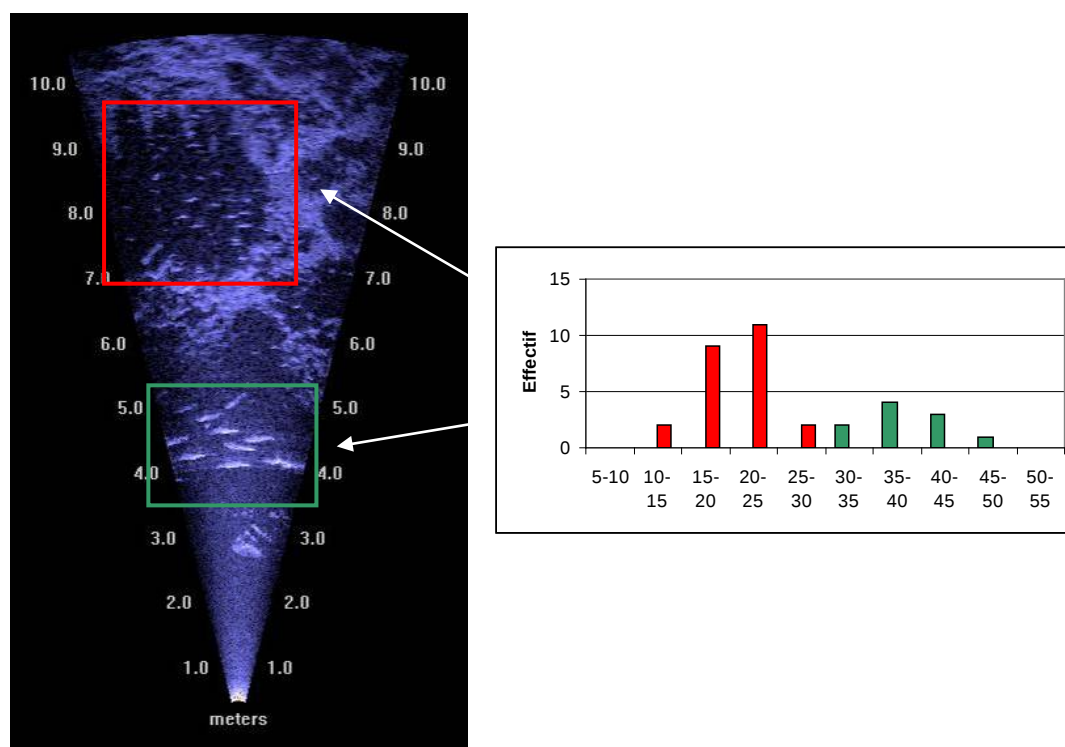


Figure 11. Observation de deux bancs de poissons de différentes tailles (en cm)

Les différences de tailles des poissons sont clairement visibles sur les images enregistrées par le DIDSON (Figure 11). D'après nos premières observations, les mesures de longueur des poissons ne peuvent être pertinentes qu'à partir d'une taille de 10-15 cm.

5.2.2. Description comportementale

5.2.2.1. Sens du déplacement du poisson

La visualisation du comportement des poissons commence par l'observation de son déplacement dans le faisceau. L'angle d'ouverture du faisceau de 29° permet de faire la différence entre un poisson qui adopte un comportement erratique, un poisson qui reste statique dans la veine d'eau (stabulation), et un poisson qui migre activement. Le sens de déplacement constitue également une information importante, particulièrement dans le cadre des espèces-cibles de cette étude. Les individus peuvent être observés en bancs (passage ou stabulation) ou se déplaçant de façon solitaire.

5.2.2.2. Rythmes d'activité

Le site de suivi installé sur la Sélune constitue un habitat à part entière pour les poissons locaux. Des peuplements résidents peuvent donc être observés dans nos enregistrements. Ceux-ci nous renseignent sur les rythmes de l'activité locale et saisonnière. Sur les premières semaines d'acquisition, une différence très nette est observée entre l'activité diurne et nocturne : si la journée (particulièrement l'après-midi), les mouvements de poissons sont très peu nombreux, l'activité est forte en fin de journée et au début de nuit (Figure 12). Des bancs de petits (10 à 15 cm) ou plus gros poissons (30 à 40 cm)

stabulent dans le courant, des comportements de prédation sont observés et les effectifs recensés explosent. Dans la seconde partie de la nuit (à partir de 2 à 3h), l'activité diminue, les passages de poissons étant plus rares. Un nouveau pic de déplacement est observé à l'aube et dans les premières heures du jour.

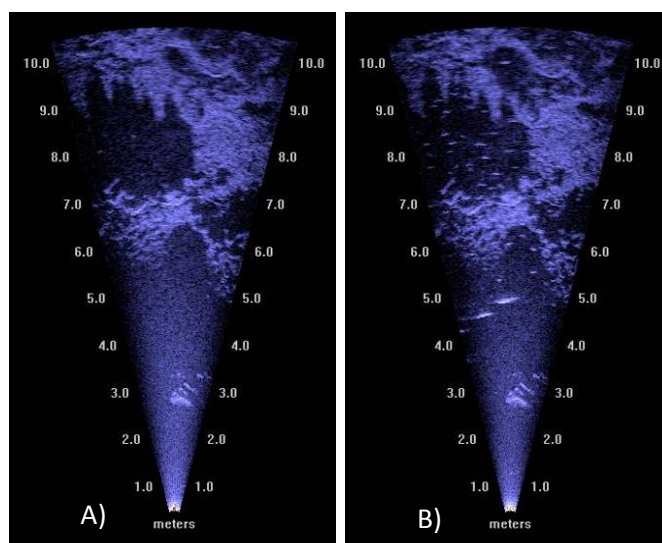


Figure 12. Visualisation représentative de l'activité des poissons dans le faisceau
A) de jour, le 16/08 à 16h ; B) de nuit, le 16/08 à 23h50.

5.2.2.3. Activité trophique

Plusieurs types de comportements alimentaires ont été observés :

- Stabulation face au courant et « gobage » : comportement insectivore. Dans la majorité des cas, les poissons adoptant un comportement de stabulation dans le courant sont observés en bancs et en début de nuit. Ils peuvent être de petite taille (10-15 cm) ou plus gros (30-40 cm). Certains individus solitaires adoptent également ce comportement.
- Prédation sur poissons : comportement piscivore. Des comportements agressifs de gros individus (de 30 à 75 cm) envers des individus de taille plus réduite ont été observés (Figure 13A). Plusieurs types de chasses peuvent être décrits : certains individus stabulent, presque immobiles, pendant plusieurs minutes avant de lancer leur attaque, d'autres rodent dans la zone en provoquant un comportement d'évitement des plus petits individus, puis d'un mouvement très vif attaquent leurs proies.
- Fouissement des sédiments : comportement benthivore. Certains poissons sont observés fouillant les sédiments entraînant une remise en suspension des matières fines qui sont visibles en aval du poisson. De plus, son ombre portée montre clairement que l'individu a la tête à proximité du lit du cours d'eau et la nageoire caudale vers la surface (Figure 13B).

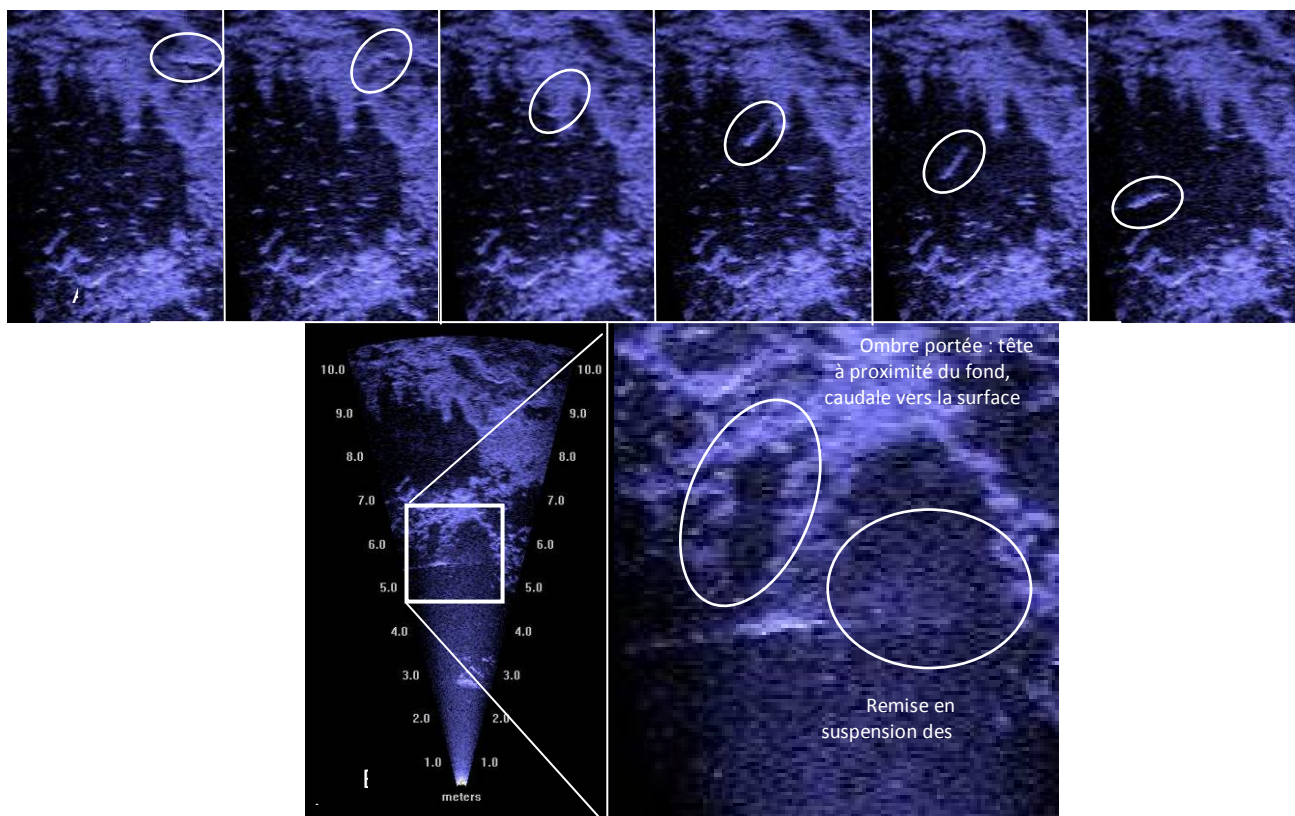


Figure 13. Visualisation de différents comportements alimentaires. A) Attaque d'un poisson piscivore ; B) Fouille des sédiments par un poisson benthivore

5.2.3. Identification des espèces

Les informations morphologiques et comportementales collectées permettent d'établir une liste de caractéristiques propre à chacun des poissons observés. La définition d'un profil type par espèce, défini à partir de connaissances bibliographiques permet 1) de favoriser l'identification des espèces-cibles migratrices présentes dans la Sélune 2) d'éliminer de notre sélection des individus appartenant à des espèces résidentes.

Le tableau 1 recense les caractéristiques des poissons migrateurs présents dans la Sélune et des espèces avec lesquelles ils peuvent être confondus. Cette base de données a été constituée à partir d'observations bibliographiques et demande à être complétée et affinée en compilant les données biologiques disponibles auprès des acteurs locaux (association de pêche locale, fédération départementale de pêche de la Manche, ONEMA, INRA...). À ces différents critères comportementaux s'ajoute un critère morphologique : la forme générale de l'individu. Les individus anguilliformes peuvent être facilement identifiés, et l'ombre portée de l'individu est susceptible d'apporter des indices supplémentaires.

Sur les premiers fichiers dépouillés, différentes espèces peuvent être identifiées grâce à ces critères. Les anguilles et lamproies marines, poissons anguilliformes, sont discriminées grâce à leur forme et à leur comportement de nage particulier. L'observation des passages d'individus de ces deux espèces montre également une différence de nage (ondulation).

En ce qui concerne les espèces résidentes, des carpes ont pu être observées, révélées notamment grâce à l'épaisseur atypique de leur corps et à leur comportement de fouille des sédiments. Deux grands prédateurs sont également observés mais pour l'heure difficilement différenciés : le sandre et le brochet. Là encore, les différences morphologiques (taille, nombre et forme des nageoires sur les

ombres portées des individus) et comportementales (type de chasse) de ces deux poissons peuvent orienter leur différenciation.

À l'exception de l'anguille, espèce catadrome et présente toute l'année sur le site, les poissons migrateurs de la Sélune appartiennent tous à des espèces anadromes : ils dévalent au stade juvénile en mer ou en estuaire et remontent en rivière au stade adulte pour se reproduire après un séjour en mer plus ou moins long. Les phases de remontée en eau douce sont dépendantes de plusieurs conditions et sont propres à chaque espèce. Ainsi, les adultes des espèces migratrices anadromes ne peuvent être observés qu'à des périodes précises.

L'identification des espèces, principale limite de l'utilisation des techniques hydroacoustiques, demande la mise en place d'une méthodologie précise basée sur plusieurs critères clairement identifiés pour minimiser la subjectivité des opérateurs et uniformiser les résultats obtenus.

Tableau 1. Tableau synthétique des caractéristiques de différents poissons présents dans ce tronçon de la Sélune

Caractéristiques	SAT	TRM	ANG	LPM	LPF	ALA	ALF	MUP	BRO	SAN	CHE	CCO
Nom vernaculaire	Saumon atlantique	Truite de mer	Anguille européenne	Lamproie marine	Lamproie fluviatile	Grande alose	Alose feinte	Mulet porc	Brochet	Sandre	Chevaine	Carpe commune
Nom latin	<i>Salmo salar</i>	<i>Salmo trutta</i>	<i>Anguilla anguilla</i>	<i>Petromyzon marinus</i>	<i>Lampetra fluviatilis</i>	<i>Alosa alosa</i>	<i>Alosa fallax</i>	<i>Liza ramada</i>	<i>Esox lucius</i>	<i>Sander lucioperca</i>	<i>Leuciscus cephalus</i>	<i>Cyprinus carpio</i>
Type de poisson	anadrome	anadrome	catadrome	anadrome	anadrome	anadrome	anadrome	catadrome	résident	résident	résident	résident
Stade	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte	adulte
Période de présence	mars à novembre	mars à novembre	- octobre à mars (migrateur) - continue (résident)	mars à juillet	février à avril	mars à juin	avril à juin	continue	continue	continue	continue	continue
Taille minimale (cm)	54	25	- 40 (migrateur) - 15 (résident)	70	25	40	30	30	30	30	30	40
Taille maximale (cm)	100	80	100	120	35	60	45	60	110	100 (rarement plus)	50 (rarement jusqu'à 65)	80
Comportement attendu	- migration franche vers l'amont à une vitesse soutenue ($\geq 0,4$ m/s) - pas de comportement trophique	- migration franche vers l'amont	<u>Migrateurs</u> : - migration nocturne - migration franche vers l'aval <u>Migrateurs et résidents</u> : - nage anguilliforme	- migration franche vers l'amont - pas de comportement trophique - migration nocturne - nage anguilliforme	- migration nocturne - nage anguilliforme	- migration franche vers l'amont - pas de comportement trophique - migration plutôt diurne - migration en bancs	- migration franche vers l'amont - pas de comportement trophique - migration plutôt diurne - migration en bancs	- poisson omnivore (zooplancton, invertébrés benthiques, vases et limons) - déplacement en petits bancs	- prédation (peut chasser des proies de grande taille - jusqu'à la moitié de sa taille) - activité surtout diurne - chasse en embuscade (vive et courte accélération) - chasse solitaire en cours d'eau	- prédation (poissons de petite taille : ablettes, goujons, jeunes cyprinidés...) - activité nocturne - chasse grégaire ou solitaire (grands individus)	- poisson omnivore opportuniste - poisson grégaire (banc d'individus de même taille) - été : proche des berges et de la surface ; hiver : proche du fond	- activité crépusculaire et nocturne - fouille les sédiments pour se nourrir - poisson omnivore (zooplancton, invertébrés benthiques, vases et limons)

6. Conclusions et perspectives

Cette première année a permis la mise en application des connaissances acquises et recensées dans la synthèse bibliographique rédigée fin 2012. Elle permet de mettre à disposition de façon synthétique les connaissances, utilisations et retours d'expérience du DIDSON dans le cadre de suivi des populations de poissons migrateurs aux gestionnaires et scientifiques. Par ailleurs, elle a fait l'objet d'une publication dans une revue internationale (Fish and Fisheries, Martignac et *al.*, accepted).

La réflexion relative à l'installation du matériel dans des conditions pérennes, pertinentes et sécurisées et les travaux liés à l'installation ont occupé les sept premiers mois de l'année. Dès lors, le DIDSON et les capteurs de variables environnementales ont acquis des données en continu sans problème majeur.

Cette phase d'installation est primordiale compte du type de matériel installé et de sa durée dans le temps (16 ans).

Les premières analyses mettent en évidence le fort potentiel de cette caméra acoustique pour le suivi des populations de poissons migrateurs de la Sélune mais soulèvent également quelques facteurs limitants. Les images enregistrées révèlent un nombre important d'informations qualitatives permettant une description précise et détaillée des passages de poissons, dont quelques exemples sont présentés dans ce rapport. Néanmoins, l'outil de traitement des fichiers du DIDSON n'est pas satisfaisant dans le cadre d'un suivi à long terme. Il importe donc pour 2014 :

1 - D'optimiser le dépouillement actuellement trop chronophage. De fait, l'utilisation d'un logiciel alternatif (Sonar5 Pro) disposant d'un outil de traitement semi-automatique et permettant d'avoir accès à des informations complémentaires sur chaque cible sera testée cet hiver.

2 - D'améliorer l'identification des espèces. Cette optimisation de l'identification passe par :

* L'Amélioration de la connaissance du peuplement de l'hydrosystème

Une première base recensant les caractéristiques des poissons migrateurs présents dans la Sélune et des espèces avec lesquelles ils peuvent être confondus a été constituée. Cette base de données demande à être complétée et affinée en compilant les données biologiques disponibles sur les peuplements pisciaires de la Sélune. Doivent alors être prises en compte :

Les données collectées par les acteurs locaux (association de pêche locale, fédération départementale de pêche de la Manche, ONEMA, FDPPMA50, APPMA de Ducey). Les Indices d'Abondance Saumons collectés par la Fédération de Pêche de la Manche sur le tronçon en aval des barrages permettent d'estimer le nombre de géniteurs attendus l'année suivante. L'ONEMA réalise régulièrement une pêche électrique sur une station du Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) localisée 5 km en amont du site d'acquisition. Néanmoins, cette pêche est réalisée dans une zone prospectable à pied et minimise donc la présence des espèces inféodées aux milieux plus profonds et plus lenticques fréquentant plus fréquemment la zone d'acquisition. Enfin, les observations de l'APPMA de Ducey s'avèreront utiles pour lister les espèces fréquemment capturées par les pêcheurs le long du parcours de pêche sur le tronçon Ducey - moulin de Quincampoix. Les estimations de taille des poissons pêchés pourront également être collectées.

Les déclarations de capture de saumons à la ligne étant obligatoires, le CNICS (Centre National d'Interprétation des Captures de Salmonidés migrateurs) recueille un certain nombre d'informations

par individu déclaré : taille, poids, âge de mer, date et localisation de la capture. De même, les poissons diadromes salmonidés migrateurs font l'objet d'un suivi particulier sur l'Oir, affluent rive droite en aval de Ducey, à la station de comptage Cerisel depuis plus de trente ans : abondance, tailles, poids et âge des géniteurs. Ces données récoltées permettent notamment de connaître la structure de taille des truites de mer et saumons atlantiques lors de la phase de migration et ainsi de définir une taille limite entre les deux espèces de 56 cm : 4% des saumons ont une taille inférieure et 6% des truites de mer ont une taille supérieure (Figure 14).

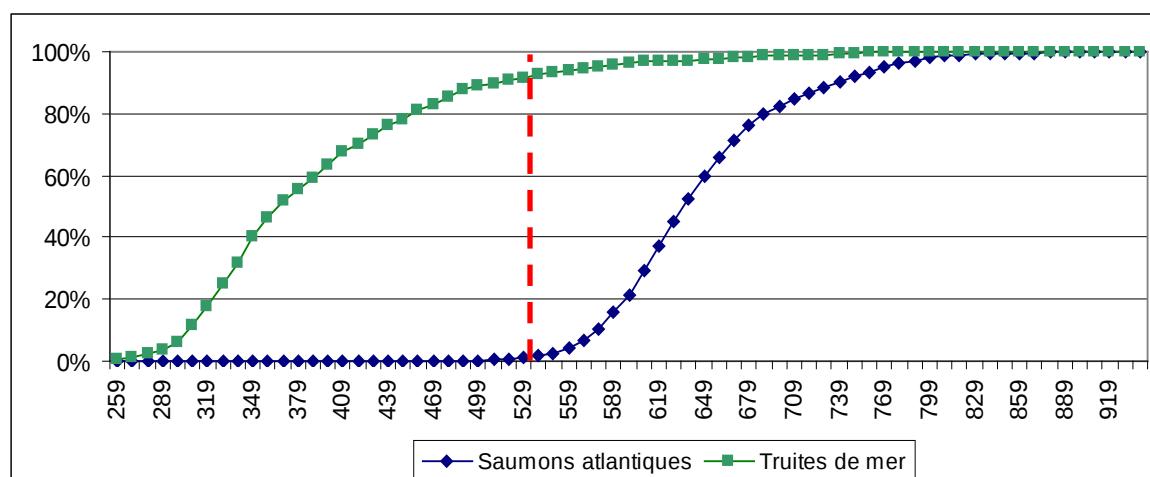


Figure 14. Fréquences cumulées des tailles en mm des individus capturés à Cerisel (données U3E, INRA sur la période 1984-2012), NSAT = 4106 individus ; NTRM = 1234 individus

* L'expérimentation *in situ* au Moulin de Cerisel

Des protocoles expérimentaux visant à améliorer l'efficacité du suivi hydroacoustique seront mis en œuvre à la station de comptage de Cerisel. Ainsi, courant décembre 2013, des adultes de salmonidés migrateurs capturés lors de leur remontée seront contraints à passer devant le DIDSON, installé dans le bief du moulin. Les caractéristiques morphologiques de ces poissons seront mesurées (taille réelle, taille à la fourche, hauteur du corps, épaisseur du poisson) avant d'être relâchés un à un, et de passer dans le faisceau de détection du DIDSON.

La comparaison entre les données biologiques (espèce, taille etc.) et les données enregistrées pour chacun des passages viseront à répondre à plusieurs questions :

- Les mesures de taille des individus via l'outil DIDSON sont-elles pertinentes et quelle est leur variabilité et leur précision? Sont-elles des estimations de la taille totale du poisson, sa taille à la fourche ou une mesure intermédiaire?
- Pour des individus de taille proche, les échos renvoyés par les truites de mer et les saumons observent-ils des différences? Comportement de nage, ondulation du corps, fréquence de battement de la nageoire caudale, épaisseur du poisson, ombres portées?
- L'observation de certaines métriques telles que la fréquence de battement de la nageoire caudale et la forme de l'ombre portée. Mueller *et al.* (2010) ont démontré que dans des conditions de nage constante cette fréquence diffère significativement entre les deux espèces de saumons du pacifique canadiens (*Oncorhynchus nerka* et *Oncorhynchus tshawytscha*). De même, Langkau *et al.* (2012) ont mis en évidence l'intérêt de l'étude de la forme de l'ombre portée pour différencier les espèces. Des protocoles s'inspirant de ces références bibliographiques pourront être testés.

3 - De mesurer les erreurs relatives des mesures effectuées avec le DIDSON en fonction de plusieurs paramètres (range, angle du poisson, position dans le faisceau ...) dans le but de connaître précisément la variabilité des mesures de tailles des poissons et de la corriger si possible.

B- Géomorphologie, flux (sédimentaires, hydriques et chimiques) et habitat

1. Contexte

Comme pour les flux biologiques, particulièrement la migration des poissons amphihalins, les barrages constituent une barrière physique affectant diversement les flux hydriques, sédimentaires et chimiques, ainsi que la géomorphologie du fleuve Sélune. Une bonne connaissance des flux, actuels et futurs, permettra de mettre en évidence par comparaison l'intensité des perturbations apportées par l'ouverture des barrages. Cette connaissance passe par une quantification précise des flux mesurés, mais aussi par la compréhension de leur dynamique (origine des flux, processus de transfert et conditions hydrodynamiques, variabilité saisonnière et événementielle) afin de distinguer leurs déterminants climatiques des conséquences de l'arasement des barrages. L'impact des barrages sur la géomorphologie de la Sélune ne se réduit pas à la zone ennoyée. Leur rôle dans la régulation des débits et du transport solide a des conséquences directes, particulièrement à l'aval, sur les processus fluviaux et les structures sédimentaires grossières, qui façonnent la morphologie actuelle du lit.

Cet axe du programme est présenté ici en trois volets interdépendants :

1. La quantification des flux hydriques, sédimentaires et chimiques
2. L'exploration des conditions hydrodynamiques
3. L'étude de la géomorphologie dynamique de la rivière à deux échelles de temps (contemporaine et temps longs)

Ces trois volets participeront également à un axe transversal au programme visant à relier les informations obtenues sur le milieu physique avec la caractérisation et l'évolution des habitats piscicoles.

La première année du programme a été essentiellement consacrée à l'acquisition de matériels, à l'installation des dispositifs de mesures, ainsi qu'à quelques observations préliminaires. Les objectifs étant principalement de tester les appareils de mesures et d'obtenir une première vision de l'environnement de la Sélune avec la présence des barrages.

Le rapport présente pour chacun de ces volets les méthodes scientifiques choisies pour étudier la phase pré-arasement et les résultats attendus de ces méthodes pour identifier les évolutions futures lors des phases d'arasement et post-arasement

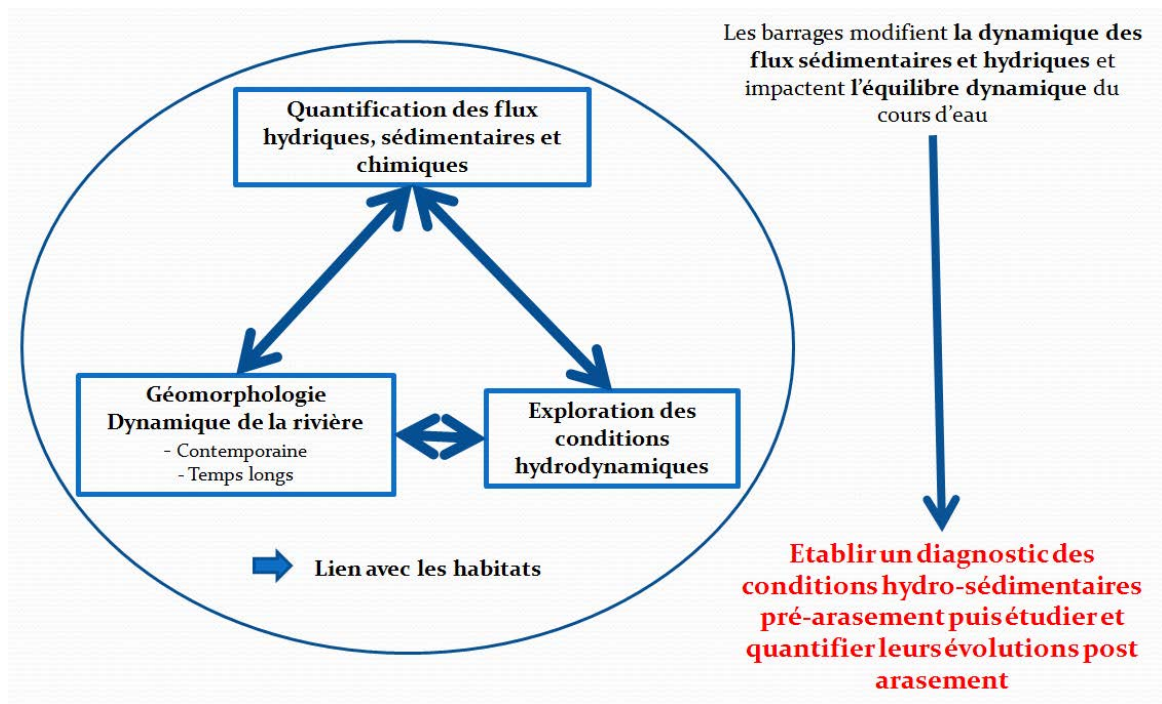


Figure 15 : Volets d'étude du groupe flux (sédimentaires, hydriques, chimiques), géomorphologie et habitats

Plusieurs laboratoires sont impliqués dans ce groupe de travail, suivant leurs thématiques de recherche et les compétences des différents membres.

- **UMR SAS** (INRA-AGROCAMPUS) : Quantification des flux hydriques, sédimentaires et chimiques
- **Géosciences Rennes** (CNRS) : Exploration des conditions hydrodynamiques
- **GEOPHEN** (CNRS-Univ Caen) : Géomorphologie dynamique de la rivière
- **UMR ESE-U3E** (INRA-AGROCAMPUS) : Lien avec les habitats piscicoles

2. Quantification des flux sédimentaires, hydriques et chimiques

La gestion actuelle des retenues est axée sur la production hydroélectrique à côte haute. Elle ne prévoit pas de tranche de volume réservée pour l'écrêtement des crues et celles-ci sont transmises intégralement à l'aval sans amélioration ni aggravation. Les modifications apportées par la présence des retenues par rapport à l'état naturel sont :

- * La suppression de l'écrêtement naturel du lit sur le linéaire des retenues, qui devait être faible du fait de la forme de la vallée assez encaissée

- * Une augmentation de la vitesse de propagation, la crue étant transmise plus rapidement à l'aval. Cette modification peut affecter au hasard la concomitance avec les crues des affluents en aval.

Les flux sédimentaires sont fortement influencés par le climat et l'occupation des sols. Leur origine est double, ils proviennent soit de l'érosion des versants lors des événements pluvieux (ruissellement) soit de l'érosion des berges lors des crues. En conditions naturelles les flux de MES sont étroitement liés aux flux hydriques. Ce sont les flux sédimentaires qui sont les plus influencés par la présence des barrages. En raison de la forte diminution du débit, les sédiments grossiers s'accumulent rapidement à l'amont du lac de retenue de Vezins et les sédiments fins (matières en suspension (MES)) décantent sans doute en majorité lors de leur transit dans la retenue.

Les flux chimiques dissous sont liés aux flux hydriques et sont donc vraisemblablement impactés de la même manière par les barrages. Une attention particulière sera portée aux flux de nitrate, phosphate, nutriments en excès issus des bassins versants agricoles en amont des retenues, ainsi qu'aux flux de silice pouvant contribuer aussi à l'eutrophisation des réservoirs.

Les flux chimiques particuliers sont liés aux flux sédimentaires. Le phosphore en particulier est majoritairement transporté sous cette forme et un stock important doit être retenu actuellement dans les réservoirs.

La matière organique autochtone (planctons, algues), produite dans les retenues du fait de leur richesse en nutriments (nitrate, phosphate), se décompose et tombe au fond des lacs. La matière organique allochtone est apportée depuis les bassins versants amont par les eaux de ruissellement. Son devenir est lié à celui des MES.

2.1. Suivi haute fréquence des flux sédimentaires en suspension (par turbidimétrie)

2.1.1. Acquisition haute fréquence

Il existe principalement deux méthodes d'estimation des flux de matières en suspension dans un bassin versant. La première consiste à mesurer directement la concentration en MES à partir de prélèvements manuels ou réalisés à l'aide d'un préleveur automatique, à un pas de temps défini au préalable par l'utilisateur. La mesure de la concentration, multipliée par le débit, permet alors de quantifier les flux massiques de sédiments exportés d'un bassin versant. Cependant, compte tenu de la forte variabilité des transferts de MES couramment observée, notamment en période de crues (Larson et al, 1997 ; Valero-Garces et al, 1999 ; Lewis et Eads, 2001 in Gao, 2008 ; Lopez-Tarazon, 2011), il est nécessaire de réaliser des prélèvements très fréquemment. Garantir à moyen et long terme la capacité de stockage des préleveurs automatiques et assurer en laboratoire la filtration des échantillons selon des délais raisonnables s'avère alors coûteux à la fois en temps et en moyens humains sur le terrain.

Cette démarche de quantification est donc adaptée à une évaluation ponctuelle des transferts de MES (lors d'une crue par exemple), mais reste difficilement envisageable dans le cadre d'un suivi, à l'échelle annuelle ou pluriannuelle. C'est pourquoi, depuis le début des années 1990, de

nouveaux protocoles de mesure haute fréquence des flux de MES, basés sur des suivis de turbidité, ont été établis (Jansson, 1992) et sont aujourd'hui couramment utilisés.

La turbidité, mesurée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit) est une propriété optique qui quantifie la diminution de l'intensité de la diffusion de la lumière entre un faisceau incident et un photorécepteur. La quantification des transferts repose sur un postulat de départ selon lequel il existe une relation entre la turbidité et la charge solide transportée par un cours d'eau. Ainsi, lors des périodes de forts transferts sédimentaires, l'eau devient trouble et la turbidité augmente, permettant alors de quantifier de manière indirecte les sédiments en suspension. En remplaçant les prélèvements par des mesures optiques, on s'affranchit alors des problèmes de stockage des échantillons et de leur traitement en laboratoire, ce qui rend possible la mesure à haute fréquence des transferts de MES sur de longues périodes ainsi que la multiplication des points de mesure au sein d'un bassin versant. Pour quantifier les flux de MES, le turbidimètre doit cependant être préalablement calibré en mettant en relation la turbidité avec la concentration en MES réelle, mesurée à partir de prélèvements réalisés dans le cours d'eau dans différentes conditions hydrologiques pour couvrir une gamme importante de concentrations. Cette méthode ne dispense donc pas, dans un premier temps, d'un échantillonnage fréquent en période hors crues et en période de crues. Par conséquent, si les mesures turbidimétriques améliorent nettement la résolution temporelle du suivi des transferts sédimentaires en terme d'analyses de laboratoire, le gain de temps observé n'est réellement constaté qu'à plus long terme, une fois la corrélation entre turbidité et la concentration en MES réalisée.

2.1.2. Corrélation turbidité/concentration en MES

La turbidité dépend de l'abondance des MES mais aussi de leur granulométrie et leur couleur, ainsi que de la couleur de l'eau. L'utilisation d'un turbidimètre repose sur l'hypothèse d'une relation relativement stable entre les valeurs de turbidité et les concentrations en MES (hypothèse d'une faible variation des autres déterminants de la turbidité, granulométrie et couleurs).

Pour établir cette relation, une corrélation entre les valeurs de turbidité et les concentrations en MES est nécessaire sur chaque cours d'eau. Cette corrélation est effectuée à partir d'échantillons prélevés en période de crue (à l'aide d'un préleveur automatique) et hors crue (prélèvements manuels envisageables), ce qui permet de couvrir une grande gamme de conditions hydrologiques.

- ✓ Les prélèvements dans les cours d'eau

Les prélèvements d'eau dans les cours d'eau sont réalisés soit manuellement soit par des échantillonneurs automatiques d'eau. Les prélèvements manuels consistent à remplir deux flacons de 1000 ml si l'échantillon est peu turbide ou un flacon de 500 ml dans le cas contraire. Les échantillonneurs automatiques disposent de 24 bidons de 500 ml.



Dans les deux cas, prélèvements manuels ou automatiques, l'heure de prélèvement doit être notée avec précision pour être précisément associée à l'heure de la mesure de la turbidité.

Un préleveur automatique réfrigéré (ISCO modèle 5800 de chez PONSEL) est installé sur la Sélune.

Le choix d'un modèle réfrigéré permet de garantir la stabilité des échantillons prélevés notamment pour les mesures physico-chimiques qui débiteront courant 2014.

Figure 16 : Préleveur réfrigéré (ISCO 5800)

- ✓ Mesure des concentrations de MES au laboratoire par filtration

La filtration des échantillons d'eau prélevés s'effectue selon la norme européenne NF EN 872 (1996). L'échantillon est filtré sur un filtre en cellulose de 0,45 µm avec un équipement permettant 4 filtrations sous pression (Fig.3). Le filtre est ensuite séché à 105°C pendant au moins 1 heure et la masse du résidu retenu sur le filtre est déterminée par pesée. La concentration des MES est obtenue par la formule suivante :

$$[MES] = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

Avec :

- **[MES]** : la concentration en matières en suspension recherchée (g.L-1)
- **M₀** : la masse initiale du filtre, pesé à sec (g)
- **M₁** : la masse du filtre et de son filtrat, pesés à sec (g)
- **V** : le volume de l'échantillon filtré (L)

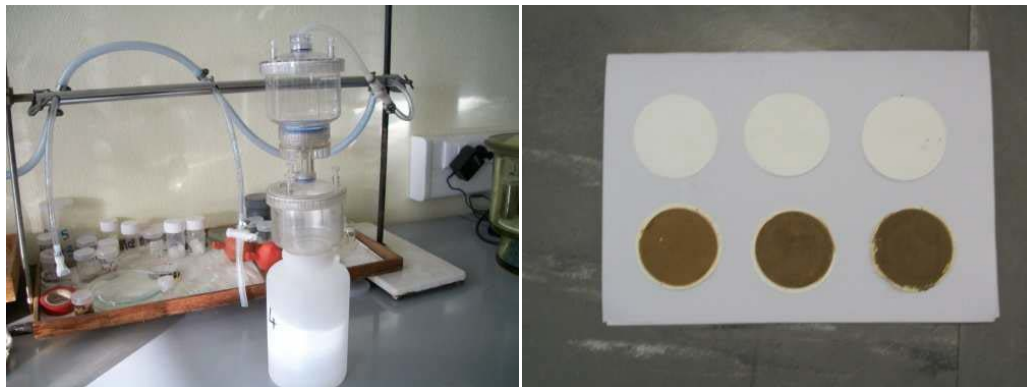


Figure 17 : Mesure des concentrations en MES par filtration

- ✓ Etablissement de la relation d'étalonnage entre turbidité et concentration en MES

Une relation d'étalonnage doit être recherchée pour chaque turbidimètre et cours d'eau associé.

On obtient ainsi une relation entre la turbidité et la concentration en MES pour le cours d'eau (figure 18)

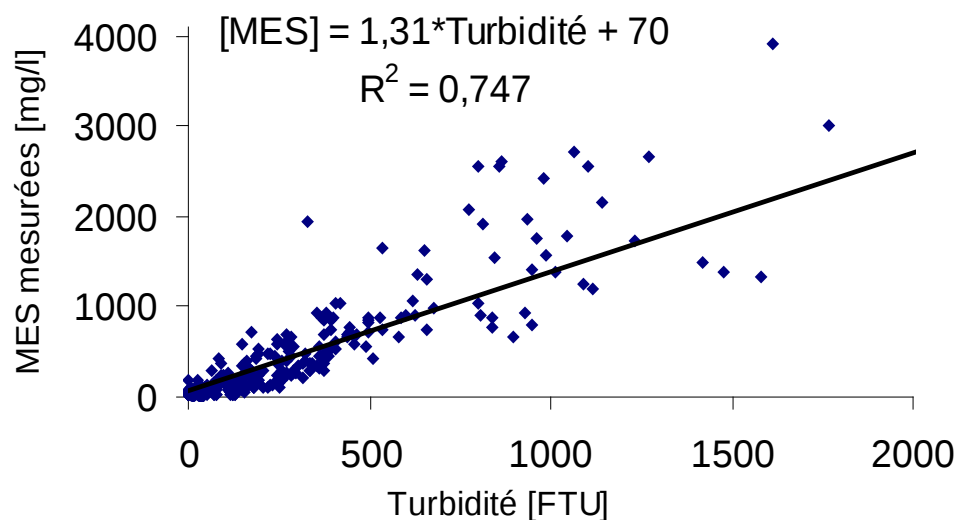


Figure 18 : Relation turbidité/MES mesurées (exemple de l'Oir (affluent Sélune))

2.2. Présentation du matériel de mesure

2.2.1. Le turbidimètre

Afin de suivre les flux sédimentaires en suspension sur la Sélune, après comparaison de plusieurs modèles, notre choix s'est porté sur la sonde turbidimétrique Solitax ts-line de chez Hachlange. Ce modèle fonctionne sous alimentation électrique.

❖ Principe de mesure



Figure 19 : Turbidimètre Solitax ts-line

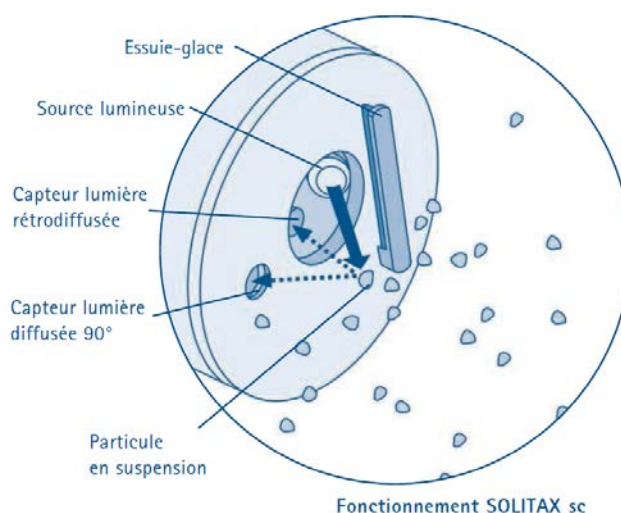


Figure 20 : Principe de mesure

Le capteur répond à la norme ISO 7027 relative à la mesure de la turbidité et est étalonné départ usine. La mesure consiste à quantifier l'intensité de la lumière diffusée par une source lumineuse (lampe en tungstène), puis réfléchiée par les particules de l'échantillon sur un photorécepteur situé à 90° du rayon incident, ou rétrodiffusée sur un photorécepteur situé à 180° du rayon incident. La réduction d'intensité de la lumière est alors calculée en comparant les intensités lumineuses mesurées sur les photorécepteurs en contact avec l'échantillon avec l'intensité mesurée par un photorécepteur de référence.

Pour limiter les problèmes de dérives liées à l'encrassement du capteur, ce dernier est systématiquement nettoyé avant la mesure par un racleur automatique (sorte d'essuie-glace) en plastique. Un nettoyage manuel est également réalisé de manière régulière pour renforcer l'efficacité du nettoyage automatique, particulièrement en été, où un biofilm peut se développer sur la lentille des capteurs.

❖ Caractéristiques de la sonde

Tableau 2 : Caractéristiques principales du turbidimètre

Méthode de mesure	Lumière diffusée double IR (Infra-Rouge) DIN EN ISO 7027
Plage de mesures	0.001-4000 NTU (large gamme de mesures)
Précision	0.001 NTU
Profondeur d'immersion	0.1-10 m
Poids	1.4 kg
Corps	PVC/acier inoxydable

2.2.2. Transmetteur et centrale d'acquisition



Figure 21 : Transmetteur SC200



Figure 22 : Centrale d'acquisition OTT

La sonde turbidimétrique est accompagnée d'un transmetteur (SC 200 de chez HACHLANGE) qui sert d'interface à l'utilisateur pour le contrôle des paramètres de la sonde.

L'information est ensuite transmise vers une centrale d'acquisition (Duosens OTT) équipée d'un modem (GenPro 20e) permettant d'interroger la centrale et le rapatriement des données à distance en utilisant le réseau via une carte SIM.

2.3. Présentation du site d'étude

2.3.1. Localisation des stations de mesures

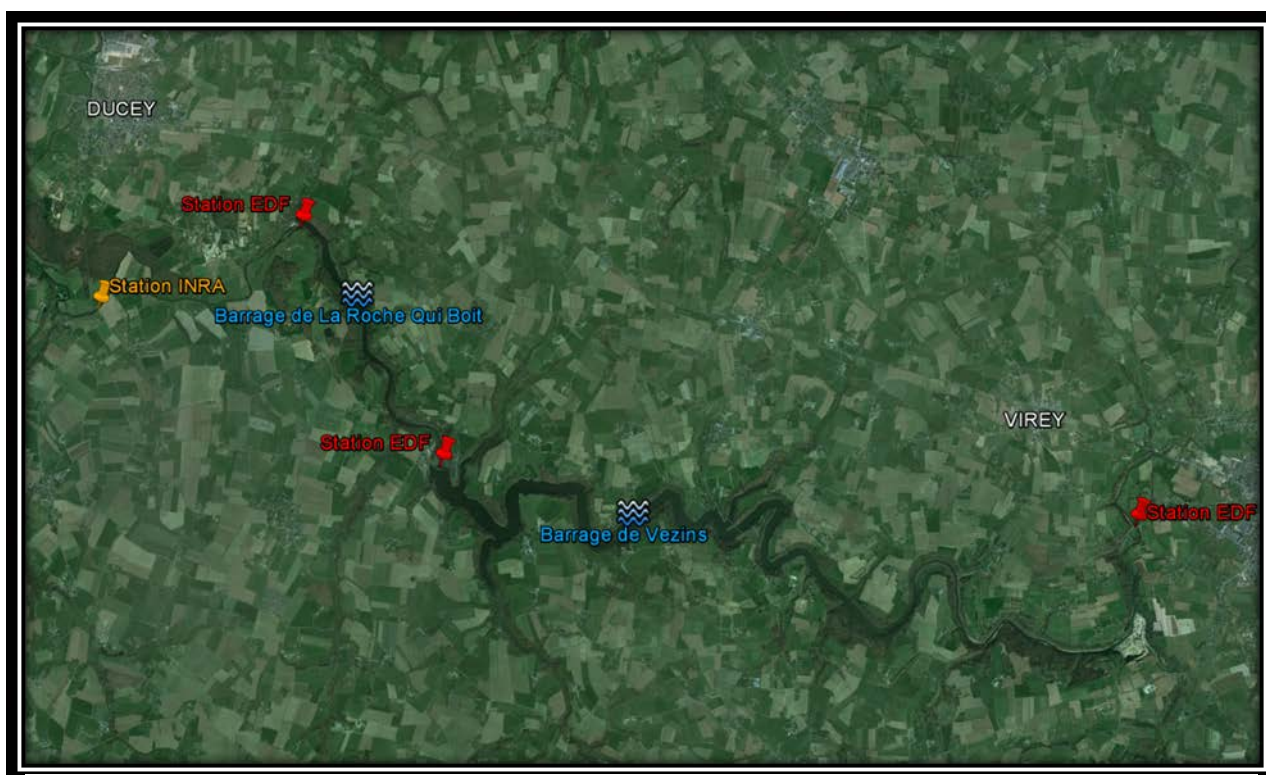


Figure 23 : Localisation des stations de mesures

La station de mesures INRA est installée en rive droite de la Sélune au niveau du pont de Signy (RD 178, limite communale DUCEY/SAINT-AUBIN-DE-TERREGATTE). Elle est située 4 km en aval du barrage de la Roche Qui Boit. Une station de mesure de débits de la DREAL Basse-Normandie existe déjà à cet endroit.

Outre la turbidité d'autres paramètres seront suivis sur cette station :

- En continu : Température, pH, conductivité, oxygène, débit (station DREAL)
- Ponctuellement (saisons et événements) par préleveur automatique et échantillonnage manuel : concentrations d'éléments dissous (PO_4 , NO_3 , Si) et particulaire (P, N et C et MES)

Le début de l'acquisition des données pour ces paramètres est prévu courant 2014. On notera que ces paramètres sont également suivis dans le cadre du réseau de surveillance RCO et RCS de l'Agence de l'Eau.

Par ailleurs, il est prévu d'installer d'autres stations sur les versants et à l'exutoire des affluents en amont des barrages. Outre les comparaisons amont/aval l'objectif est de quantifier la production hydro-sédimentaire des bassins amont et d'évaluer leur contribution au budget global du bassin. Ces stations fourniront également des informations sur l'origine des sédiments (issus du talweg (lit majeur) ou des versants).

2.3.2. Stations multi-paramètres EDF

En amont de notre station, EDF installe 3 stations de mesures multi-paramètres (figure 23)

- 1/ En aval immédiat du barrage de la Roche-Qui-Boit
- 2/ En aval immédiat du barrage de Vezins
- 3/ En amont des barrages (**pont de VIREY, RD 581**)

Les trois stations sont équipées à l'identique de la nôtre. Les paramètres suivis et les systèmes d'acquisition sont les mêmes que ceux mesurés au pont de Signy (station INRA).

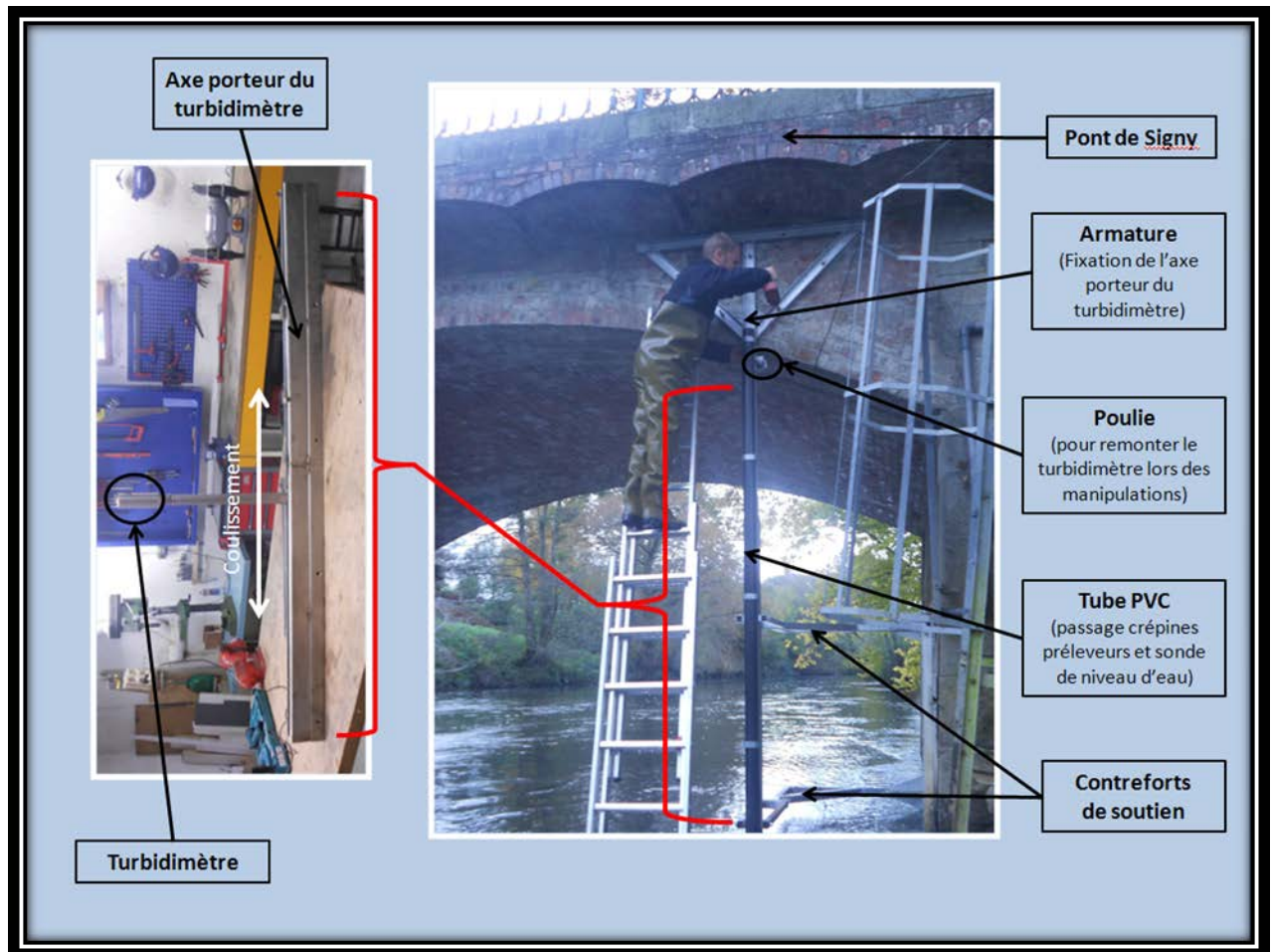
Une convention entre l'INRA et EDF va être signée et des moyens mis en œuvre pour faciliter l'accessibilité des données. Cela permettra des comparaisons spatiales de l'évolution des flux sédimentaires, hydriques et chimiques selon une dynamique amont/aval

2.4. Installation station

La sélection du matériel et les moyens mis en œuvre pour son installation ont été pensés pour permettre l'acquisition des données sur toute la durée du programme scientifique de suivi de l'arasement des barrages (environ 20 ans).

2.4.1. Fabrication d'une armature pour le turbidimètre

L'armature et le système de fixation du matériel doivent être solides, pour résister à des conditions hydrologiques extrêmes (crues notamment) et au vandalisme, mais aussi pratiques (accessibilité de la sonde, souplesse d'utilisation, ...). Cette structure a été imaginée et conçue par l'équipe technique de l'INRA (UMR SAS) afin de répondre aux exigences scientifiques liées à l'acquisition de données de bonne qualité.



- Remarques :

- L'ensemble de la structure est galvanisée et les fixations en inox
- La sonde sera positionnée dans le sens de l'écoulement de l'eau
- Il est important que le bras de fixation du turbidimètre puisse coulisser sur l'axe porteur. Cela permet d'effectuer des mesures à différentes hauteurs suivant le niveau d'eau.

2.4.2. Obtention des autorisations

Les travaux ont nécessité l'installation de chevilles de fixation dans la structure du pont. C'est pourquoi conformément à la loi, nous avons contacté le conseil général de la Manche, afin d'obtenir l'autorisation et les instructions pour l'installation de notre station.

2.4.3. Alimentation électrique

Notre choix s'est porté vers un turbidimètre fonctionnant sous alimentation électrique. Cela apparaît essentiel pour un suivi longue durée et l'obtention de données en continu.

De plus, pour la stabilité des échantillons prélevés, notamment pour les analyses physico-chimiques prévues courant 2014, la station sera aussi équipée d'un préleveur réfrigéré nécessitant lui aussi une alimentation électrique.

Une demande de raccordement au réseau électrique a donc été réalisée auprès d'ERDF début juillet.

L'emplacement de notre station nécessite une extension de réseau de 137 mètres depuis le village le plus proche situé en rive gauche de la Sélune sur la commune de Saint-Aubin-De-Terregatte.

Le dossier a donc été transmis à la SDEM (Syndicat Départemental d'Energies de la Manche) qui prend en charge les extensions.

En raison de la configuration des lieux, une solution exceptionnelle est retenue, l'utilisation d'un forage dirigé sous le cours d'eau pour faire passer l'extension de câbles de la rive gauche vers la rive droite, où est installée notre station.

Le forage est réalisé par la S.T.E de la Manche, société spécialisée dans les travaux d'installations électriques souterraines. Les travaux sont planifiés, sous réserve de conditions météorologiques favorables, pour le 6 janvier 2014.

Nous avons donc dû tenir compte de difficultés exceptionnelles, non prévues initialement, pour obtenir une alimentation électrique. Aussi, même si l'installation de la station est réalisée, l'absence d'électricité n'a pas encore permis de démarrer l'acquisition des données

2.5. Résultats attendus

Les objectifs de la quantification des flux hydriques, sédimentaires et chimiques sont multiples :

- Suivi du bon déroulement de la vidange, comparaison des flux pré et post arasement
- Compréhension de la dynamique temporelle (saisons, événements (crues, phases de vidange) et spatiale (comparaisons entre les stations) des flux sédimentaires et chimiques
- Quantification de la production hydro-sédimentaire des bassins amont et contribution au budget global du bassin (quantité/qualité)
- Origine des flux sédimentaires sur les bassins versants (talweg/versant)
- Approfondissement métrologique (incertitudes, représentativité des mesures) pour une quantification optimale des flux
- Statistiques des événements hydrologiques ayant un impact sur les flux sédimentaires et chimiques
- Relation avec les habitats piscicoles (colmatage des frayères par les MES)

3. Exploration des conditions hydrodynamiques par vélocimétrie

3.1. La vélocimétrie

La vélocimétrie est une technique qui permet de mesurer la vitesse et la direction d'un fluide. La vélocimétrie par effet Doppler fonctionne sur le principe de l'effet Doppler.

L'effet Doppler est le décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

Cet effet a été observé selon les ondes acoustiques mais fonctionne également sur les ondes électromagnétiques (entre autres les ondes lumineuses). En fonction de la vitesse des particules se trouvant dans le fluide, la lumière diffusée par celles-ci n'aura pas la même longueur d'onde. Les particules jouent le rôle de réflecteur de l'onde acoustique.

Par hypothèse, on suppose que la vitesse de l'eau est égale à la vitesse des particules qu'elle contient.

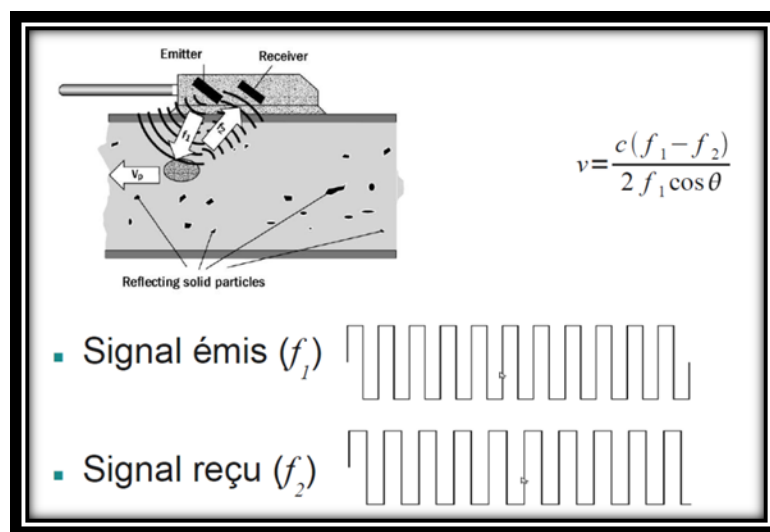


Figure 25 : Principe de l'effet Doppler

3.2. Le vélocimètre UB-Flow F156

3.2.1. Présentation

Il existe une large gamme de vélocimètres, adaptés à différents objectifs et types de cours d'eau. Dans le but d'étudier l'évolution des conditions hydrodynamiques sur la Sélune nous avons choisi le profileur UB-FLOW F156 de la société UBERTONE.



Figure 26: Vélocimètre UB-Flow F156

La compréhension du comportement hydraulique des rivières nécessite des mesures précises de vitesse avec une bonne résolution spatiale et temporelle. Les techniques de mesure de profil de vitesses par ultrasons font partie des outils les plus performants en recherche hydraulique. Elles permettent en outre d'étudier finement un écoulement et de valider des modèles numériques. La société Ubertone a développé un profileur acoustique, l'UB-flow F156, qui combine la performance d'un instrument scientifique avec la robustesse et

l'ergonomie d'un instrument de terrain. L'estimation de la vitesse dans un ensemble de volumes répartis le long d'un axe (profil) par l'UB-flow F156 repose sur l'utilisation d'une méthode Doppler pulsée cohérente. Cette méthode utilise l'observation du décalage de phase de l'écho acoustique dans le même volume au cours de plusieurs cycles d'émission-réception. Ce décalage de phase permet le calcul de la vitesse par effet Doppler avec de très bonnes résolutions spatiale et temporelle. La turbidité acoustique permet d'évaluer la concentration de matière en suspension ainsi que la granulométrie des particules. L'instrument est équipé de deux transducteurs et d'une électronique intégrés dans un boîtier immergé dans l'écoulement.

Notre choix s'est porté sur l'UB Flow F156 pour deux raisons principales :

- L'utilisation de ce profileur permet d'observer finement le profil de vitesse près du fond. Ce profil instantané donne accès à la contrainte de cisaillement ainsi qu'à l'intensité turbulente contribuant au transport solide. **Cette caractéristique le distingue des autres modèles de vélocimètre qui ne permettent pas les mesures proches du fond.**
- Par ailleurs, la mesure conjointe du profil de turbidité acoustique permet de suivre en temps réel l'évolution de la concentration de sédiments en suspension.

Notre modèle d'UB Flow F156 est un prototype unique réalisé par la société UBERTONE, c'est un modèle adapté à l'acquisition de données en milieu naturel et en continu. Contrairement au modèle standard (UB-Flow) qui ne fonctionne que sous alimentation électrique, l'UB-Flow F156 peut fonctionner sous batterie. Il est donc mobile et utilisable sur l'ensemble du réseau hydrographique.

3.2.2. Traitement des données

Cet instrument intègre une électronique dédiée et pilotable par une interface WEB embarquée. La connexion d'un ordinateur permet de configurer l'instrument, d'observer les mesures en temps réel, d'enregistrer des données et de télécharger les fichiers de mesures. Ces fichiers sont ensuite exploitables avec des logiciels de statistiques pour obtenir les profils verticaux de vitesse et la turbidité acoustique.

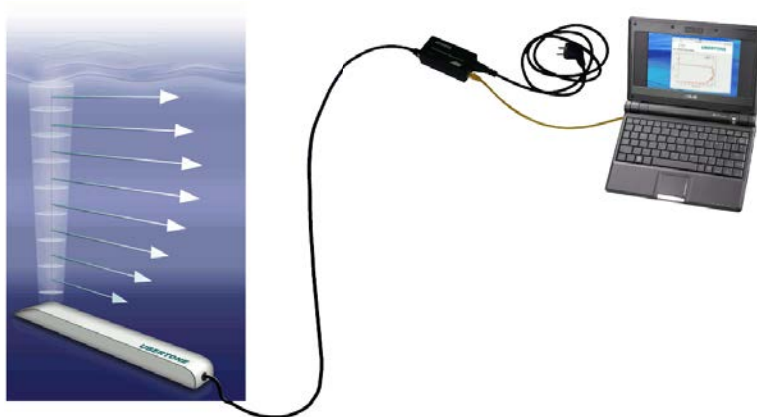


Figure 27 : Connexion de l'UB-Flow F156 à l'interface web

3.3. Tests en canal de laboratoire

L'UB-Flow F156 est réceptionné depuis le mois de septembre 2013. Avant toute application sur le terrain, il est important de connaître le fonctionnement et d'étudier les potentialités de l'appareil dans des conditions contrôlées. Actuellement des premiers tests en canal de laboratoire sont réalisés à Géosciences Rennes.

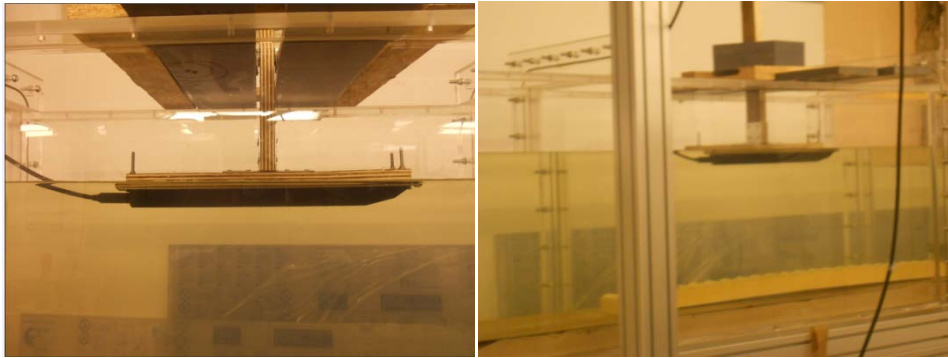


Figure 28 : Tests de l'UB Flow en canal de laboratoire (Géosciences rennes)

- Exemples de profils de vitesse et de turbidité acoustique :

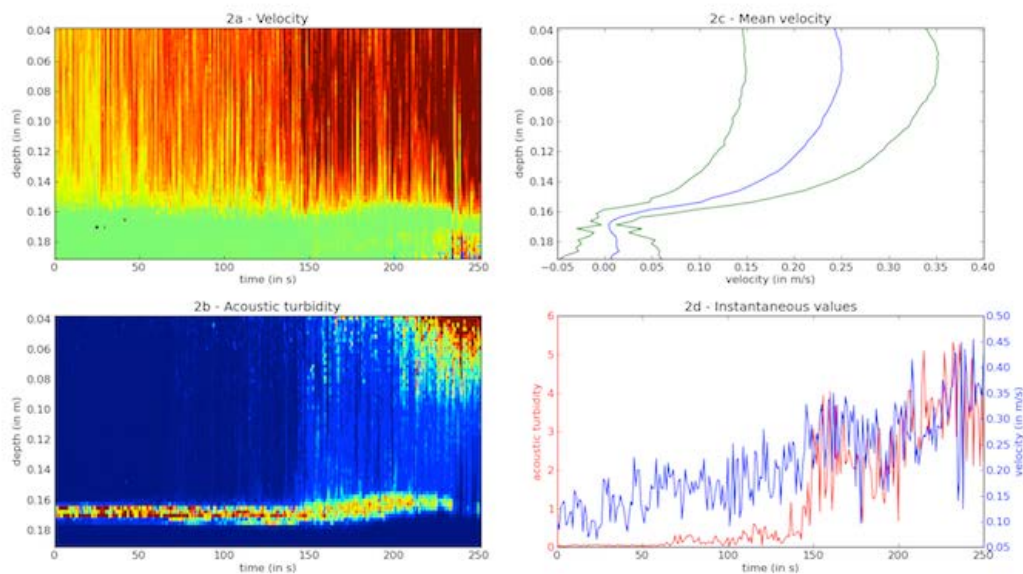


Figure 29 : Mesures de vitesses et de turbidité (UB-Flow F156) lors d'une chasse de barrage sur le Couesnon

2a : Vitesses en fonction du temps. On peut observer dans ce quadrant les structures cohérentes,

2b : Turbidité acoustique en fonction du temps. Dans ce quadrant, on peut distinguer le fond sous la forme d'un pic dont la position change en fonction de la forme du lit. On y observe également l'augmentation progressive de la concentration liée à la mise en suspension.

2c : Vitesse moyenne +/- écart-type. L'écart-type est directement lié à l'intensité turbulente et à l'augmentation dans le temps de la valeur moyenne.

2d : Evolution temporelle de la vitesse et de la turbidité acoustique dans un volume situé à 5 cm du fond. Les variations instantanées sont dues à la turbulence. On distingue nettement la mise en suspension des sédiments (courbe rouge) au-delà d'un seuil de vitesse.

In situ, deux types de mesures seront effectués à l'aide du vélocimètre :

- Lors de campagnes ponctuelles :
 - Sur des zones stratégiques à l'amont et à l'aval des barrages pour étudier et comparer l'évolution des conditions hydrodynamiques dans le cours d'eau.
 - Sur des stations de pêche des poissons migrateurs pour étudier les contraintes de cisaillement notamment au niveau des frayères (Cf. 5.1 Relation avec les habitats piscicoles)
- En continu :
 - Sur une zone où l'UB-Flow pourrait être installé à poste fixe (substrat meuble pour fixation de la structure porteuse et protectrice). Dans la mesure du possible à proximité du turbidimètre (pont de Signy) où l'électricité sera disponible. Cela permettrait d'obtenir de longues chroniques de l'évolution temporelle des conditions hydrodynamiques.

3.4. Résultats attendus

L'UB Flow F156, qui s'utilise sur le terrain ou en laboratoire, offre aux utilisateurs de nouvelles voies d'étude des processus hydrodynamiques et des phénomènes de transport de sédiments.

A terme, pour cette étude les résultats attendus sont les suivants :

➤ **Etude des contraintes de transport des sédiments (charriage et suspension)**

Lien avec la dynamique temporelle des flux mesurés par turbidité (station du pont de Signy)

Lien avec la granulométrie des sédiments

➤ **Etude des contraintes de cisaillement (remise en suspension)**

Impact sur la granulométrie du lit

Connaissances sur les habitats (de reproduction notamment) des poissons migrateurs

Statistiques des événements hydrologiques avec un impact géomorphologique;

Impact sur la présence de végétaux aquatiques

➤ **Relation avec des variables intégratrices : turbidité, hauteur d'eau, débit, (variables CarHyce)**

4. Géomorphologie dynamique de la rivière

4.1. L'équilibre dynamique d'un cours d'eau

4.1.1. L'équilibre dynamique naturel

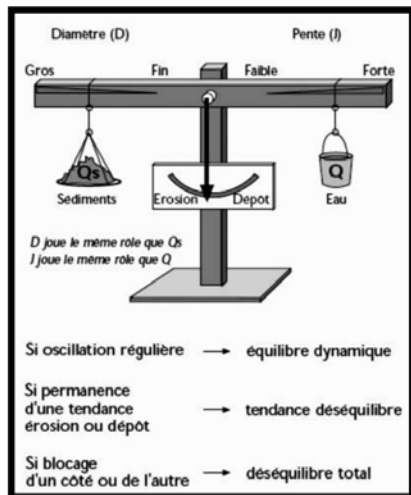


Figure 30 : Principe de l'équilibre dynamique naturel

La dynamique fluviale est déterminée par le fonctionnement morphologique d'un cours d'eau. Le profil en long d'une rivière évolue essentiellement sous l'effet :

- **du transport liquide** (associé au débit liquide QL (m^3/s)) déplacement de l'eau dans le sens longitudinal et dans le sens transversal (crues de débordements)
- **du transport solide** (associé au débit solide QS (g/s)) : déplacement et dépôt des matériaux

Le schéma de Lane (1955) montre que toute rivière cherche son équilibre entre la charge alluviale imposée (caractérisée par son volume (Qs) et sa granulométrie (D)) et le débit liquide (QL), qui, couplé à la pente (J), fournit l'énergie

Tableau 3 : Variables de contrôle et de réponse

	Variables de contrôle	Variables de réponse
Type	QL et QS	Pente, Largeur, sinuosité,...
Echelle d'action	Bassin versant	Tronçon de cours d'eau
Action	S'imposent à la rivière et contrôlent son évolution physique	Permettent à la rivière de s'ajuster
Paramètres de contrôle	Climat, couverture végétale	Variables de contrôle et par analogie : climat et couverture végétale

capable de l'évacuer.

Dans des conditions naturelles relativement constantes, les rivières tendent à établir une combinaison « dynamiquement stable » entre deux types de variables (Schum, 1977), les variables de contrôle (QL et QS) et les variables de réponses. Ce sont ces variables et particulièrement QL et QS qui conditionnent l'évolution du profil en long d'un cours d'eau.

Remarque : D'autres variables de contrôle interviennent à divers degrés dans les processus géodynamiques et les formes qui en résultent, nous pouvons en citer trois ensembles : la pente et la géométrie de la vallée, les caractéristiques sédimentologiques du fond du lit et des berges et une variable biologique, la végétation des berges.

On admet que tout cours d'eau dispose d'une gamme assez large de variables de réponse, pour modéliser sa morphologie en fonction des fluctuations des débits liquides et solides et des évolutions éventuelles des autres variables de contrôle. On dit alors que les rivières naturelles sont en « équilibre dynamique » ou en « quasi-équilibre » (selon l'échelle de temps choisie pour analyser ce phénomène) et qu'elles ajustent continuellement leur largeur, leur pente, leur sinuosité, etc., au gré des fluctuations à court terme des variables de contrôle.

La notion d'« équilibre dynamique » signifie donc non pas une absence de modification des caractéristiques physiques du cours d'eau sur la période considérée, mais au contraire un ajustement permanent autour de conditions moyennes

4.1.2. Modifications de l'équilibre dynamique par les activités anthropiques

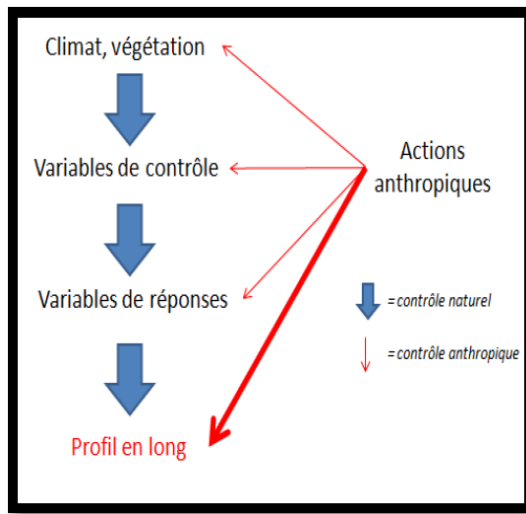


Figure 31 : Influence de l'Homme sur l'équilibre dynamique naturel

L'équilibre dynamique naturel d'un cours d'eau est devenu très rare. Du moins sur les cours d'eau majeurs.

L'Homme, de par ses activités et ses aménagements agit fortement sur son environnement et les variables de contrôles, en particulier QL et QS, provoquant un déséquilibre et donc une modification non naturelle et accélérée du profil en long et en travers des cours d'eau

Les profondes modifications qui en résultent sont quasiment irréversibles.

Les exemples sont nombreux, on peut citer la **construction de barrages** ou seuils, les actions de déforestation/reforestation, les modifications du style fluvial (endiguement, protection de berges,...) l'exploitation des granulats ...

La construction d'un barrage influence fortement l'équilibre dynamique d'un cours d'eau.

Les barrages de Vezins et de la Roche qui boit ont profondément modifié le cours naturel de la Sélune. En bloquant le transport solide ils entraînent un déficit d'apport solide en aval (provoquant de l'érosion progressive et une incision du cours d'eau). En bloquant les matériaux les barrages provoquent aussi des exhaussements et une diminution de la pente en amont.

4.2 Caractérisation géomorphologique du chenal avant ouverture des barrages

Avant l'ouverture des barrages, il apparaît indispensable d'étudier leur influence sur l'équilibre dynamique du cours d'eau. Il s'agit de caractériser l'état initial pré arasement et de comprendre le fonctionnement géomorphologique actuel du cours d'eau.

Cela permettra d'avoir des éléments de comparaisons, pour bien comprendre les évolutions géomorphologiques et la capacité de résilience du cours d'eau, post arasement.

On peut distinguer deux échelles de temps pour la caractérisation pré-arasement :

- **Une échelle contemporaine**
- **Une échelle temps longs (avec 3 niveaux de références différents)**

4.2.1. Géomorphologie dynamique de la Sélune (contemporaine)

4.2.1.1. Premières observations

Nous avons réalisé une première campagne de terrain au cours de la période d'étiage (fin Août 2013). L'objectif principal était d'avoir une vision de **l'hydro/géo morphologie d'un tronçon de rivière, du pied du barrage de la Roche Qui boit jusqu'à notre station de mesure du Pont de Signy**, selon différents moyens :

- Observations et interprétation des processus fluviaux et sédimentaires liés à la présence du barrage.
- Observations des zones ripariennes (abreuvoirs, prises d'eau, occupation du sol,...)
- Prélèvements d'échantillons (berges, fond) pour analyses granulométriques, caractérisation des sédiments.
- Relevés topographiques pour établir le profil en long de la rivière et des transects
- Repérage de sites potentiels où l'on pourrait fixer le vélocimètre dans le lit du cours d'eau

❖ Tronçon d'étude

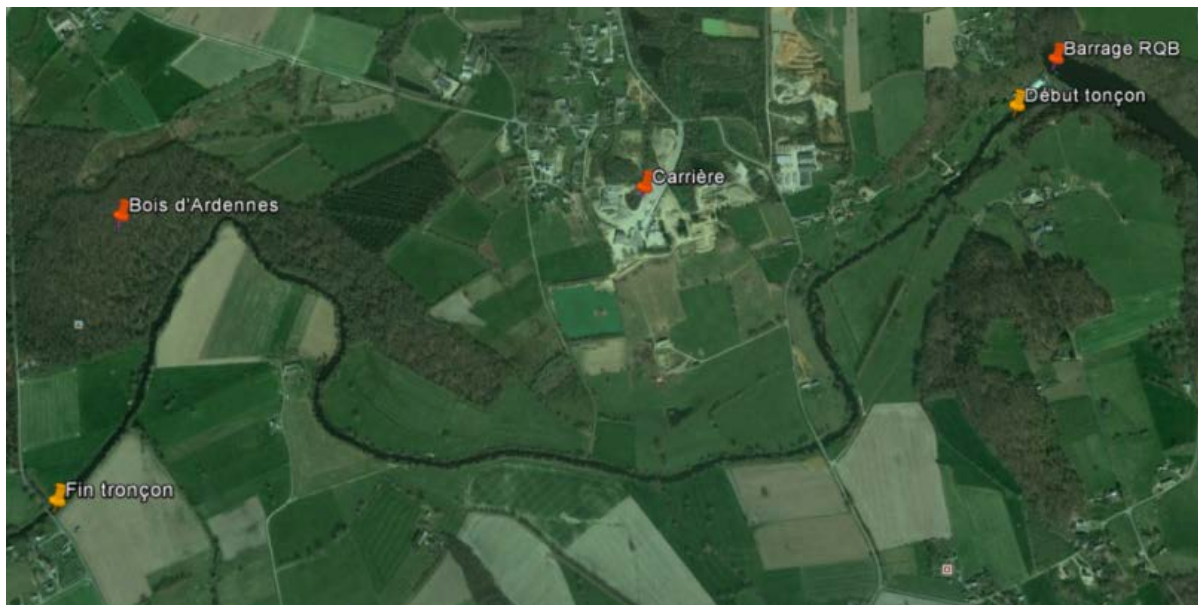


Figure 32: Tronçon étudié lors de la campagne terrain

- Coordonnées début tronçon : latitude : 48°36'19.37"N – longitude : 1°15'37.75"O
- Coordonnées fin tronçon : latitude : 48°35'46.03"N – longitude : 1°17'33.65"O
- Longueur tronçon : **3.9 km**

❖ Caractéristiques du tronçon



Figure 33 : caractéristiques du tronçon en aval du barrage de la RQB

- Occupation du sol

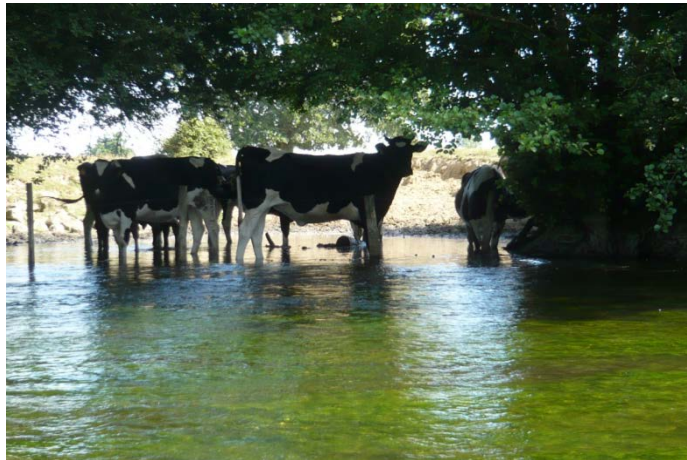


Figure 34 : Abreuvement du bétail dans la Sélune

Le tronçon étudié est situé dans un environnement dominé par l'élevage. L'occupation du sol est en majeure partie composée de prairies naturelles. On notera l'existence de quelques parcelles cultivées (maïs) et d'une zone boisée importante, le bois d'Ardennes. La présence de bovins est associée à l'existence de nombreux points d'abreuvement directement dans le cours d'eau.

- Incision du lit et pavage



Figure 35 : Mise en évidence de l'incision du cours d'eau (racines exondées) et de l'érosion des berges



Figure 36 : Mise en évidence du pavage

On remarque sur quasiment l'ensemble du tronçon un enfoncement du lit mineur, autrement dit une incision. Ce phénomène est détectable par l'observation d'un pavage au niveau des berges, témoignant de l'ancien niveau du lit de la rivière. De plus, on remarque la présence de nombreuses racines exondées sur les arbres formant la ripisylve.

Cette incision est en grande partie due à la présence du barrage. En stoppant le transport solide, le barrage oblige le cours d'eau à creuser dans ses alluvions et à éroder les berges pour retrouver un équilibre dynamique entre débit solide et liquide.

- Granulométrie



Figure 37 : Granulométrie grossière de la Sélune

La fraction principale est dominée par les éléments grossiers (galets, blocs). On notera sur les zones plus lenticulaires un colmatage par les sédiments fins intercalés dans la fraction grossière. Ces éléments fins semblent provenir essentiellement de l'érosion des berges ou des versants proches, puisque le barrage retient la majeure partie des sédiments provenant de l'amont et qu'il n'y a pas d'affluents majeurs sur le tronçon.

- Végétation riparienne et aquatique

La ripisylve est relativement bien présente sur les deux rives.

Les macrophytes (essentiellement des renoncules flottantes) sont présentes dès que les conditions sont favorables, soit une bonne exposition à la lumière et une profondeur d'eau relativement faible (radiers).

Cette abondance végétale peut entraîner un dépôt de matière organique relativement important en particulier dans les zones de fonds où la vitesse d'écoulement est faible. Le fond du cours d'eau se retrouve alors couvert d'une couche de biomasse végétale morte (figure 38).



Figure 38 : Biomasse végétale morte

- Migrateurs amphihalins

On note la présence de nombreuses frayères à lamproies marines (*Petromyzon marinus*) et saumons atlantique (*Salmo salar*). Ces frayères, reconnaissables notamment grâce au retournement des cailloux et à leurs formes caractéristiques, sont pour la plupart situées en tête des radiers.

❖ Profil en long et profils en travers

Les mesures fournies par le GPS ne sont pas disponibles pour l'ensemble du tronçon, à cause des pertes liées à la position des satellites et l'impact de la couverture végétale (ripisylve dense). En revanche, le sondeur (mesure de la profondeur d'eau) a bien fonctionné.

Remarque : Cette première expérience fait office de test. Il sera intéressant de la renouveler dans de meilleures conditions (sûrement en hiver où la végétation riparienne est moins dense). La précision de l'appareil devrait permettre de calculer la pente du lit, mais également d'obtenir des informations sur sa rugosité et la granulométrie du substrat grossier

- Profil en long

Pour obtenir le profil en long le plus représentatif possible du tronçon, le jeu de données GPS brutes est traité sous Excel et sous SIG. Ces manipulations permettent d'épurer le profil en enlevant les points aberrants et en isolant les profils en travers.

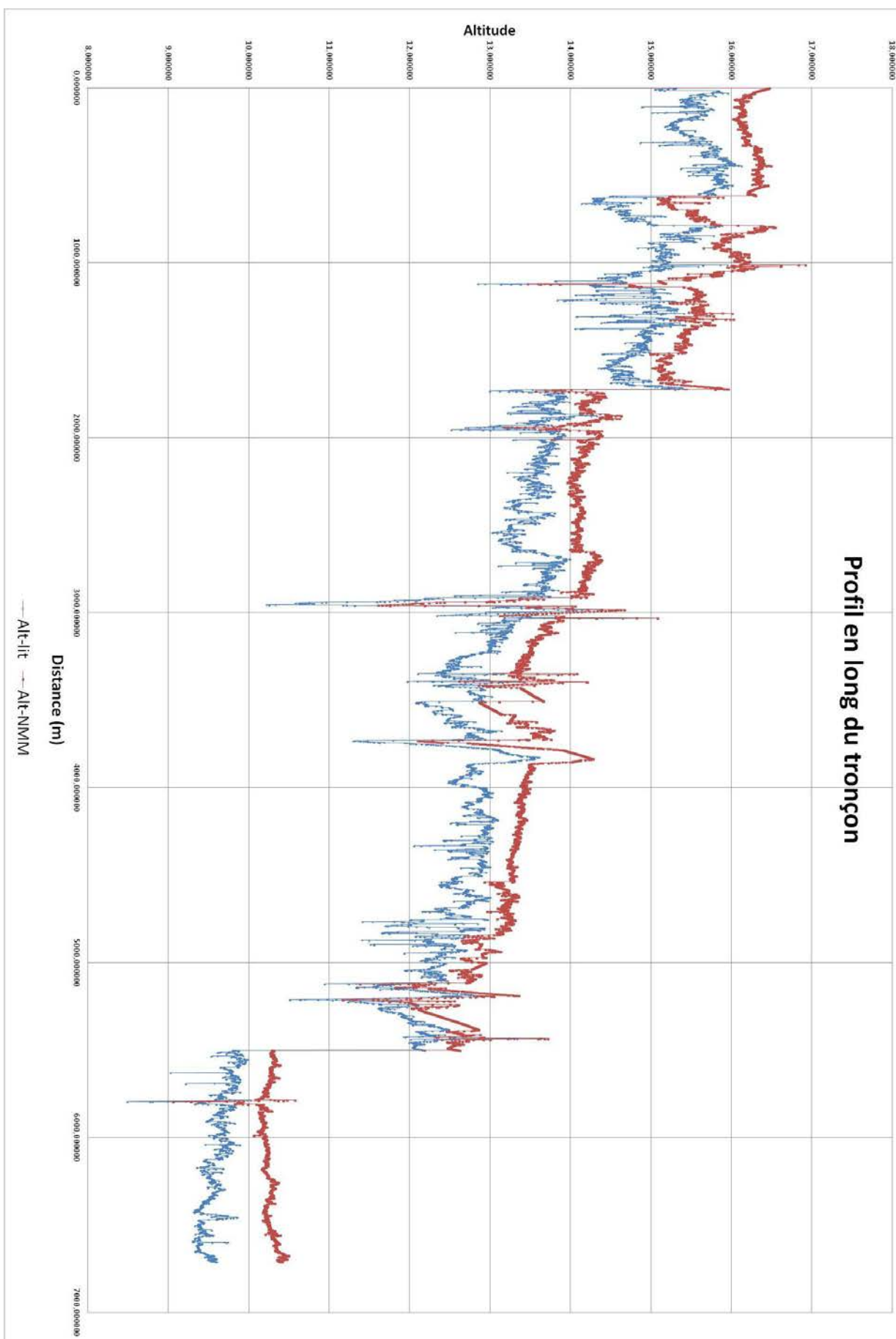


Figure 39 : Profil en long du tronçon (aval de la RQB - Pont de Signy)

Le profil en long obtenu pour le tronçon n'est pas exploitable dans sa globalité. L'absence ou la faible qualité du signal GPS sur plusieurs sections du linéaire limite l'exploitation des données et ne permet pas de calculer une pente globale.

- Profils en travers

Un total de 15 profils ont été réalisés sur les 3.9 km du tronçon.

- Exemple de transect

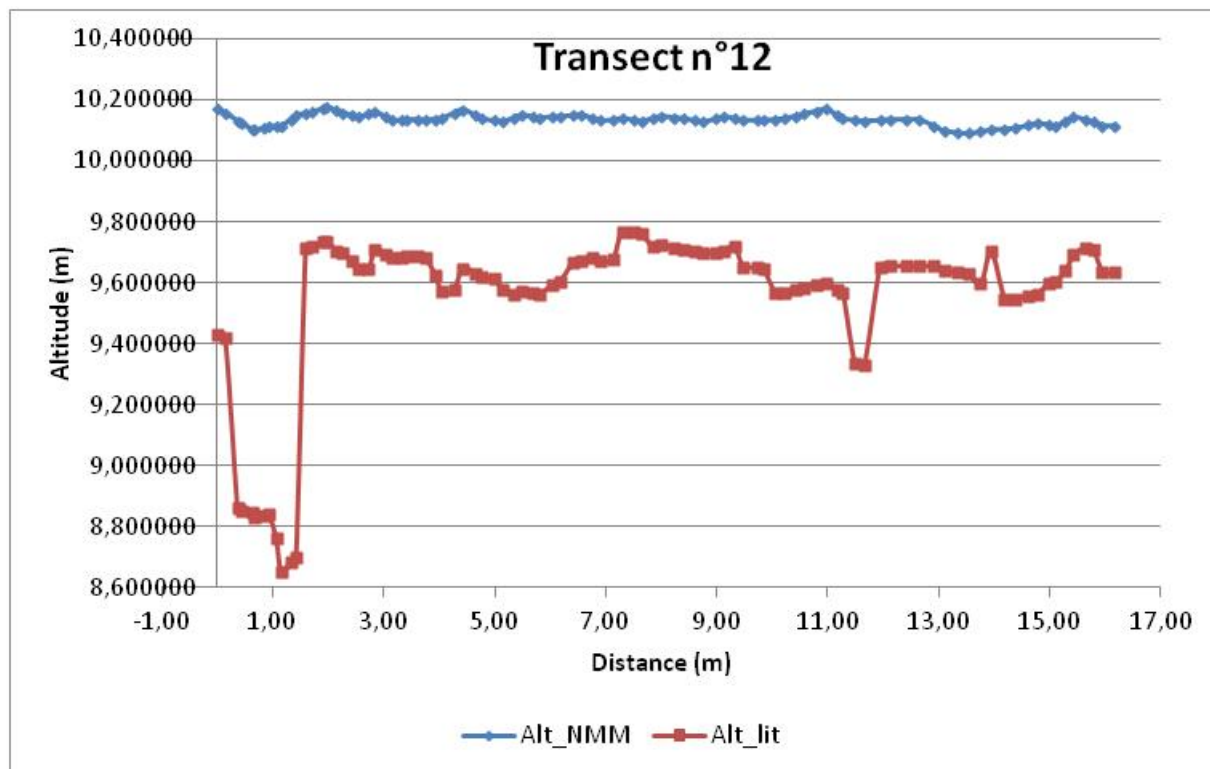


Figure 40 : Transect réalisé sur la Sélune

Les profils en travers n'ont été réalisés que lorsque la qualité du signal GPS était bonne. L'analyse des données permet de dégager une granulométrie « primaire » (blocs, rochers) et une granulométrie « secondaire » (galets).

❖ Granulométrie sédiments fins

Au total, 14 échantillons de sol et de sédiments ont été prélevés sur les berges ou dans le lit du cours d'eau. Les points de prélèvements correspondent globalement aux emplacements des transects.

Ces échantillons doivent permettre d'avoir une idée de la granulométrie des sédiments fins (argiles, limons, sables) pouvant être présents sur ce tronçon de la Sélune. Ils seront traités par granulométrie laser à Géosciences Rennes.

❖ Tests emplacement vélocimètre

Plusieurs tests ont été réalisés sur le lit du cours d'eau. Ces expériences ont pour but d'identifier une zone propice à l'installation de l'armature protégeant le vélocimètre (UB-Flow F156), pour l'acquisition en continu à poste fixe.

Finalement, les zones favorables, plutôt meubles, sont très rares sur le tronçon inventorié, en raison de la forte proportion de substrat grossier (cailloux, galets, blocs) par opposition à la faible

abondance des sédiments fins. Une seule zone, près du pont de Signy, où d'autres tests seront réalisés pourrait s'avérer propice.

4.2.1.2. Résultats attendus

Plus généralement, il s'agira dans cette approche géomorphologique contemporaine de décrire la Sélune dans son état actuel. Les variables suivies pour ce diagnostic sont les suivantes :

- **Diagnostic de l'impact des ouvrages** sur la morphologie actuelle du lit (8km en aval du barrage de la Roche Qui Boit). L'impact géomorphologique le plus fort lié à la présence des barrages se situe sur les premiers kilomètres du tronçon à l'aval direct des retenues.
- **Recherche de gradients spatiaux**
Il s'agira de déterminer s'il existe une logique spatiale d'amont en aval concernant l'incision, le pavage, ... Le but est d'incriminer les barrages pour expliquer les ajustements du cours d'eau. Si c'est un contrôle amont type barrage, on devrait avoir une logique spatiale. Par exemple avec un pavage fort en amont puis progressivement plus faible vers l'aval ou l'impact des barrages diminue.
- **Description fine des processus fluviaux et des structures sédimentaires grossières** (érosion, pavage ...) en amont et en aval (hors retenues).

4.2.2. Géomorphologie dynamique de la Sélune (temps longs)

Contrairement à l'étude de la géomorphologie contemporaine qui étudie les processus actuels, l'étude de la « dynamique temps longs » appréhende l'état et l'évolution géomorphologique de la Sélune avant la construction des barrages.

4.2.2.1. Détermination des stocks de sédiments re-mobilisables

L'objectif est de déterminer l'origine des flux sédimentaires en suspension et particulièrement d'identifier le stock de sédiments re-mobilisables dans le fond de vallée.

Une étude (Thèse Vincent Viel, 2012) sur le bassin versant de la Seulles (Calvados) montre très clairement que la moitié des transferts sédimentaires correspondent à des MES qui ont été stockées au cours des trois derniers millénaires dans la plaine alluviale, l'autre étant évidemment lié au fonctionnement du BV agricole.

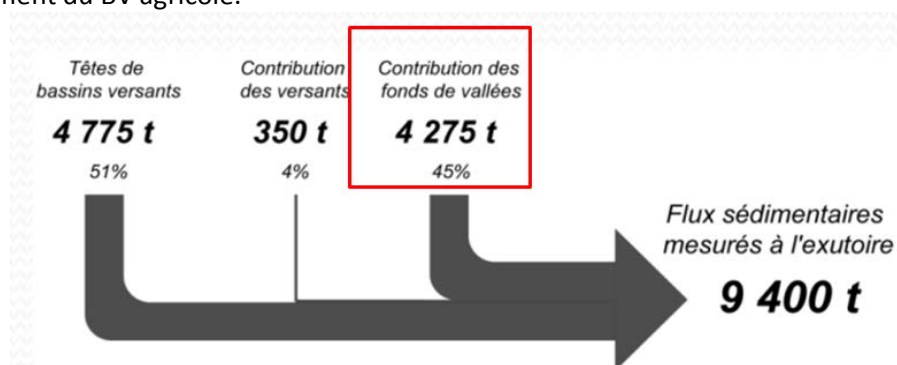


Figure 41 : Budget sédimentaire réalisé à l'échelle du BV de la Seulles (mai 2009 - Avril 2011)

Il est donc indispensable de déterminer les stocks de fond de vallée dont la connaissance est nécessaire pour évaluer les capacités d'ajustement latéral et d'exportation du cours d'eau (nature + épaisseur = érodabilité). Cela apportera une **aide à la compréhension des flux dans la durée (rythmes de constitution et de remobilisation ; poids du BV/ linéaire)**

4.2.2.2. Détermination des états de référence du système fluvial

❖ Objectifs

L'objectif est de caractériser la géomorphologie de la Sélune avant la construction des barrages, en ouvrant la question des états de référence et la connaissance des stades préalables du système, en les définissant (QL et QS et style fluvial) pour trois périodes :

- (1) Juste avant les barrages, de manière complémentaire à ce qui sera fait à partir des documents d'archives qui permettront de restituer le style fluvial :
Influence de l'aménagement agricole du BV + rivière aménagée (état XVIII-XIXe) : **Etat de référence 1**
- (2) dans des BV agricoles avec une rivière en grande partie aménagée mais une pression moins forte sur les systèmes (An Mil) ; régime peu anthropisé : **Etat de référence 2**
- (3) Enfin, une période dont l'âge n'est pas encore déterminé correspondant au fonctionnement naturel (sans l'homme) au cours du dernier interglaciaire ; régime « naturel » : **Etat de référence 3**

Le but est d'avoir une image de l'évolution de la Sélune au cours du temps et d'apporter une aide à la gestion, pour le choix du modèle de restauration et des modes de gestion post arasement.

❖ Méthode

La méthode utilisée pour caractériser les différents états de référence est basée sur une **analyse à haute résolution** (sédimentologie, γ -densité, géochimie, micromorphologie, datations AMS C14, Pb 210 + paléoenvironnements (pollen, diatomées...)) de la sédimentation holocène stockée le long des transects étudiés pour la dynamique contemporaine

4.2. Suivi géomorphologique événementiel/annuel après ouverture des barrages

❖ Objectifs

Après l'ouverture des barrages, il s'agira de suivre les ajustements du chenal et plus globalement l'évolution de la géomorphologie du cours d'eau (reprise du transport sédimentaire, évolution de la dynamique latérale et longitudinale,...)

❖ Mesures et variables suivies

- Mesures de l'évolution de la topographie et de la granulométrie (sédiments grossiers)
- Cartographie des formes fluviales et des processus sédimentaires
- Evolution de la continuité sédimentaire et de la pente d'écoulement naturelle (*restauration des habitats sur les secteurs pavés, incision régressive, évolution de la mobilité latérale...*)

5. Perspectives

5.1. Relation avec les habitats piscicoles

L'ensemble des travaux décrits ci-dessus visant à caractériser le milieu physique pourront apporter des informations sur la qualité des habitats piscicoles.

D'une part, la détermination des seuils de mise en mouvement du substrat des frayères pourront être déterminés grâce au vélocimètre (UB-Flow F156) qui donne des informations sur les contraintes de cisaillement. L'appareil qui peut fonctionner sous batterie est mobile, il pourra être installé ponctuellement sur des zones de frayères identifiées conjointement avec les biologistes en charge du suivi piscicole.

D'autre part, La teneur en oxygène est un facteur primordial pour la survie de nombreux organismes au niveau de la zone hyporhéique, que ceux-ci y évoluent de façon permanente ou bien seulement à certains stades de développement comme pour les stades oeuf et embryon des salmonidés. Un des problèmes survenant actuellement est le colmatage des cours d'eau, dû à l'apport de matière fine provenant de l'anthropisation des bassins versants (Wood et Armitage, 1997 ; Soulsby et al., 2001). Ces matières fines se déposent à la surface du substrat puis y pénètrent plus ou moins profondément selon leur taille et la turbulence du milieu (Beschta et Jackson, 1979), réduisant ainsi les flux d'eau superficielle et donc l'apport en oxygène dans le milieu hyporhéique. Cette diminution de la concentration en oxygène rend le milieu inadéquat pour le développement des oeufs et des embryons de salmonidés (Massa, 2000).

Ainsi, des mesures physiques du transport sédimentaire (vélocimétrie et turbidité) pourront être croisées avec des indicateurs des conditions d'exposition (bâtons de pins) et des indicateurs biologiques (survie intergravellaire des œufs de salmonidés) pour évaluer le colmatage au niveau des frayères.

- Les bâtons de pin

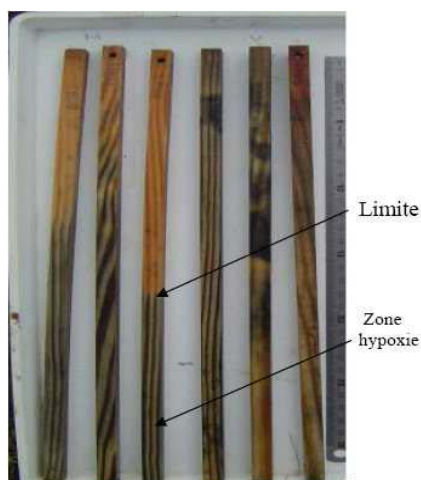


Figure 42: Principe d'utilisation des bâtons de pin

Il s'agit d'apprécier la profondeur à laquelle des conditions d'hypoxie, conséquences du colmatage du substrat, sont rencontrées. La profondeur d'oxygénation est mesurée grâce à des bâtons de pin maritime (*Pinus pinaster*) de section carrée de 10 mm de côté de 30 ou 40 cm de long (Marmonier et al., 2004). Ces bâtons sont enfoncés entièrement dans le substrat du cours d'eau. Au retrait de chaque bâton, après 3 à 4 semaines d'incubation, la profondeur d'oxygénation est estimée par la distance du haut du bâton à la zone où survient le changement de coloration. Cette hauteur est mesurée sur chacune des 4 faces. La profondeur d'oxygénation est la moyenne des 4 faces. Le changement de coloration est dû à une activité bactérienne survenant dans les zones d'hypoxie ou d'anaérobiose (Marmonier et al. 2004) (dépôt de sulfure de fer ou de sels de manganèse). C'est une technique de faible coût qui est mise en place facilement.

- Survie intergravellaire des œufs de salmonidés

Les jeunes stades des salmonidés qui se développent dans les graviers, sont particulièrement sensibles à la dégradation des substrats (particules fines, hypoxie, production d'ammonium, ...) (Massa et al. 2000; Malcolm et al. 2003). Récemment, il a été mis en évidence en conditions contrôlées que l'hypoxie entraînait, outre une diminution de la survie, un retard à l'éclosion et une diminution de la taille des embryons (Roussel, 2007). Ainsi, les déclin des populations de salmonidés rapportés dans de nombreuses rivières sont fréquemment imputés aujourd'hui au colmatage des sites de reproduction (Walling et al. 2003; Lapointe et al. 2004).

L'objectif des indicateurs biologiques de survie intergravellaire est de disposer d'un protocole standardisé d'évaluation indirecte du colmatage des cours d'eau lotiques et à le valider biologiquement, via la survie à l'éclosion d'œufs de truites intégrés dans des capsules.

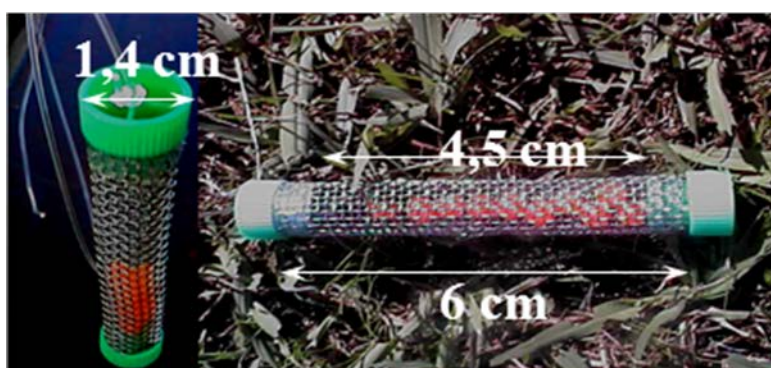


Figure 43 : Survie intergravellaire (œufs dans capsule grillagée)

Enfin, la caractérisation géomorphologique du cours d'eau donne de précieuses informations sur l'évolution des potentialités en termes d'habitats piscicoles. Notamment l'évolution du style fluvial, du profil en long du cours d'eau et la caractérisation de la phase grossière des sédiments, importante pour les habitats de reproduction piscicoles.

5.2. Autres collaborations

❖ Collaboration avec le BRGM

Les travaux du groupe Flux hydro sédimentaires, géomorphologie et habitats, pour la phase pré arasement, sont axés sur les zones amont et aval des barrages. La collaboration avec le BRGM devrait s'employer à caractériser la zone ennoyée par les retenues et suivre la stabilité des berges et l'érosion des futurs sols reformés sur les sédiments exondés.

Les travaux seront axés autour de trois objectifs principaux :

1/ Caractérisation des sédiments exondés et étude des relations nappe/rivière

- Caractérisation des sols en place sur les versants et des sédiments stockés dans les retenues (nature, épaisseur, volume, érodabilité ...).
- Quelles sont leurs caractéristiques rhéologiques, hydrodynamiques, ... (comportement court et long terme, sensibilité, ...) et caractérisation des pressions interstitielles.
- Etude de la relation nappe/rivière. Quels sont les niveaux piézométriques et les lignes de flux d'eau actuels associés à la présence du barrage. Comment ces niveaux évolueront-ils après l'arasement ?

2/ Suivi et surveillance post-arasement

- Suivi évolutif de la déformation des versants au TLS (Terrestrial Laser Scanner) sur quelques secteurs représentatifs
- Suivi de la couverture végétale (reconquête spontanée, rôle dans la stabilisation des sédiments)

3/ Modélisation spatiale, prospectives

- Cartographie de la susceptibilité des versants
- Potentialités de relargage des sédiments dans le cours d'eau (probabilités selon différents scénarios de forçages).

D'autres collaborations pourraient se mettre en place mais sont encore à l'état de premières discussions.

❖ Collaborations avec d'autres unités INRA (UMR SAD et ESE) ?

- Lien entre le rôle de la ripisylve, l'état de végétation des berges et les problématiques liées à l'érosion et la dynamique transversale du cours d'eau.
- Lien entre l'installation de la végétation aquatique et les sédiments, l'évolution des conditions hydrodynamiques et de la géomorphologie du lit.

❖ Collaborations avec ECOBIO (Université de Rennes 1) ?

- Lien entre les mesures physico-chimiques (nutriments particulièrement) et le développement du phytoplancton et plus généralement les risques d'eutrophisation dans les retenues et à l'aval après arasement des barrages.

Références bibliographiques

- Beschta, R. L., W. L. Jackson, 1979. The intrusion of fine sediments into a stable gravel bed. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 36, pp. 204-210
- Belcher, E.O., Matsuyama, B., Trimble, G.M., 2001. Object identification with acoustic lenses., MTS/IEEE oceans, volume 1, session 1., Honolulu, Hawaii.
- Belcher, E.O., Hanot, W., Burch, J., 2002. Dual-frequency identification sonar., 2002 International Symposium on underwater technology, Tokyo, Japan.
- Foot, 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*, pp. 313-342.
- Gao P., 2008 - Understanding watershed suspended sediment transport. *Progress in Physical Geography*, 32, pp. 243-263.
- Hughes, J.B., 2012. Combining Count Data from Split-beam and Multiple DIDSON Sonar Techniques to Estimate Spawning Run Abundance of Anadromous Fishes in the Roanoke River, NC, Fisheries, Wildlife, and Conservation Biology. Graduate Faculty of North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, p. 127.
- Jansson M.B., 1992 - Turbidimeter measurements in a tropical river, Costa Rica. *Proceedings of the Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basins*, August 1992, Oslo. International Association of Hydrological Sciences Publication, 210, pp. 71-78.
- Karr, J.R., 1991. Biological integrity : a long-neglected aspect of water resource management. *Ecol. Appl.* 1, 66-84.
- Landon N., 1998. Du constat d'enfoncement du lit fluvial aux actions de recharge sédimentaire : quelles solutions pour une gestion raisonnée de nos cours d'eau ? 13p
- Langkau, M.C., Balk, H., Schmidt, M.B., Borchering, J., 2012. Can acoustic shadows identify fish species? A novel application of imaging sonar data. *Fisheries Management and Ecology*.
- Lapointe M., Normand F., Bergeron E., Bérubé F., Pouliot M. A., Johnston P., 2004. « Interactive effects of substrate sand and silt contents, redd-scale hydraulic gradients, and interstitial velocities on egg-to-emergence survival of Atlantic salmon (*Salmo salar*). » *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61, pp. 2271-2277.
- Larson W.E., Lindstrom M.J., Schumacher T.E., 1997 - The role of severe storms in soil erosion: a problem needing consideration. *Journal of Soil and Water Conservation*, 52, pp. 90-95.
- Lewis J., Eads R., 2001 - Turbidity threshold sampling for suspended load estimation. *Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference*, Reno, Nevada III, pp. 110-117.
- Lopez-Tarazon J.A., 2011 - The sediment budget of a highly erodible catchment, the river Isabena (Ebro basin, central Pyrenees). Thèse de Doctorat, Université de Lleida, 190p. + annexes
- Malavoi J.R., Bravard J.P., 2010. *Éléments d'hydromorphologie fluviale*, document ONEMA. 228p
- Malcolm I.A., Youngson A.F., Soulsby C., 2003. « Survival of salmonid eggs in a degraded gravel-bed stream: effects of groundwater-surface water interactions ». *River Research and Applications* 19, pp. 303-316.
- Marmonier P., Delettre, Y., Lefebvre, S., Guyon, J., Boulton, A.J., 2004. A simple technique using wooden stakes to estimate vertical patterns of interstitial oxygenation in the beds of rivers. *Archiv fuer Hydrobiologie*, 160, pp. 133-143.
- Martignac, F., Daroux, A., Baglinière, J.L., Ombredane, D., Guillard, J., 2013. The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. *Fish and Fisheries* (accepted).
- Massa F., 2000. Sédiments, physico-chimie du compartiment interstitiel et développement embryonnaire de la truite commune (*Salmo trutta*): Etude en milieu naturel anthropisé et en conditions contrôlées. Doctorat de troisième cycle, mention Sciences de l'Environnement, Institut National d'Agronomie
- Massa F., Baglinière J.L., Prunet P., Grimaldi C., 2000. « Survie embryonnaire de la truite (*Salmo trutta*) et conditions chimiques dans la frayère ». *Cybiu*(Paris) 24, pp. 129-140.
- Maxwell, S.L., 2007. *Hydroacoustics: Rivers*. Protocols, 133-152.
- Maxwell, S.L., Gove, N.E., 2004. The feasibility of estimating migrating salmon passage rates in turbid rivers using a dual frequency identification sonar (DIDSON). *Alaska department of Fish and Game*, p. 88.

- Mueller, A.M., D.L., B., Boswell, K.M., Mulligan, T., 2010. Tail-Beat Patterns in Dual-Frequency Identification Sonar Echograms and their Potential Use for Species Identification and Bioenergetics Studies. *Transactions of the American Fisheries Society* 139, 900-910.
- Roussel J.M., 2007. « Carry-over effects in brown trout (*Salmo trutta*): hypoxia on embryos impairs predator avoidance by alevins in experimental channels ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64, pp. 786-792.
- Rose, K.A., 2000. Why are quantitative relationships between environmental quality and fish populations so elusive? *Ecol. Appl.* 10, 367-385.
- Soulsby C., Malcolm I.A., Youngson A.F., 2001. Hydrochemistry of the hyporheic zone in salmon spawning gravels: a preliminary assessment in a degraded agricultural stream. *Regulated Rivers: Research & Management*, 17, pp. 651-665.
- Soulsby C., Youngson A. F., Moir H. J., Malcolm I. A., 2001. Fine sediment influence on salmonid spawning habitat in a lowland agricultural stream: a preliminary assessment. *The Science of The Total Environment*, 265, pp. 295-307.
- 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.
- Valero-Garces B.L., Navas A., Machin J., Walling D., 1999. Sediment sources and siltation in mountain reservoirs: a Case study from the central Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 28, pp. 23-41.
- Viel V., 2012 – Analyse spatiale et temporelle des transferts sédimentaires dans les hydrosystèmes normands, Exemple du bassin versant de la Seulles. Thèse de doctorat, université de Caen, pp. 74-77.
- 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.
- Walling D.E., Collins A.L., McMellin G.K., 2003. « A reconnaissance survey of the source of interstitial fine sediment recovered from salmonid spawning gravels in England and Wales ». *Hydrobiologia* 497, pp. 91-108.
- Wood P.J., Armitage P.D., 1997. Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management*, 21, pp. 203–217.









Pourquoi une station de comptage des poissons migrateurs?



Saumon atlantique



Truite de mer



Alose feinte



Grande alose



Lamproie marine



Lamproie fluviatile



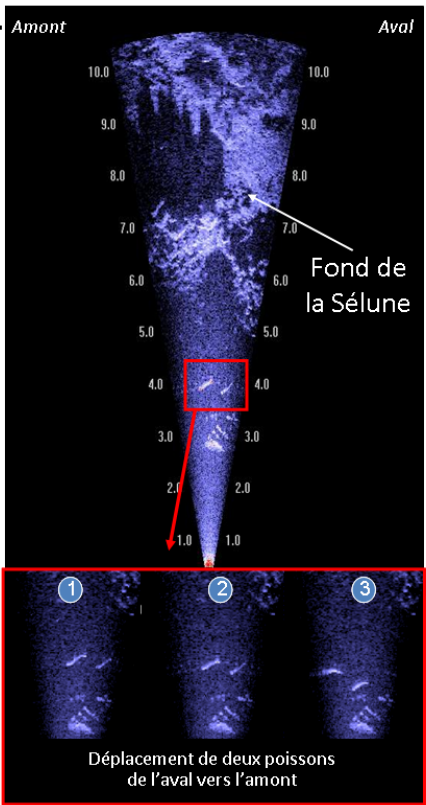
Anguille

La Sélune est un cours d'eau riche en espèces migratrices protégées à l'échelle européenne.

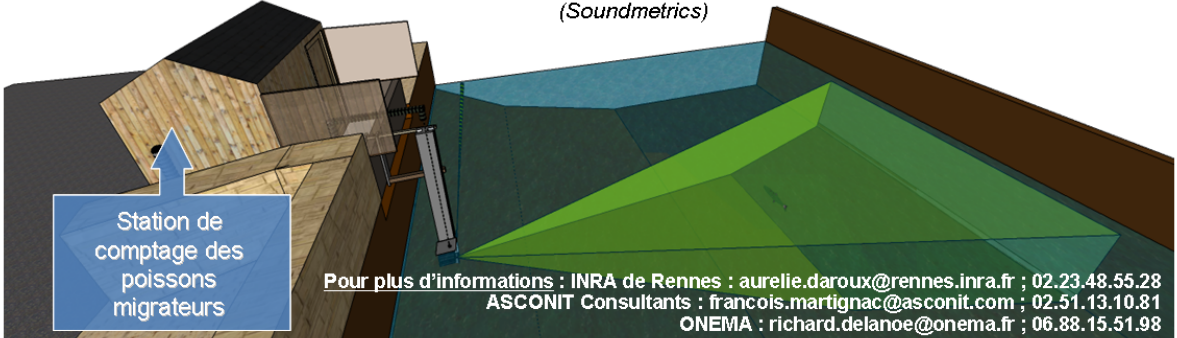
Dans le cadre d'un projet financé par l'Agence de l'Eau Seine Normandie et l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques, l'INRA étudie l'abondance et la dynamique migratoire de ces espèces grâce à une technologie novatrice et non impactante. Une caméra acoustique (DIDSON) émet des signaux sonores à très haute fréquence permettant de visualiser le passage des poissons dans la rivière, puis d'identifier les espèces.



DIDSON
(Soundmetrics)



Déplacement de deux poissons de l'aval vers l'amont



Station de comptage des poissons migrateurs

Pour plus d'informations : INRA de Rennes : aurelie.daroux@rennes.inra.fr ; 02.23.48.55.28
 ASCONIT Consultants : francois.martignac@asconit.com ; 02.51.13.10.81
 ONEMA : richard.delanoe@onema.fr ; 06.88.15.51.98