



HAL
open science

A : Dynamique fluviale : Flux hydriques, sédimentaires et chimiques et Géomorphologie - B : Biocénoses aquatiques : Suivi des flux migratoires de poissons par Hydroacoustique (DIDSON) et Caractérisation biologique et toxicologique de la population de poissons dans la retenue de Vezins [Rapport d'étape annuel 2014 - Programme Sélune Phase pré-arasement]

Claude Le Gonidec, C. Grimaldi, Alain Crave, Anne-Julia Rollet, Axel Beauchamp, Laurent Lespez, François Martignac, S. Saxer, Aurélie Daroux, Guillaume Forget, et al.

HAL Id: hal-03378202

<https://hal.inrae.fr/hal-03378202v1>

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

► **To cite this version:**

Claude Le Gonidec, C. Grimaldi, Alain Crave, Anne-Julia Rollet, Axel Beauchamp, et al.. A : Dynamique fluviale : Flux hydriques, sédimentaires et chimiques et Géomorphologie - B : Biocénoses aquatiques : Suivi des flux migratoires de poissons par Hydroacoustique (DIDSON) et Caractérisation biologique et toxicologique de la population de poissons dans la retenue de Vezins [Rapport d'étape annuel 2014 - Programme Sélune Phase pré-arasement]. [Rapport de recherche] Agence de l'Eau Seine-Normandie. 2015, pp.96. hal-03378202



INRA
SCIENCE & IMPACT



Rapport d'étape annuel 2014 - Programme Sélune Phase pré-arasement -

Thèmes et volets d'étude concernés :

A : Dynamique fluviale : Flux hydriques, sédimentaires et chimiques et Géomorphologie

B : Biocénoses aquatiques : Suivi des flux migratoires de poissons par Hydroacoustique (DIDSON) et Caractérisation biologique et toxicologique de la population de poissons dans la retenue de Veziens

Auteurs

- Dynamique fluviale : Le Gonidec C.¹, Grimaldi C.¹, Crave A.², Rollet A.-J.³, Beauchamp A.³, Lespez L.³

¹ : UMR INRA-Agro campus Ouest, Sol Agro hydro système Spatialisation (SAS)

² : UMR CNRS-Université de Rennes 1, Géosciences Rennes

³ : UMR CNRS-Université de Caen Basse-Normandie, LETG-Caen-Géographie Physique et Environnement (GEOPHEN)

- Biocénoses aquatiques : Martignac F.¹, Saxer S.², Daroux A.³, Forget G.³, Côte J.³, Baglinière J.L.³, Ombredane D.³, Guillard J.⁴

1 : ASCONIT Consultants, Agence Ouest

2 : ASCONIT Consultants, Agence Centre-Auvergne

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

4 : UMR INRA – Université de Savoie, CARTELE

Février 2015

Table des Matières

Introduction générale	4
A- Dynamique fluviale : Flux hydriques, sédimentaires et chimiques et Géomorphologie	9
<u>1 - INTRODUCTION</u>	<u>9</u>
<u>2 - ETUDE DES FLUX HYDRIQUES, SEDIMENTAIRES ET CHIMIQUES</u>	<u>11</u>
2.1 - MATERIELS ET METHODES	11
2.1.1 - STATIONS MULTI-PARAMETRES	11
2.1.1.1 - Localisation	11
2.1.1.2 - Equipements	12
2.1.2 - PARAMETRES MESURES	15
2.1.2.1 - Mesures en continu	15
2.1.2.2 - Echantillonnage ponctuel	16
2.2 - RESULTATS	18
2.2.1 - FLUX HYDRIQUES	18
2.2.2 - FLUX SEDIMENTAIRES	21
2.2.3 - FLUX CHIMIQUES	25
2.2.3.1 - Flux particuliers	25
2.2.3.2 - Flux dissous	27
2.3 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	30
<u>3 - GEOMORPHOLOGIE DYNAMIQUE DE LA RIVIERE</u>	<u>32</u>
3.1 - DYNAMIQUE CONTEMPORAINE	32
3.1.1 - CONTEXTE	32
3.1.2 - MATERIEL ET METHODES	33
3.1.2.1 - Caractérisation de l'évolution du profil en long du tronçon étudié	33
3.1.2.2 - L'analyse granulométrique longitudinale	33
3.1.2.3 - Etude de la mobilité en plan	34
3.1.3 - RESULTATS	35
3.1.3.1 - Caractérisation de l'évolution du profil en long du tronçon étudié	35
3.1.3.2 - L'analyse granulométrique longitudinale	37
3.1.3.3 - Etude de la mobilité en plan	38
3.1.4 - CONCLUSION ET PERSPECTIVES	39
3.2 - DYNAMIQUE TEMPS LONGS	40
3.2.1 - CONTEXTE	40
3.2.2 - MATERIEL ET METHODES	41
3.2.2.1 - Localisation	41
3.2.2.2 - Méthodes	43
3.2.3 - RESULTATS	44
3.2.4 - PERSPECTIVES	49

B- Biocénoses aquatiques : Suivi des flux migratoires de poissons par Hydroacoustique (DIDSON) et caractérisation biologique et toxicologique de la population de poissons dans la retenue de Vezins. 50

1 - SUIVI DES FLUX MIGRATOIRES DE POISSONS PAR HYDROACOUSTIQUE (DIDSON) 50

1.1 - CONTEXTE	50
1.2 - MATERIEL ET METHODES	51
1.2.1 - LOCALISATION	51
1.2.2 - EQUIPEMENT	54
1.2.3 - STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE DES DONNEES	54
1.3 - RESULTATS ET AVANCEES METHODOLOGIQUES	55
1.3.1 - LES AVANCEES METHODOLOGIQUES	55
1.3.1.1 - Validation des données extraites des enregistrements DIDSON	55
1.3.1.2 - Le logiciel Sonar5-Pro : avantages et limites	56
1.3.1.3 - Définition d'une méthodologie de traitement des données DIDSON spécifique aux saumons atlantiques avec Sonar5-Pro	60
1.3.1.4 - Validation de la méthode, efficacité et prochaines étapes	61
1.3.2 - RESULTATS DU SUIVI BIOLOGIQUE (2013/2014)	62
1.3.2.1 - Evolution des conditions environnementales	62
1.3.2.2 - Dynamique migratoire des saumons atlantiques adultes	63
1.3.2.3 - L'ichtyofaune de la Sélune	71
1.4 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	76

2 - CARACTERISATION BIOLOGIQUE ET TOXICOLOGIQUE DE LA POPULATION DE POISSONS DANS LA RETENUE DE VEZINS 77

2.1 - CARACTERISATION BIOLOGIQUE DE LA POPULATION DE POISSONS DE LA RETENUE DE VEZINS.....	77
2.1.1 - INTRODUCTION	77
2.1.2 - METHODE.....	78
2.1.2.1 - Principe de la méthode	78
2.1.2.2 - Protocole d'échantillonnage.....	78
2.1.2.3 - Sélectivité des filets maillants.....	82
2.1.2.4 - Démaillage et biométrie	82
2.1.2.5 - Traitement des données.....	83
2.1.3 - RESULTATS.....	83
2.1.3.1 - Conditions environnementales et mesures in situ.....	83
2.1.3.2 - Résultats de l'inventaire piscicole.....	85
2.1.4 - INTERPRETATION	88
2.1.5 - CONCLUSIONS.....	89
2.2 - CARACTERISATION TOXICOLOGIQUE DE LA POPULATION DE POISSONS DE LA RETENUE DE VEZINS.....	90
2.2.1 - INTRODUCTION	90
2.2.2 - METHODES	90
2.2.3 - RESULTATS.....	90
2.2.3.1 - Origine de la bioaccumulation	90
2.2.3.2 - Bioaccumulation et valeurs seuils.....	92
2.2.4 - DISCUSSION.....	94
DYNAMIQUE FLUVIALE : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	95
BIOCENOSSES AQUATIQUES : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	96

Table des illustrations

A- Dynamique fluviale

Figure 1 : Volets d'étude et personnes impliquées dans le thème Dynamique fluviale	10
Figure 2 : Localisation des stations de suivi multi paramètres sur la Sélune	11
Figure 3 : Capteur de pression (à gauche) et échelle limnimétrique (à droite)	12
Figure 4 : Sonde de turbidité (à gauche) et Transmetteur pour le paramétrage de la sonde (à droite)	12
Figure 5 : Sonde de conductivité (à gauche) et Préleveur automatique réfrigéré (à droite).....	13
Figure 6 : Centrale d'acquisition (à gauche) Modem GSM (à droite).....	13
Figure 7 : Prototype de la structure d'ancrage du vélocimètre avec les cotes (en mm).....	14
Figure 8 : Plan de situation de l'installation de la structure	14
Figure 9 : Courbe de tarage Débit-Niveau d'eau au Pont de Signy (DREAL Basse-Normandie).....	15
Figure 10 : aliquotes pour chaque échantillon prélevé.....	17
Figure 11 : Chronique de débit et précipitations horaires (station Météo France Saint Hilaire du Harcouet) pour la période d'Avril à Décembre 2014. Les ronds noirs correspondent aux prélèvements d'eau (manuels et automatiques) pour l'analyse des MES et des flux chimiques. Zoom sur des crues de décembre.....	19
Figure 12 : Chronique d'évolution de la turbidité en NTU (rouge) et du débit en m3/s (bleu) ;	21
Figure 13 : Evolution de la concentration des MES en fonction du débit ; Zoom sur deux crues suivies.....	22
Figure 14 : Relation entre la turbidité et la concentration en MES.....	23
Figure 15 : Relation entre la concentration en MES (prélèvements manuels) et le débit. L'hystérésis de cette relation au cours des crues est mise en évidence pour la crue du 26/08 (triangles rouges).....	24
Figure 16 : Chronique de la concentration en phosphore particulaire et du débit.....	25
Figure 17 : Relation entre les concentrations en phosphore particulaire et le débit (à gauche), et les concentrations en MES (à droite) suivant les saisons, en blanc : Période estivale (mi juin à fin août) et en noir : hors période estivale	25
Figure 18 : Chronique de la concentration en carbone et azote particulaires et du débit.....	26
Figure 19 Evolution du rapport C/N au cours de l'année (gauche).....	26
Figure 20 : Chronique des concentrations en nitrate, silice, chlorure, sulfate	27
Figure 21 : Evolution des concentrations en nitrate, silice, chlorure, sulfate en fonction du débit	28
Figure 22 : Chronique des concentrations en phosphate et du débit	29
Figure 23 : Relation entre les concentrations en phosphate et le débit	29
Figure 24 : Tronçon d'étude et localisation des points de mesure de hauteur de berge et de granulométrie	32
Figure 25 : Méthode de mesure des hauteurs de berge	33
Figure 26 : Evolution de la hauteur des berges en fonction de la distance au barrage de La Roche Qui Boit (Mirloup, 2014).....	35
Figure 27 : profil en long de la Sélune en aval du barrage de la Roche qui Boit (Fond du lit et ligne d'eau).....	36
Figure 28 : Evolution longitudinales en fonction de la distance au barrage des D 10, D50 et D90 de la distribution granulométrique grossière (> 5 mm) sur les radiers en aval de la Roche Qui Boit	37
Figure 29 : Evolution longitudinales en fonction de la distance au barrage des D 10, D50 et D90 de la distribution granulométrique des sables (< 5 mm) sur les radiers en aval de la Roche Qui Boit	37
Figure 30 : Cartographie des érosions de berges, des secteurs d'incisions du lit et des abreuvoirs.....	38
Figure 31 : Photographies, de gauche à droite : érosion de berge, abreuvoir, incision du lit mineur	39
Figure 32 : Localisation des deux sites ; 1 : Moulin de Virey et 2 : Isolant (site de Vezins)	41
Figure 33 : Comparaison du moulin de Virey entre la fin du XIXe siècle et aujourd'hui	42
Figure 34 : Aperçu du fond de vallée de l'Isolant en amont de la retenue de Vezins.	42
Figure 35 : Localisation des carottages, à gauche : aval de l'Isolant, à droite : au moulin de Virey	43
Figure 36 : Carottage au carottier à percussion à Virey (Cliché L. Lespez)	43
Figure 37 : Mention du moulin de Virey sur Carte topographique de la Normandie réalisée en 1720 par Mariette de la Pagerie (BNF, GE DD-2987 (1009,I-IV B)).	44
Figure 38 : Evolution du site du moulin de Virey entre le début du XIXe siècle et aujourd'hui.....	45
Figure 39 : Photo du remplissage sédimentaire sur les sondages C1 à C4	46
Figure 40 : Transect chronostratigraphique de la vallée de la Sélune en aval du moulin de Virey.....	47
Figure 41 : Modèle d'interprétation de l'évolution hydromorphologique de la Sélune.....	48
Figure 42 : Localisation des sondages envisagés en 2015 sur le site de Virey.....	49
Figure 43 : Localisation des sondages envisagés en 2015 sur le site de La Roche	49

B- Biocénoses aquatiques

Figure 44 : Localisation du site de suivi de populations de poissons migrateurs 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)	51
Figure 45 : Représentation tridimensionnelle de l'installation du DIDSON, en vert le faisceau de détectio.....	52
Figure 46 : Site d'installation fonctionnel (26 juillet 2013). A : intérieur de l'abri ; B : vue à partir du Vieux Pont de Ducey	52
Figure 47 : Visualisation de la granulométrie du fond de la Sélune avec plongeur (03 septembre 2014)	52
Figure 48 : Sélection de prises de vues des vidéos réalisées lors de l'exploration du fond de la Sélune par un plongeur	53
Figure 49 : Image du DIDSON avant retraits des sacs de gravats matérialisés en rouge (gauche)	53
Figure 50 : Dispositifs de suivi installé sur la Sélune. A) La caméra acoustique DIDSON ;.....	54
Figure 51 : Visualisation de la stratégie d'échantillonnage de l'acquisition des données DIDSON.....	54
Figure 52 : A gauche : variabilité des mesures de tailles des deux opérateurs pour chaque poisson ; à droite : différence centimétrique entre les tailles réelles et les tailles mesurées par chaque opérateur.....	55
Figure 53 : Différence (calculée avec un modèle linéaire mixte généralisé) entre la taille mesurée par les opérateurs et la taille réelle de chacun des poissons en fonction de la taille des individus	56
Figure 54 : A gauche, représentation de la quantification des sens de passage des poissons détectés dans le faisceau du DIDSON, Vx : vitesse de nage en m/s entre le 1er et le dernier écho détecté ; à droite, boxplot des « Vx First Last » (en m/s) pour les trois comportements différents observés visuellement (Dévalaisons : n=75 ; Montaisons : n=95 ; Stabulation / comportement erratique : n=9).....	57
Figure 55 : Courbes des tailles estimées et mesurées des pistages automatiques validés et des poissons déjà comptabilisés (erreur 1) (n=179)	58
Figure 56 : Relation entre les tailles estimées automatiquement par SONAR5-PRO, en abscisse et les tailles mesurées manuellement, en ordonnées (n=179). En rose, les poissons dont l'écart entre taille estimée et taille mesurée excède 15 cm, en bleu clair, ceux dont l'écart de taille est compris entre 10 et 15 cm	58
Figure 57 : Relation entre les tailles estimées automatiquement par SONAR5-PRO, en abscisse et les tailles mesurées manuellement, en ordonnées (n=179). En rose, les poissons dont l'écart entre taille estimée et taille mesurée excède 15 cm, en bleu clair, ceux dont l'écart de taille est compris entre 10 et 15 cm	59
Figure 58 : Chroniques des données environnementales enregistrées sur le site de suivi DIDSON, et comparaison avec les débits du fleuve enregistrés à Signy (en L/s). De haut en bas : hauteurs d'eau (en mm), vitesse de courant (en cm/s) et température de l'eau (en °C)	62
Figure 59 : Données disponibles enregistrées par le DIDSON sur la Sélune entre le début des acquisitions (26 juillet 2013 et le 30 novembre 2014). En bleu, les données disponibles, en rouge les données inexploitable ou inexistantes.	63
Figure 60 : Pattern de passage des saumons atlantiques dans le chenal (n=380). En jaune, la stratégie d'échantillonnage 2 à 12 mètres (50% du temps), en bleu, la stratégie d'échantillonnage 7 à 17 mètres (50% du temps). La zone verte correspond au chevauchement des deux stratégies (couverture 100% du temps).....	65
Figure 61 : Chronique des passages de saumons atlantiques sur la Sélune entre le 12 août 2013 et le 20 juin 2014. En grisé, les données non enregistrées ou inexploitable.....	66
Figure 62 : Distribution des tailles mesurées des saumons atlantiques identifiés chaque mois de la période août 2013 à juin 2014 (histogrammes bleus) et comparaison à la distribution totale des tailles des 380 saumons identifiés sur la Sélune au cours de la même période (courbe rouge). En abscisse, les tailles en cm et en ordonnée, les effectifs.	66
Figure 63 : Comparaison de la distribution des tailles mesurées manuellement des saumons atlantiques de la Sélune sur les images du DIDSON avec les données biométriques des captures à la ligne de l'ONEMA (2008 à 2014, n=626) et des captures à la passe piège du Moulin de Cerisel (ONEMA / INRA, 1997 à 2013, n=4106).....	67
Figure 64 : Chronique des passages des 380 saumons atlantiques sur la Sélune entre le 12 août 2013 et le 20 juin 2014 en fonction des données environnementales. En grisé, les données non enregistrées ou inexploitable. De haut en bas : en fonction des hauteurs d'eau sur le site de suivi (en mm), des vitesses de courant sur le site de suivi (en cm/s), des températures de l'eau sur le site de suivi (en °C), des débits de la Sélune à Signy (en L/s).....	68
Figure 65 : Activité nyctémérale de migration des saumons observés en haut : lors de la période automne-hiver (octobre à mars, n=116), en bas : lors de la période printemps-été (avril à septembre, n=264)	69

Figure 66 : Pourcentage de passages nocturnes (entre 20h et 8h) en fonction des mois de l'année (histogramme) et nombre de saumons par mois (points et étiquettes), n=380. Les données du mois de juillet ne sont pas encore analysées.....	69
Figure 67 : Migration des saumons en fonction des heures de la journée et des températures de l'eau en juin (en haut, n=53) et en novembre (n=54).....	70
Figure 68 : Fréquence des tailles (en cm) des truites de mer et des saumons capturés à la passe piège du Moulin de Cerisel entre 1997 et 2013 (données U3E INRA et ONEMA).....	71
Figure 69 : En haut : observation d'un passage de lamproie marine sur le logiciel Soundmetrics Corp. ; en bas : à gauche : répartition des passages observés entre juillet 2013 et juin 2014 (n=27), à droite : distribution des tailles mesurées (en cm) des individus observés.....	72
Figure 70 : A gauche : répartition des passages observés entre juillet 2013 et juin 2014 (n=150), à droite : distribution des tailles mesurées (en cm) des individus observés avec le filtre saumon.....	72
Figure 71 : Cinq premières vignettes : décomposition du bull observé le 05/06/2014, à 4h20 sur les images du DIDSON. Une alose (58 cm) est poursuivie par une autre (51 cm). En bas à droite : photographie d'un bull d'alose	73
Figure 72 : A gauche : répartition des passages d'anguille observés entre juillet 2013 et juin 2014 (n=74), à droite : distribution des tailles mesurées (en cm) des individus observés (DIDSON avec le filtre saumon).....	74
Figure 73 : Poissons capturés sur la Sélune lors de la pêche de décembre 2014. En haut : anguille de 950 mm ; en bas : à gauche tacon de saumon atlantique de 105 mm ; à droite : truite fario de 260 mm.....	75
Figure 74 : Carte de localisation de la retenue de Vezins (source : géoportail®).....	77
Figure 75 : Schéma de principe du dispositif pélagique (2 filets pélagiques mis bout à bout).....	79
Figure 76 : Localisation des filets.....	82
Figure 77 : Démaillage et biométrie (photo : ASCONIT C.).....	82
Figure 78 : Profils de température et de pH de la colonne d'eau de la retenue de Vezins.....	84
Figure 79 : Profils de saturation en Oxygène (%) de la colonne d'eau de la retenue de Vezins.....	84
Figure 80 : Résultats de l'inventaire piscicole de la retenue de Vezins (données brutes).....	85
Figure 81 : Résultats de l'inventaire piscicole de la retenue de Vezins (données brutes).....	86
Figure 82 : Analyse factoriel présentant les différents échantillonnages en fonction de l'origine de capture des espèces (Yvrande ou reste du lac de Vezins).....	91
Figure 83 : Analyse factorielle présentant les différentes contaminations par métaux lourds pour chaque organes étudiés.....	91

Liste des tableaux

A- Dynamique fluviale

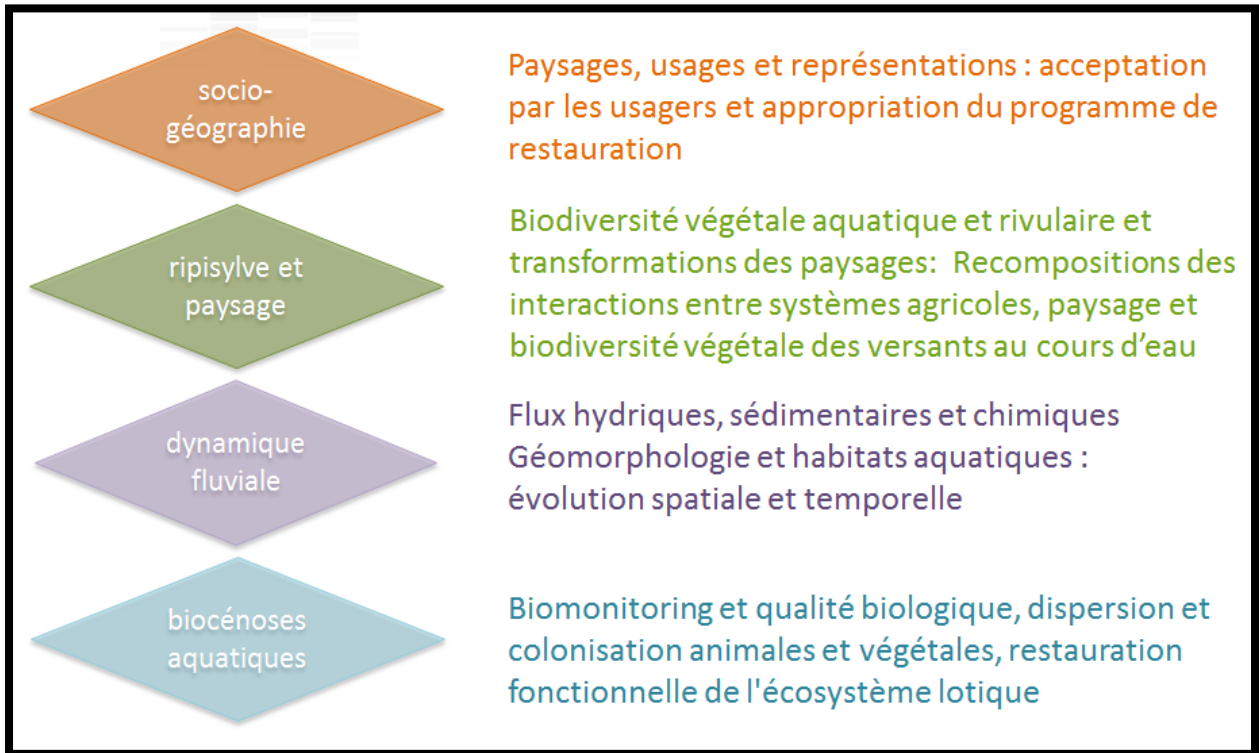
Tableau 1 : Phase dissoute : paramètres et méthodes d'analyse.....	17
Tableau 2 : Phase particulaire: paramètres et méthodes d'analyse.....	17
Tableau 3 : Débits mensuels moyens au Pont de Signy (période 1990-2014, données Banque Hydro) En août et décembre 2014 le débit mensuel n'est pas renseigné sur la banque Hydro, les données en italiques correspondent aux mesures de notre station INRA sur le même site.	18
Tableau 4 : Débits journaliers classés en fonction de leur fréquence au Pont de Signy (période 1990-2014, données Banque Hydro).....	18
Tableau 5 : Débits caractéristiques mesurés au Pont de Signy (période 1990-2014, données de la banque Hydro) .	19
Tableau 6 : Calcul des flux spécifiques dissous pour le nitrate, la silice, le chlorure, le sulfate pour les 3 périodes identifiées et flux spécifique total pour la période suivie (fin avril à décembre 2014)	30

B- Biocénoses aquatiques

Tableau 7 : Résultats des comparaisons entre les cibles détectées via le pistage automatique et les validations visuelles.....	57
Tableau 8 : Catégories d'erreur observées parmi les cibles sélectionnées par Sonar5-Pro et n'étant pas des saumons atlantiques	61
Tableau 9 : Bilan des enregistrements du DIDSON sur la Sélune sur la période juillet 2013 à novembre 2014, nombre de cibles sélectionnées par Sonar5-Pro et nombre de saumons atlantiques validés par mois. Les mois en vert sont ceux analysés ou en cours d'analyse, les mois en rouge sont les données enregistrées pas encore analysées.....	63
Tableau 10 : Description des cibles sélectionnées par la méthodologie Sonar5-Pro en fonction du tableau 8 sur la période août 2013 à mai 2014.....	64
Tableau 11 : Récapitulatif des poissons capturés lors de la pêche électrique de décembre 2014 sur la Sélune. De gauche à droite : les espèces observées, les tailles individuelles des poissons mesurés (en mm), la matrice présence/absence d'individus des différentes classes de taille pour chacune des espèces capturées	75
Tableau 12 : Nombre de filets benthiques et pélagiques posés sur la retenue de Vezins	79
Tableau 13 : Répartition des filets benthiques aux différentes couches de profondeur	80
Tableau 14 : Résultats des modèles mixtes testant l'effet des métaux, de l'espèce et de l'organe	91
Tableau 15 : Résultats des modèles mixtes testant l'effet de l'organe et de l'espèce pour chaque métal. Les colonnes organe et espèce cibles correspondent aux résultats des comparaisons multiples.....	92
Tableau 16 : Concentrations moyennes et erreurs types par espèce et par toxique(en mg / kg de poids sec), ainsi que les organes dans lesquels le toxique est majoritaire (organe cible ; « corps » signifie que l'ensemble des organes sont touchés)) et la comparaison entre les valeurs observées et les valeurs de référence (Interprétation). Les colonnes grisées représentent les métaux pour lesquelles les valeurs observées chez la majorité des espèces sont supérieures aux normes alimentaires.	93

Introduction générale

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



Le présent rapport concerne les thèmes et les volets d'étude suivants :

- A- Dynamique fluviale** : Flux hydriques, sédimentaires et chimiques et Géomorphologie
- B- Biocénoses aquatiques** : Suivi des flux migratoires de poissons par Hydroacoustique (DIDSON) et Caractérisation biologique et toxicologique de la population de poissons dans la retenue de Vezins

Le précédent rapport (2013) présentait 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. Nous aborderons ici, après un bref rappel de la partie méthodologie et des nouveautés associées, les résultats de l'année 2014 et les projets en cours pour 2015.

A- Dynamique fluviale : Flux hydriques, sédimentaires et chimiques et Géomorphologie

1 - Introduction

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 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.

Le thème Dynamique fluviale du programme s'articule en trois volets interdépendants :

1. L'étude des flux hydriques, sédimentaires et chimiques
2. L'étude de la géomorphologie dynamique de la rivière à deux échelles de temps (contemporaine et temps longs)
3. La caractérisation des habitats aquatiques et leur relation avec les volets précédents

La première année du programme (2013) a été essentiellement consacrée à l'acquisition de matériels, à l'installation des dispositifs de mesures, ainsi qu'à quelques observations préliminaires (Rapport d'étape 2013). L'année 2014 a permis de recueillir les premiers résultats qui correspondent à la phase de suivi pré-arasement du programme, essentiellement concernant les volets 1 et 2. Le présent rapport établit le bilan de cette deuxième année. On notera que pour le volet 3, plus transversal et pluridisciplinaire, les actions à mener sont en cours de réflexion.

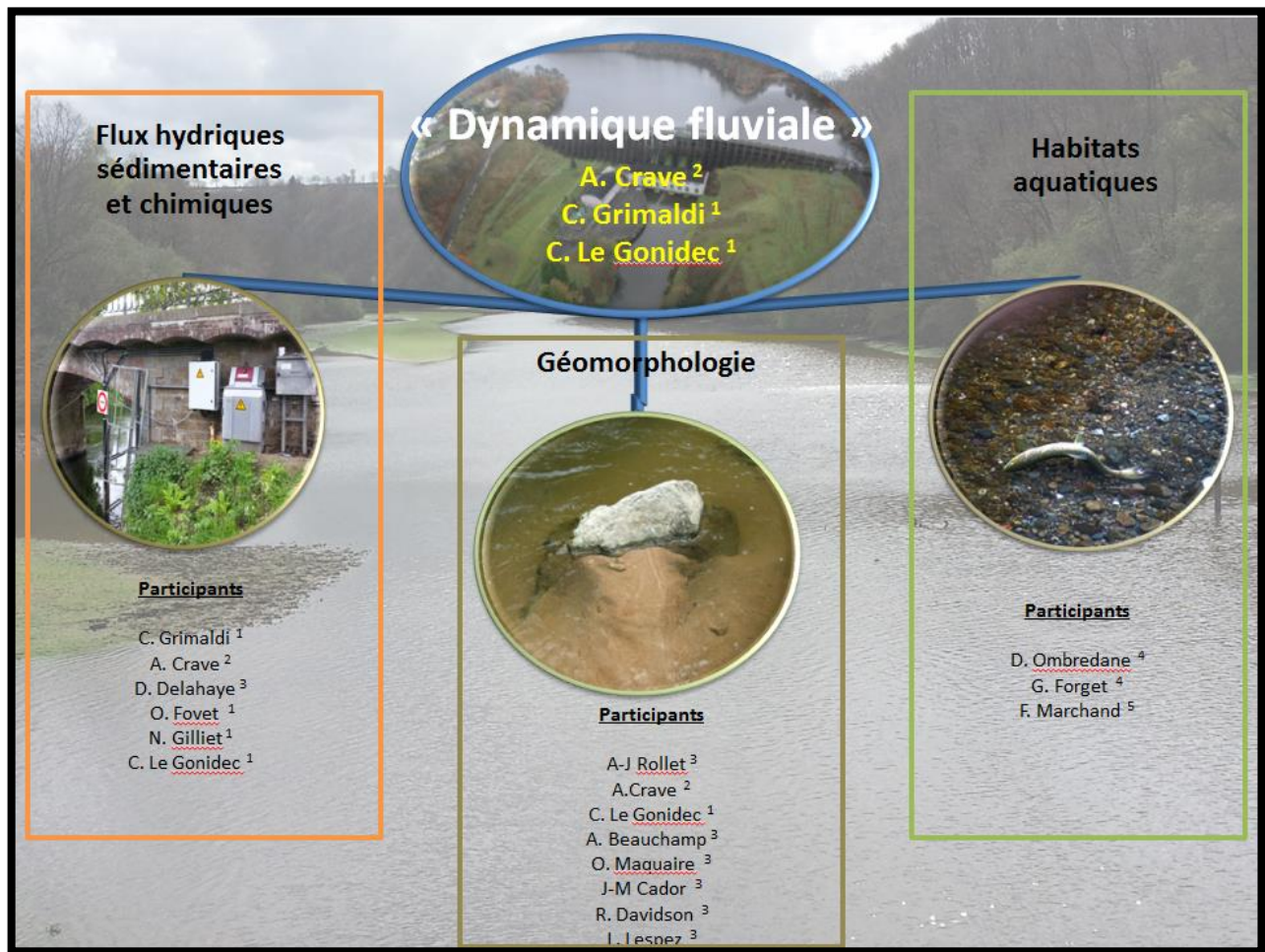


Figure 1 : Volets d'étude et personnes impliquées dans le thème Dynamique fluviale

Plusieurs unités sont impliquées dans ce groupe de travail, suivant leurs thématiques de recherche et les compétences des différents membres. La figure 1 présente les trois volets du thème Dynamique fluviale, les personnes et unités concernées :

¹ : UMR INRA-Agro campus Ouest, Sol Agro hydro système Spatialisation (SAS)

² : UMR CNRS-Université de Rennes 1, Géosciences Rennes

³ : UMR CNRS-Université de Caen Basse-Normandie, LETG-Caen-Géographie Physique et Environnement (GEOPHEN)

⁴ : UMR INRA-Agro campus Ouest, Ecologie et Santé des écosystèmes (ESE)

⁵ : U3E INRA, Unité Expérimentale d'Ecologie et d'Ecotoxicologie Aquatique

2 - Etude des flux hydriques, sédimentaires et chimiques

Dans ce chapitre, une première partie établit un rappel des sites, des équipements installés et des paramètres suivis sur le cours de la Sélune. Les caractéristiques techniques du matériel sont développées en détail dans le précédent rapport (rapport d'étape 2013). La deuxième partie du chapitre présente les premiers résultats du suivi des flux et des concentrations sur le site du pont de Signy.

2.1 - Matériels et méthodes

2.1.1 - Stations multi-paramètres

2.1.1.1 - Localisation

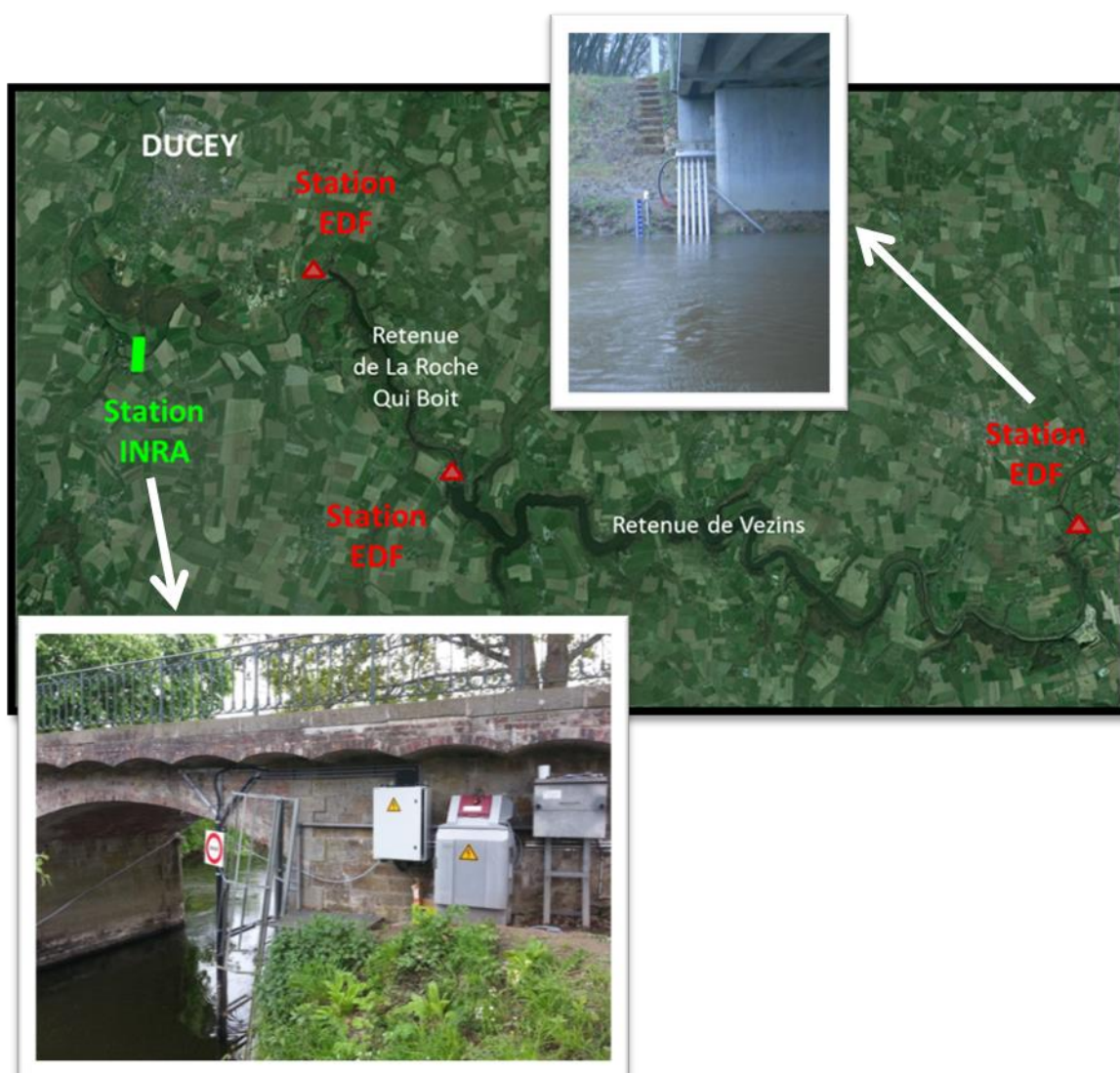


Figure 2 : Localisation des stations de suivi multi paramètres sur la Sélune

- ✓ 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. Cet emplacement sur la Sélune, intègre une surface de bassin versant de 771 km². Une station de mesure de débit de la DREAL Basse-Normandie existe déjà à

cet endroit (code I9221020 : La Sélune à Saint Aubin de Terregatte). Le débit est mesuré par la DREAL depuis le 15/01/1990.

✓ En amont de notre station, EDF a installé 3 stations de mesures multi-paramètres :

- 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)

L'acquisition des données pour la station INRA au pont de Signy est effective depuis le 24/04/2014.

2.1.1.2 - Equipements

Les stations sont multi-paramètres, ce qui implique l'installation d'un parc de matériels spécifiques suivant les objectifs :

❖ Suivi des flux hydriques :

- Un capteur de pression pour une mesure précise du niveau d'eau
- Une échelle limnimétrique (DREAL) pour un contrôle visuel de la hauteur d'eau



Figure 3 : Capteur de pression (à gauche) et échelle limnimétrique (à droite)

❖ Suivi des flux sédimentaires :

- Une sonde turbidimétrique
- Un transmetteur servant d'interface à l'utilisateur pour le contrôle des paramètres de la sonde
- Un préleveur automatique pour établir la relation entre turbidité et concentration en MES



Figure 4 : Sonde de turbidité (à gauche) et Transmetteur pour le paramétrage de la sonde (à droite)

❖ Suivi des flux chimiques :

- Une sonde de conductivité (qui sera installée début Janvier 2015)
- Un préleveur automatique réfrigéré (réfrigéré pour la conservation des échantillons)



Figure 5 : Sonde de conductivité (à gauche) et Préleveur automatique réfrigéré (à droite)

❖ Paramétrage et rapatriement des données :

- Une centrale d'acquisition pour le paramétrage des capteurs
- Un Modem GSM pour l'interrogation et le rapatriement des données à distance



Figure 6 : Centrale d'acquisition (à gauche) Modem GSM (à droite)

❖ Installation du support pour le vélocimètre UB Flow

Les caractéristiques techniques du vélocimètre sont développées dans le rapport d'étape 2013.

Le vélocimètre UB Flow permet de réaliser des profils de vitesses avec une très haute précision proche du fond du cours d'eau. Cette précision donne des informations sur les contraintes mécaniques qui s'exercent sur le fond, susceptibles d'initier un transport sédimentaire.

Le suivi de l'évolution dans le temps des profils de vitesses, pour différentes conditions hydrologiques (crues), nécessite le déploiement du vélocimètre UB Flow en station fixe.

Une structure métallique capable de porter le vélocimètre, facile à installer et régler sous l'eau mais surtout capable de résister aux crues, a donc été développée et réalisée en interne.

Deux difficultés principales ont dû être résolues : (i) l'ancrage de la structure sur un radier, (ii) la conception d'une platine dont l'orientation dans l'espace en 3 dimensions puisse s'effectuer en immersion.

Nous avons donc conçu un prototype adapté au format de ce vélocimètre UB Flow (Figure 7)

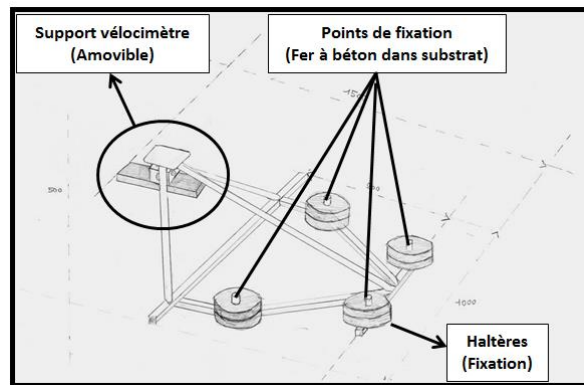


Figure 7 : Prototype de la structure d'ancrage du vélocimètre avec les cotes (en mm)

Ce prototype est installé à l'aval immédiat du pont de Signy (5-7 mètres d'une ancienne frayère située au niveau du pont de Signy). Cette proximité avec la station multi paramètres, permettra une alimentation électrique pour des mesures en continu, mais également une souplesse dans la récupération des données et le paramétrage de l'UB Flow via un ordinateur.

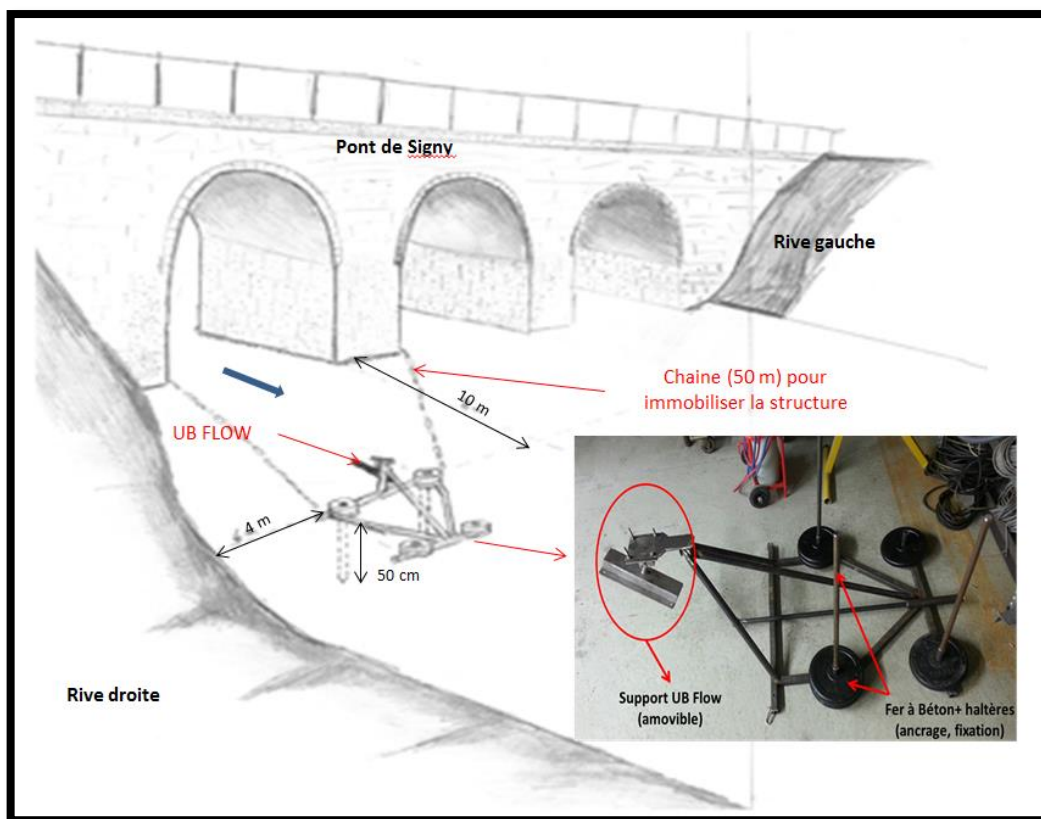


Figure 8 : Plan de situation de l'installation de la structure

La structure est positionnée avec un capteur de mouvements pour étudier sa stabilité en fonction des débits de la rivière. L'installation du vélocimètre sur la structure sera effective une fois l'assurance d'une bonne stabilité en crue. Si ces tests sont concluants le vélocimètre sera installé au printemps.

Parallèlement au test de stabilité de la structure à poste fixe, seront réalisées entre mars et mai 2015, des mesures ponctuelles de profils de vitesse avec l'UB Flow. Ces mesures s'effectueront à débits donnés, en différents points du cours d'eau. L'objectif sera d'établir l'évolution des profils (et des contraintes mécaniques sur le fond) en fonction du rapport rugosité du fond/ hauteur de la lame d'eau.

2.1.2 - Paramètres mesurés

2.1.2.1 - Mesures en continu

❖ Débit

La hauteur d'eau est mesurée en continu (mesure toutes les 6 min) via un capteur de pression, la présence d'une échelle limnimétrique installée par la DREAL, permet de contrôler visuellement ce niveau. La DREAL mesure également le niveau d'eau via un capteur de pression. Nous avons décidé de doubler cette mesure pour plus d'autonomie et de souplesse dans nos suivis.

Le débit de la Sélune est ensuite reconstitué à partir de la courbe de tarage réalisée par la DREAL au Pont de Signy (Figure 9). La courbe de tarage a été obtenue après plusieurs mesures de débits instantanés sur une même section et pour différents régimes hydrologiques. On parle de jaugeage. Les jaugeages ont été réalisés au pont de Signy par ADCP, cette technique acoustique déterminant le débit par exploration du champ de vitesse dans toute la section.

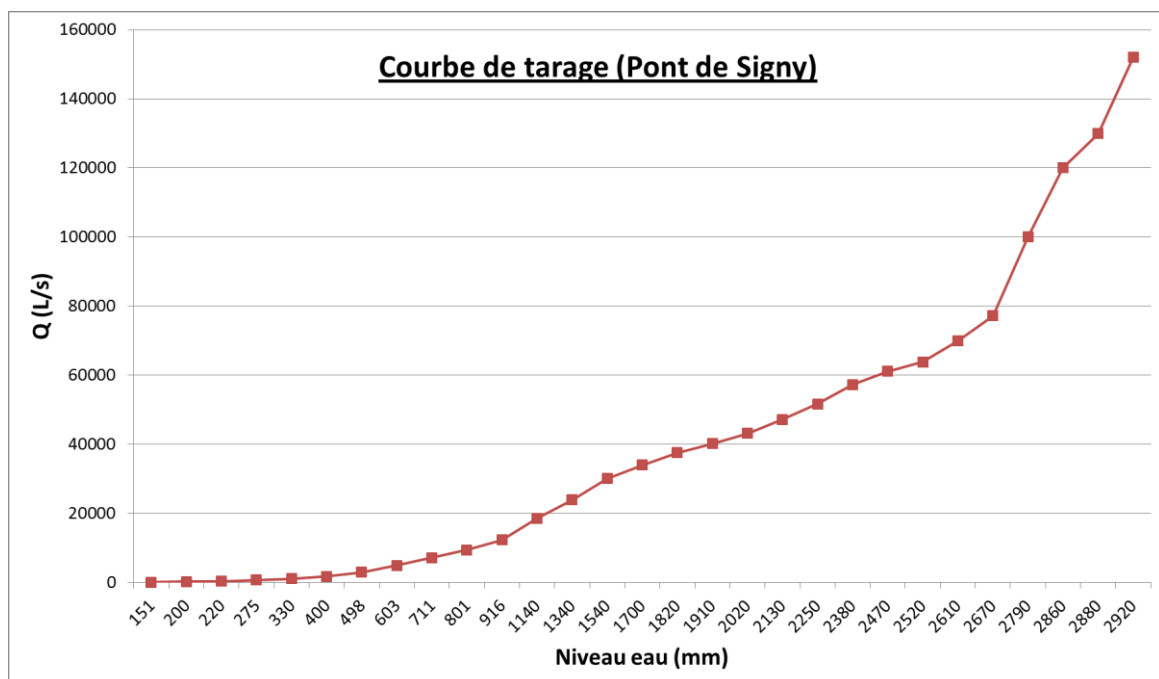


Figure 9 : Courbe de tarage Débit-Niveau d'eau au Pont de Signy (DREAL Basse-Normandie)

❖ Turbidité

La turbidité est mesurée en continu (mesure toutes les 6 min) grâce à un turbidimètre. 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 mesure des concentrations en matières en suspension (MES) repose sur l'hypothèse d'une corrélation entre la turbidité et la charge solide transportée par un cours d'eau.

Pour établir cette corrélation, des mesures de concentration en MES sont effectuées 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. La relation d'étalonnage du turbidimètre est établie statistiquement à partir de ces concentrations de MES et du signal de turbidité enregistré au même moment.

❖ Conductivité électrique

A partir de janvier 2015, la conductivité sera mesurée en continu (mesure toutes les 6 min) grâce à un conductimètre. La conductivité électrique est liée à la concentration totale des ions dans l'eau. L'installation d'une sonde en continu, au niveau du pont de Signy, nous permettra d'avoir une appréciation des flux dissous, dans le but de cibler efficacement nos campagnes d'échantillonnage (cf. ci-dessous ; Echantillonnage ponctuel).

2.1.2.2 - Echantillonnage ponctuel

Le suivi et la quantification des flux sédimentaires et chimiques nécessitent des prélèvements réguliers d'échantillons d'eau de la Sélune, pour l'ensemble des conditions hydrologiques.

Un prélèvement manuel systématique est réalisé, tous les 10 jours en moyenne, lors d'une visite in situ. Une grande partie de ces prélèvements correspondent à des périodes hors crue.

Généralement, la majorité des flux hydriques, sédimentaires et chimiques transitent lors des crues. Pour l'échantillonnage en crue, un préleveur automatique asservi au niveau d'eau a été installé. Le préleveur se déclenche automatiquement (via une information transmise par la centrale d'acquisition) si le seuil de niveau d'eau fixé par l'utilisateur est dépassé. Ce seuil est réajusté régulièrement lors des visites in situ ou à distance depuis Rennes (via le modem) en fonction des conditions hydrologiques hors crue. Il prélève alors 24 échantillons avec un pas de temps défini par l'utilisateur. Sur les 24 échantillons, 8 échantillons couvrant l'ensemble des variations de débit au cours de la crue, sont conservés.

Au total, on prélève donc entre 3 et 4 échantillons manuels systématiques par mois, et 8 échantillons par crue pour une moyenne de 2 crues par mois. On obtient donc environ 250 échantillons analysés au cours d'une année.

Les échantillons sont analysés au laboratoire analytique de l'UMR SAS selon les normes en vigueur pour les différents paramètres. Trois aliquotes sont réalisées et traitées différemment (Figure 10):

Chaque échantillon est filtré à 0,45 μm , sur un filtre en nitrate de cellulose, pour les analyses de la phase dissoute et la mesure des concentrations en MES (résidu sur le filtre). Pour chaque échantillon une aliquote est dédiée spécifiquement à l'analyse du phosphore total (P_{total} avant filtration) et du phosphore dissous (PO_4 , après filtration). Le phosphore particulaire est obtenu par soustraction entre P_{total} et PO_4 . Pour l'analyse de C et N dans la phase particulaire, on utilise un filtre en fibre de verre inorganique d'une porosité de 1.2 μm . Le filtre est ensuite passé à l'analyseur élémentaire pour déterminer le pourcentage de C et N.

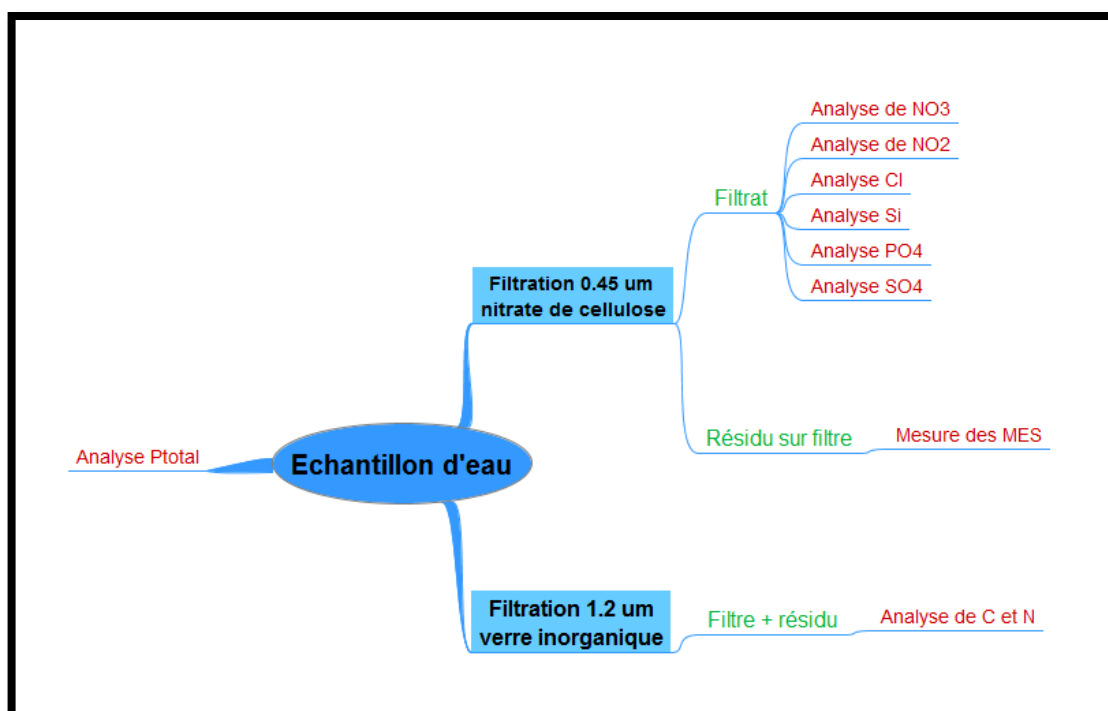


Figure 10 : aliquotes pour chaque échantillon prélevé

❖ Analyses de la phase dissoute

Tableau 1 : Phase dissoute : paramètres et méthodes d'analyse

Paramètre suivi	Méthode d'analyse
Orthophosphate (PO ₄)	Colorimétrie
Nitrate (NO ₃)	Chromatographie ionique
Nitrite (NO ₂)	Chromatographie ionique
Sulfate (SO ₄)	Chromatographie ionique
Chlorure (Cl)	Chromatographie ionique
Silice (Si)	Colorimétrie

❖ Analyses de la phase particulaire

Tableau 2 : Phase particulaire: paramètres et méthodes d'analyse

Paramètre suivi	Méthode d'analyse
Phosphore (P)	Ptot (colorimétrie) - PO ₄
Carbone (C)	Analyseur élémentaire
Azote (N)	Analyseur élémentaire

2.2 - Résultats

Nous présentons ici les premiers résultats sur les flux concernant l'état initial et dont le suivi a débuté en avril 2014. La période couverte, entre avril et décembre 2014, ne représente pas une année hydrologique complète. En particulier les mois d'hiver ne sont pas représentés.

Remarque : Il est important de noter que dans ce rapport, le mot CRUE est employé au sens hydrologique du terme. Une CRUE, est une augmentation plus ou moins importante du débit (et par conséquent de la hauteur d'un cours d'eau) suite à des précipitations. Il ne renvoie donc pas forcément à un phénomène de forte intensité pouvant entraîner des inondations.

2.2.1 - Flux hydriques

- **Contexte hydrologique général : Station DREAL du Pont de Signy**

Le contexte hydrologique global du bassin versant de la Sélune est renseigné dans le rapport « Démantèlement des barrages de Vezins et de la Roche Qui Boit sur la Sélune : Etat initial de l'étude d'impact » réalisé par le bureau d'étude Artélia en 2012. Dans le présent rapport, nous nous limitons au bassin versant dont l'exutoire se situe au niveau du Pont de Signy, où est installée notre station multi paramètres.

Le contexte hydrologique est décrit à partir des données sur la période 1990-2014, enregistrées par la station hydrométrique de la DREAL, également installée au Pont de Signy. Ces données sont disponibles en ligne sur la Banque Hydro.

Sur la période 1990-2014 le flux hydrique spécifique annuel de la Sélune au Pont de Signy est en moyenne de $379 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{km}^2$, soit une lame d'eau écoulée de 379 mm pour une pluviométrie moyenne de 921 mm.

Ce flux est maximum lors des mois d'hiver (décembre à mars) et minimum en été (août-septembre) (Tableau 3).

Le débit journalier est inférieur à 46 m³/s pendant 99% du temps, avec une médiane autour de 5 m³/s (Tableau 4).

Tableau 3 : Débits mensuels moyens au Pont de Signy (période 1990-2014, données Banque Hydro) En août et décembre 2014 le débit mensuel n'est pas renseigné sur la banque Hydro, les données en italiques correspondent aux mesures de notre station INRA sur le même site.

	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	dec.
Débits mensuels moyennés sur 25 ans (m³/s)	18.60	16.80	13.50	9.48	7.35	5.75	4.46	3.19	3.30	5.01	9.23	14.50
Débits 2014	30.20	41.60	23.35	10.29	9.25	5.63	4.35	<i>7,65</i>	3.85	4.63	5.96	<i>12,81</i>

Tableau 4 : Débits journaliers classés en fonction de leur fréquence au Pont de Signy (période 1990-2014, données Banque Hydro)

Fréquence	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
Débit (m³/s)	46.30	40.20	30.50	21.20	13.70	9.29	7.20	5.33	4.25	3.39	2.69	2.12	1.75	1.32	1.08

Tableau 5 : Débits caractéristiques mesurés au Pont de Signy (période 1990-2014, données de la banque Hydro)

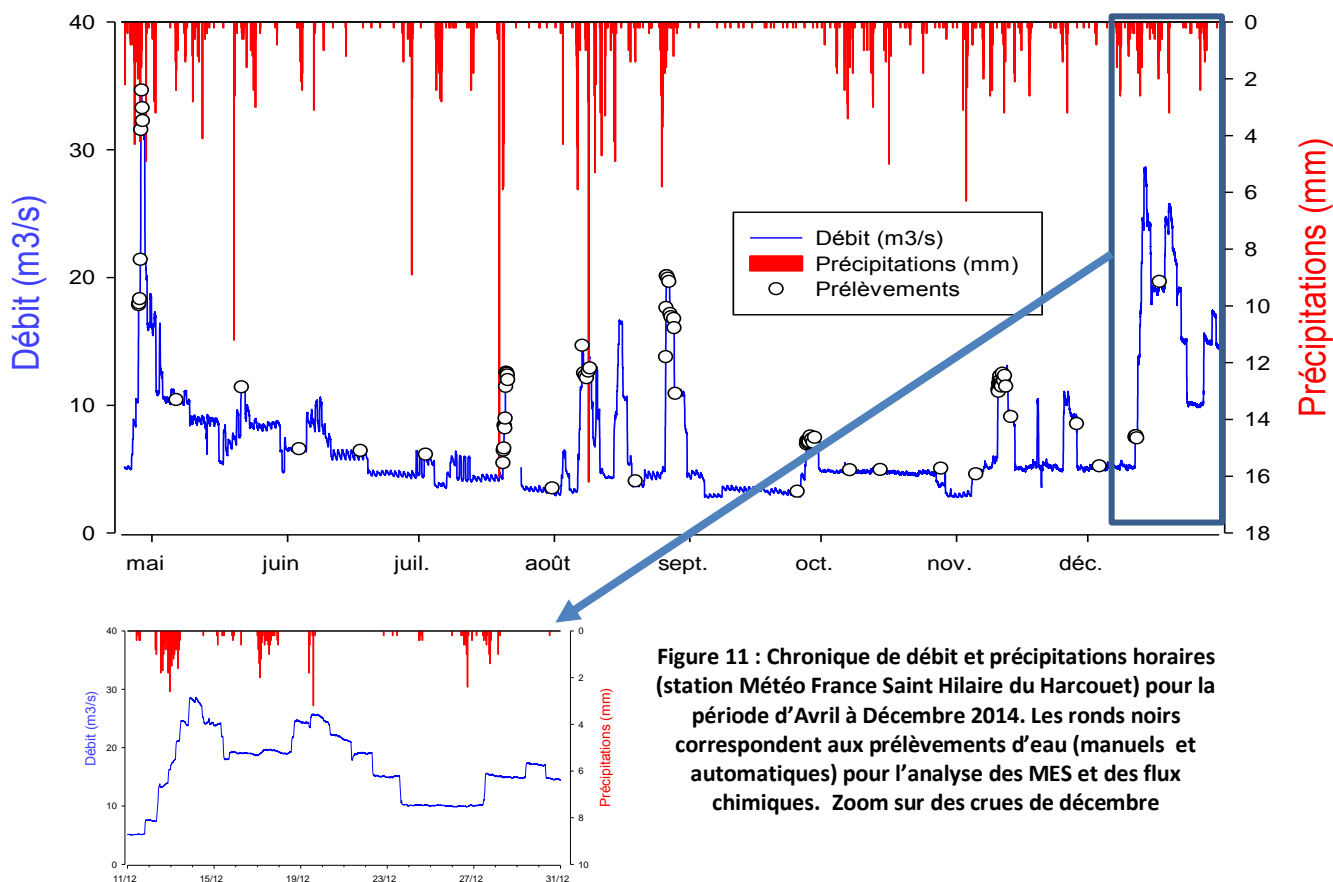
Type de Débit		Q (m ³ /s)
Module		9.22 [7.87;10.60]***
Médian		9.30 [7.50;12.00]
Etiage	QMNA5*	1.80 [1.50;2.10]
	Qmoy mensuel minimal	3.19 (Août)
Crue	Q2** (biennale)	47 [41;54]
	Q5 (quinquennale)	67 [59;82]
	Q10 (décennale)	81 [71;100]
	Q20 (vicennale)	94 [81;120]
	Qmax journalier	113 (le 25/03/2001)
	Qmax instantané	122 (valeur estimée le 25/03/2001) 92.5 (mesure validée le 26/01/1995)

* QMNA5 : Il s'agit du débit mensuel quinquennal sec, minimum se produisant en moyenne une fois tous les cinq ans

**Qi correspond au plus fort débit journalier enregistré pour une crue de retour tous les i ans

*** Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé a 95% de chance de se trouver. L'intervalle de confiance dépend du nombre d'années disponibles, de leur homogénéité, de la méthode utilisée.

- **Chronique des débits et précipitations pour la période d'étude (fin avril à décembre 2014) et quantification des flux hydriques**



Sur la période concernée par notre suivi, le flux hydrique spécifique total est de $196 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{km}^2$, ce qui est élevé comparé au flux hydrique moyen annuel de $379 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (1990-2014). La période considérée, du 24 avril au 31 décembre, n'intègre pas les premiers mois de l'année pendant laquelle environ la moitié du flux hydrique annuel s'écoule (Tableau 3, 44% du flux annuel passe au cours du premier trimestre). L'année 2014 a été de plus particulièrement humide (1005 mm dont 666 mm pour la période étudiée), et en particulier le débit moyen mensuel a été nettement plus élevé au cours du premier trimestre 2014 que sur la période 1990-2014.

Sur la période de suivi, une quinzaine de crues significatives ont été enregistrées, avec un débit maximum instantané de $35 \text{ m}^3/\text{s}$ (le 28/04/2014) et un débit maximum journalier de $28 \text{ m}^3/\text{s}$ (le 28/04/2014). Ce débit maximum journalier correspond à une fréquence d'occurrence comprise entre 5 et 10 % du temps (Tableau 4).

L'étude détaillée de la chronique des débits (Figure 11) montre que l'évolution du débit ne présente pas des patterns tout à fait classiques : hors crue, certains événements de pluie ne s'accompagnent pas d'une augmentation de débit ; lors des crues, les débits de pointe sont légèrement écrêtés et la décrue se fait par paliers. La gestion hydraulique des barrages a donc un impact sur le débit à l'aval, en interceptant une partie des flux hydriques pour le remplissage des réservoirs et en amortissant les pics des débits. Cet amortissement ne se produit cependant que pour des crues d'intensité modérée, les barrages devenant « transparents » pour les fortes crues pour des questions de sécurité liées à la résistance des ouvrages face à des flux hydriques trop importants. Comme signalé ci-dessus il n'y a pas eu de fortes crues pendant la période concernée par notre suivi.

2.2.2 - Flux sédimentaires

- **Chronique de turbidité pour la période d'étude (fin avril à décembre 2014)**

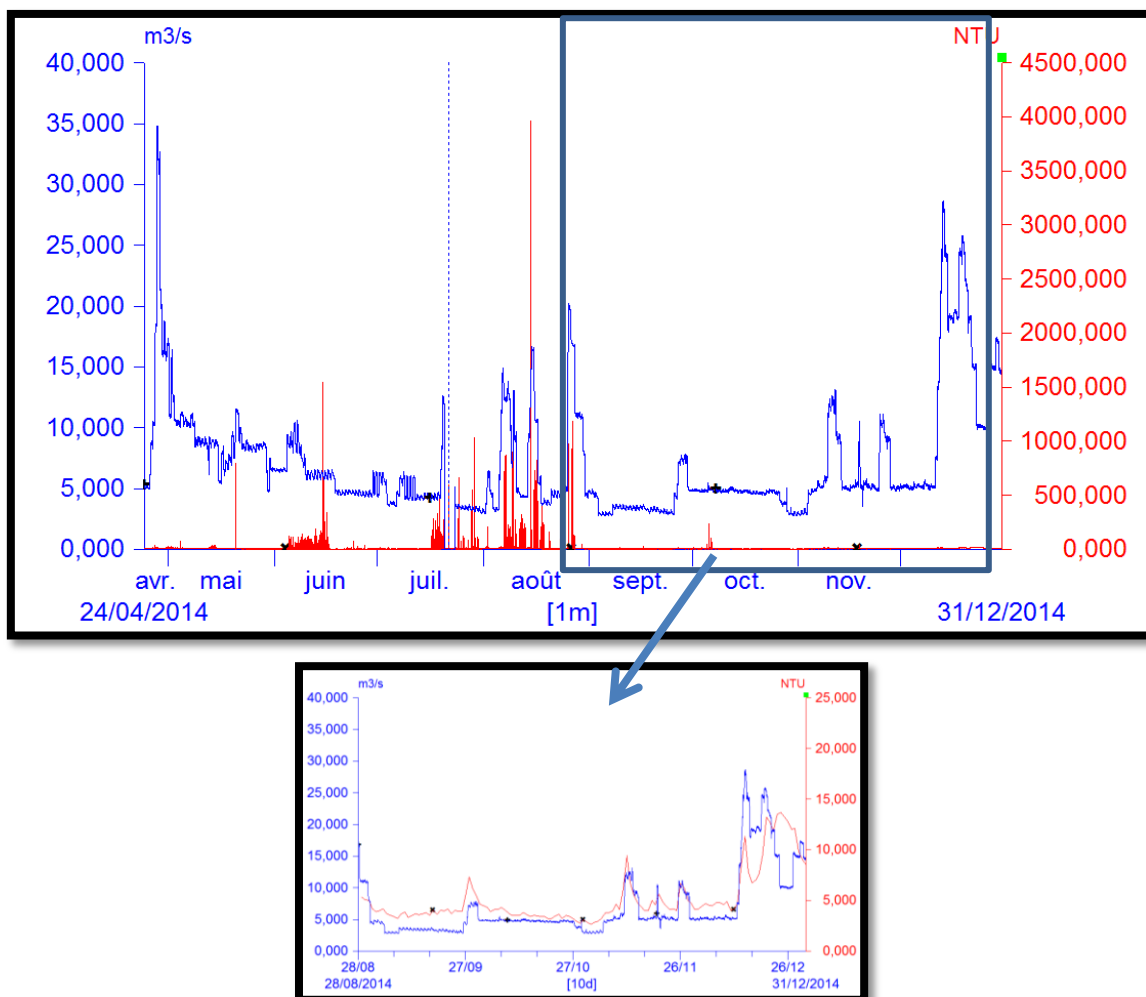


Figure 12 : Chronique d'évolution de la turbidité en NTU (rouge) et du débit en m3/s (bleu) ;
Zoom sur la période sans renoncules

De fin mai à août, la chronique de turbidité montre de fortes variations du signal, qui semblent d'une part relativement indépendantes des variations du débit, et d'autre part ne sont pas associées à de fortes concentrations de MES, mesurées par ailleurs à partir des prélèvements manuels. Ces fortes turbidités sont dues à la présence de renoncules (plantes aquatiques) qui se développent en période estivale sur la Sélune. Les renoncules sont régulièrement arrachées, notamment pendant les crues, puis s'accumulent sur l'armature portant la sonde de turbidité. Leur passage devant le capteur entraîne ces fortes augmentations de la turbidité. Le reste de l'année, hors présence des renoncules, le signal est de bonne qualité et les augmentations de turbidité correspondent aux augmentations du débit (Figure 12).

Nous n'avons pas trouvé de solution efficace pour éliminer ces renoncules qui reviennent s'accumuler quasi immédiatement après le nettoyage de la sonde et de son armature, lors de notre visite sur le terrain (tous les 10 jours). La solution actuellement envisagée est de resserrer la fréquence des prélèvements manuels à la période de présence des renoncules et d'utiliser les mesures de MES réalisées sur ces prélèvements. Le reste de l'année, où par ailleurs les flux sédimentaires sont les plus importants, c'est le signal de turbidité qui sera utilisé.

- **Chronique des concentrations en MES pour la période d'étude (fin avril à décembre 2014)**

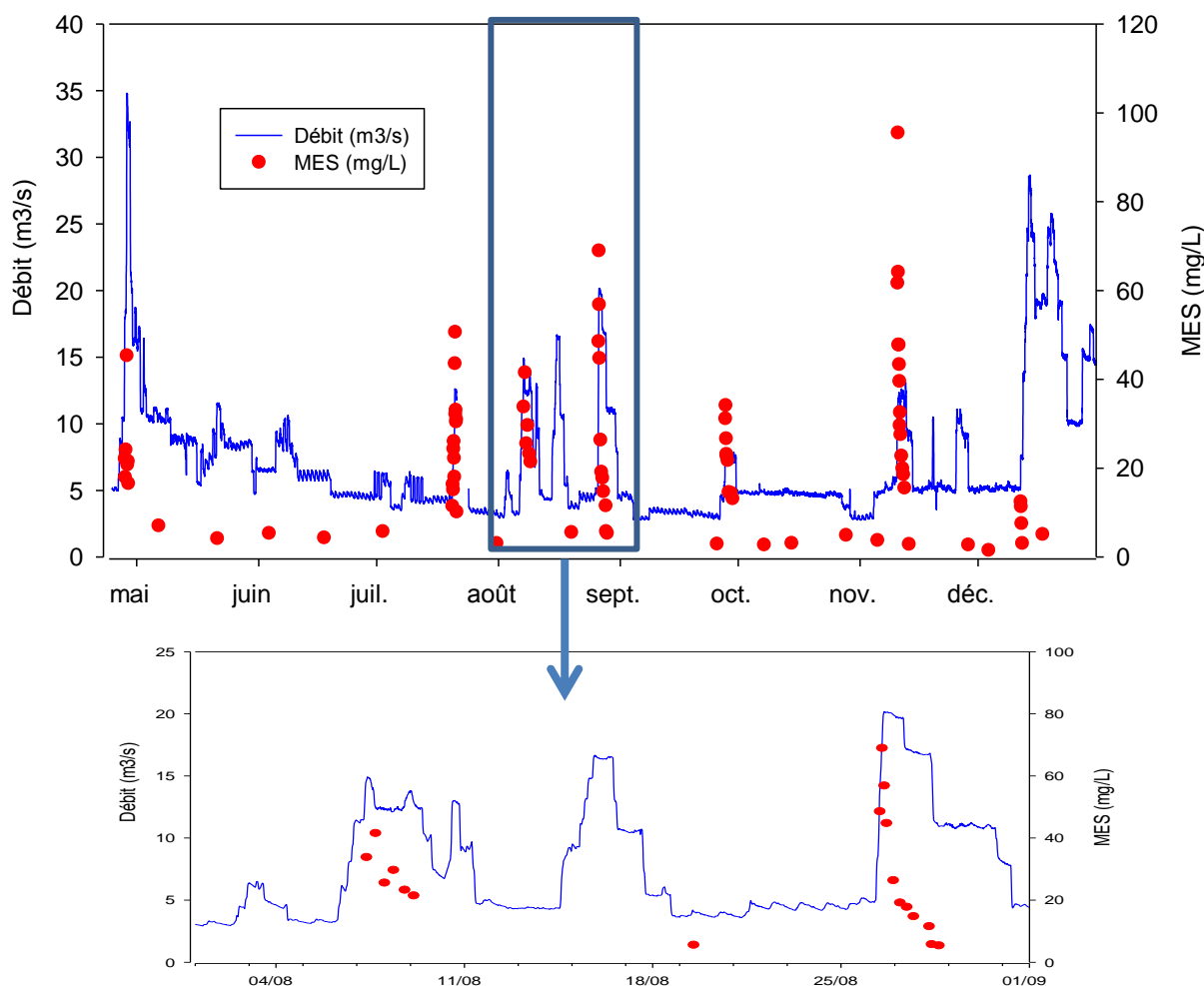


Figure 13 : Evolution de la concentration des MES en fonction du débit ; Zoom sur deux crues suivies

Sur la période concernée par notre suivi, 84 échantillons ont été filtrés, dont une quinzaine hors crue, pour déterminer les concentrations en MES.

Les concentrations observées sont extrêmement faibles, en particulier hors crue (quelques mg/L, en moyenne 4,3 mg/L), elles augmentent rapidement avec le débit lors des crues (jusqu'à 96 mg/L en novembre 2014). Même si l'on observe une augmentation des concentrations des MES en crue, globalement celles-ci sont très faibles : les concentrations en crue correspondent aux concentrations hors crue mesurées sur le Moulinet (ruisseau du bassin versant de la Sélune). Par ailleurs lors des crues, alors même que le débit continue à être élevé, les concentrations de MES diminuent rapidement (Figure 13), ce qui traduit une diminution rapide de leur disponibilité.

Toutes ces observations montrent que les barrages jouent bien un rôle des pièges à sédiments et que les MES mesurées au Pont de Signy correspondent essentiellement aux MES issues du tronçon (sédiments et érosion du lit de la rivière, abreuvoirs, érosion des berges et des parcelles riveraines) de 4 km entre le barrage de la Roche Qui Boit et le Pont de Signy. Le stock de MES disponibles sur ce court tronçon est donc faible et rapidement épuisé au cours des crues.

- **Quantification des flux de MES pour la période d'étude (fin avril à décembre 2014)**

Le calcul des flux sédimentaires peut être classiquement réalisé de deux manières :

1. Une relation statistique d'étalonnage est établie entre la turbidité et la concentration de MES, pour disposer d'une chronique haute fréquence de ces concentrations. Le flux de MES est calculé en intégrant cette chronique dans le temps.
2. Une relation statistique est établie entre la concentration de MES et le débit (Moatar et al, 2013). Le flux de MES est calculé à partir de la chronique haute fréquence du débit, multiplié par les concentrations de MES obtenues à l'aide de la relation statistique et intégrées dans le temps.

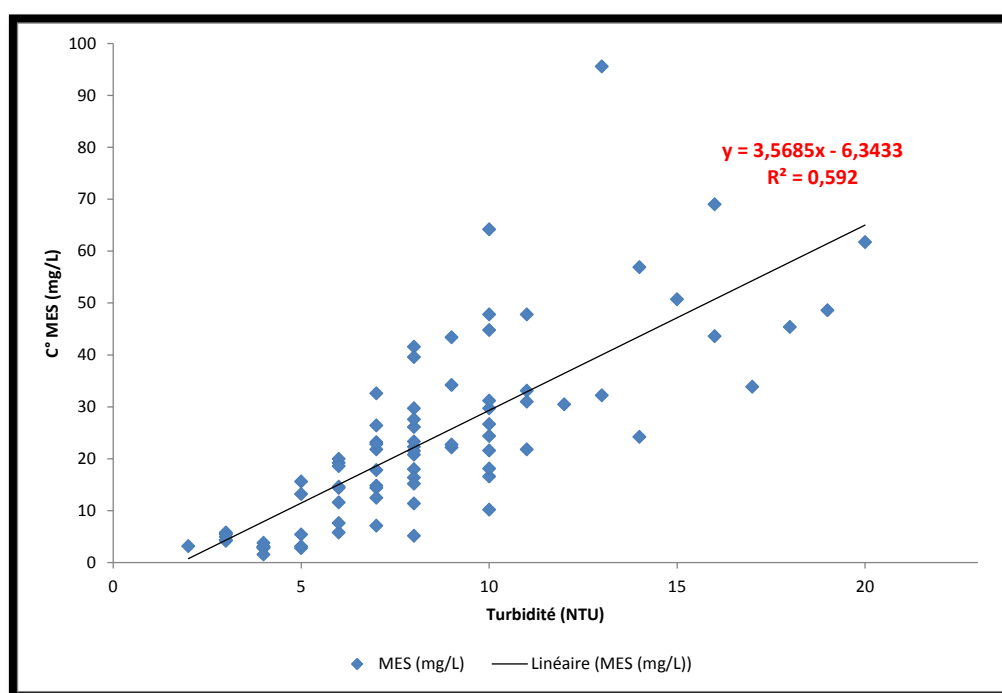


Figure 14 : Relation entre la turbidité et la concentration en MES

La relation d'étalonnage entre la concentration en MES et la turbidité est actuellement établie avec 84 échantillons (Figure 14). On observe une forte variabilité de cette relation d'étalonnage, qui s'explique notamment (Vongvixay, 2012) par la réponse du turbidimètre à d'autres facteurs que la concentration en MES : la couleur de l'eau, la couleur des MES et surtout de leur taille granulométrique (Gippel, 1989). En particulier le turbidimètre est très sensible à la taille des particules les plus fines qui représentent ici la grande majorité des MES, les plus grossières s'accumulant préférentiellement dans les réservoirs des barrages. S'ajoute ici pour l'utilisation de cette première méthode de calcul des flux la forte perturbation du signal de turbidité pendant la période estivale, due aux renoncules. La solution envisagée pour la suite du programme, comme mentionné plus haut, est de traiter séparément la période avec renoncules, en réservant cette première méthode au reste de l'année.

Pour la période de suivi correspondant à l'état initial avant arasement des barrages, il n'existe pas de relation statistique satisfaisante entre la concentration de MES et le débit (Figure 15). L'épuisement rapide des MES au cours des crues entraîne des hystérèses de forte amplitude pour cette relation et les concentrations dépendent plus de la disponibilité des particules que du débit censé contrôler leur transport.

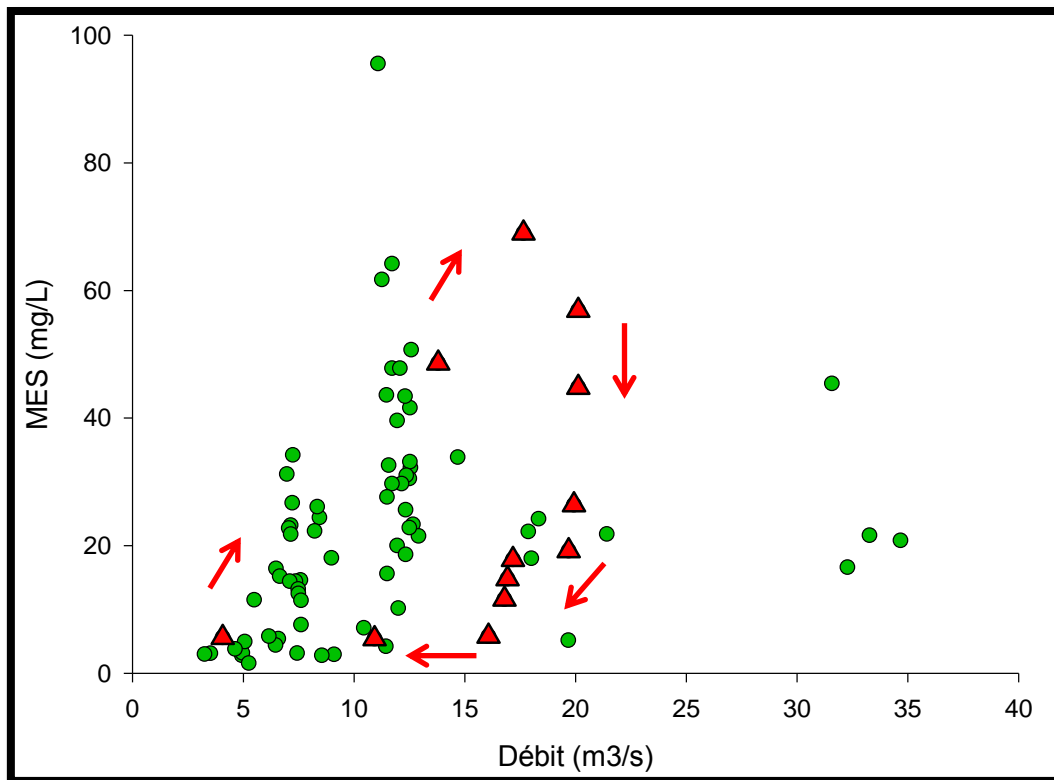


Figure 15 : Relation entre la concentration en MES (prélèvements manuels) et le débit. L'hystérésis de cette relation au cours des crues est mise en évidence pour la crue du 26/08 (triangles rouges)

Le flux total de MES ayant transité pendant la période d'étude n'a donc pu être établi précisément avec aucune des deux méthodes présentées ci-dessus. Nous avons choisi de traiter séparément deux périodes :

1. Du 24/04 au 28/08 : On obtient le flux sédimentaire en multipliant la concentration moyenne en MES par le flux hydrique spécifique sur cette même période. Le calcul de la concentration moyenne en MES à partir de tous les échantillons prélevés comporterait un biais en donnant un poids trop important aux périodes de crues où les concentrations sont plus souvent mesurées. Pour éviter ce biais, on utilise d'une part, une concentration moyenne hors crue (4,3 mg/L) multipliée par le flux spécifique hors crue, et d'autre part, une concentration moyenne en crue (28,9 mg/L) multipliée par le flux spécifique en crue. On obtient un flux sédimentaire total pour cette première période de 1,1 t/km²
2. Du 28/08 au 31/12 : Cette période correspond à l'absence des renoncules (Figure 12) avec un signal de turbidité non perturbé. Pour quantifier le flux sédimentaire, nous pouvons déduire les concentrations de MES à partir de la mesure haute fréquence de la turbidité en utilisant la relation (Figure 14) :

$$\text{MES (mg/L)} = 3,5685 \times \text{Turb (NTU)} - 6,3433.$$

On obtient un flux sédimentaire total pour cette deuxième période de 1,7 t/km².

Le flux sédimentaire entre fin avril et décembre 2014 représente donc environ 2,8 t/km² au Pont de Signy sur la Sélune. Ce flux est faible en raison de la présence des barrages. Par comparaison Vongvixay (2012) a mesuré un flux annuel autour de 10 t/km² sur l'Oir, un affluent de la Sélune à l'aval des barrages, et un flux annuel atteignant 60 t/km² sur le ruisseau du Moulinet, un petit affluent de l'Oir. Dans la revue bibliographique de Vanmaercke et al. (2011) qui concerne 282 bassins soumis aux conditions atlantiques de l'Europe de l'Ouest et de superficie très variée, les flux spécifiques annuels de MES sont en moyenne de 100 t/km² (médiane 28 t/km²).

2.2.3 - Flux chimiques

2.2.3.1 - Flux particulaires

- **Chronique des concentrations de phosphore, carbone et azote particulaires pour la période d'étude (fin avril à décembre 2014)**

- Phosphore particulaire

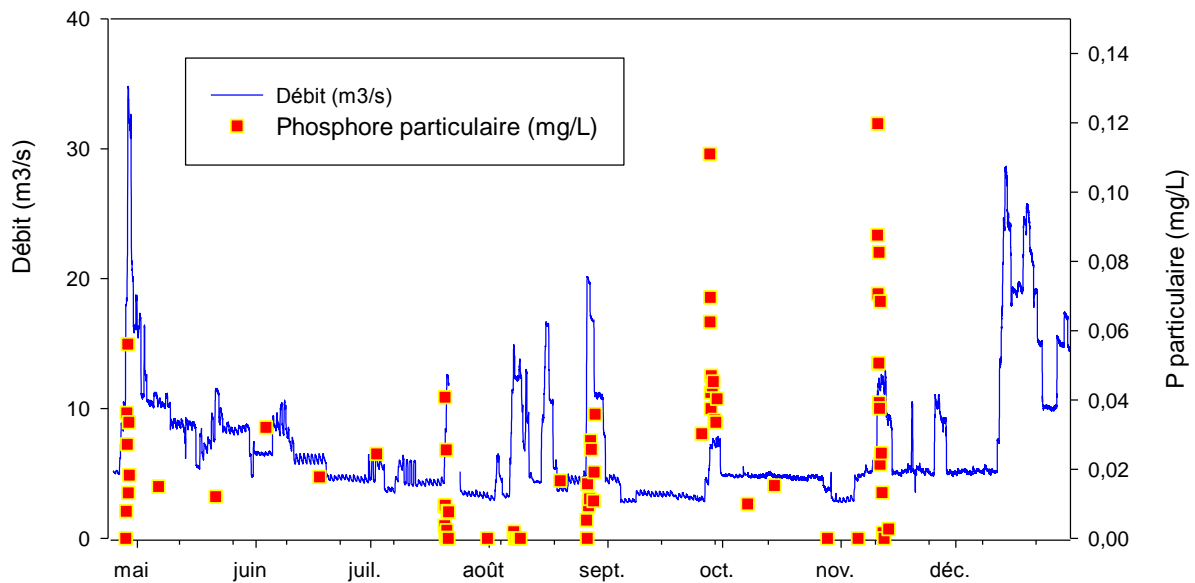


Figure 16 : Chronique de la concentration en phosphore particulaire et du débit

Les concentrations en phosphore particulaire varient faiblement en période hors crue et plus largement au cours des crues. On n'observe pas de relation avec le débit (Figure 17). Leur évolution est en partie liée à celle des concentrations en MES mais pas strictement (Figure 17). C'est en été (mi-juin à fin août, points blancs) que la teneur en phosphore des particules (rapport de la concentration en Ppart / concentration en MES) semble la plus faible et la plus variable, alors qu'en dehors de cette période (points noirs) la teneur en phosphore des MES est plus élevée et varie relativement peu.

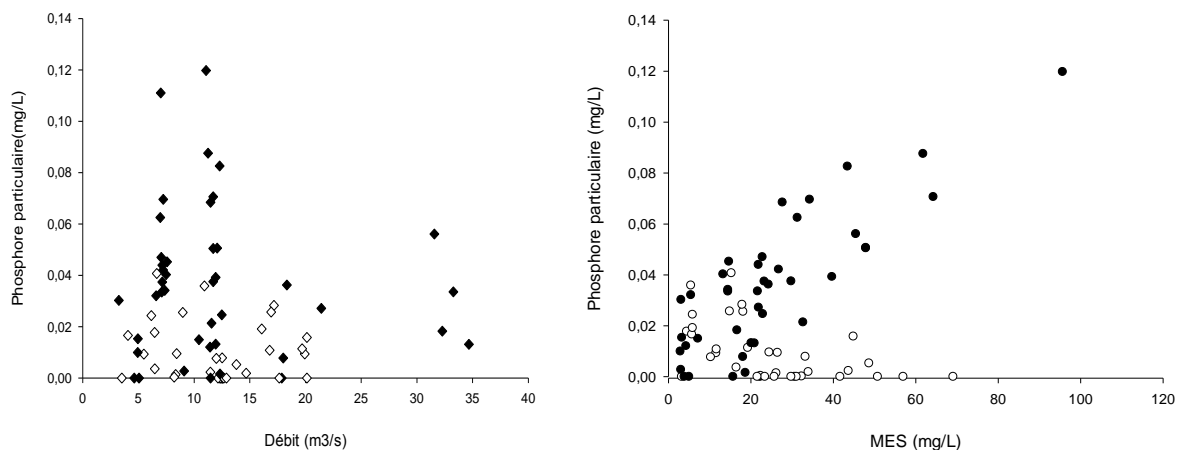


Figure 17 : Relation entre les concentrations en phosphore particulaire et le débit (à gauche), et les concentrations en MES (à droite) suivant les saisons, en blanc : Période estivale (mi juin à fin août) et en noir : hors période estivale

- Carbone et azote particulaires

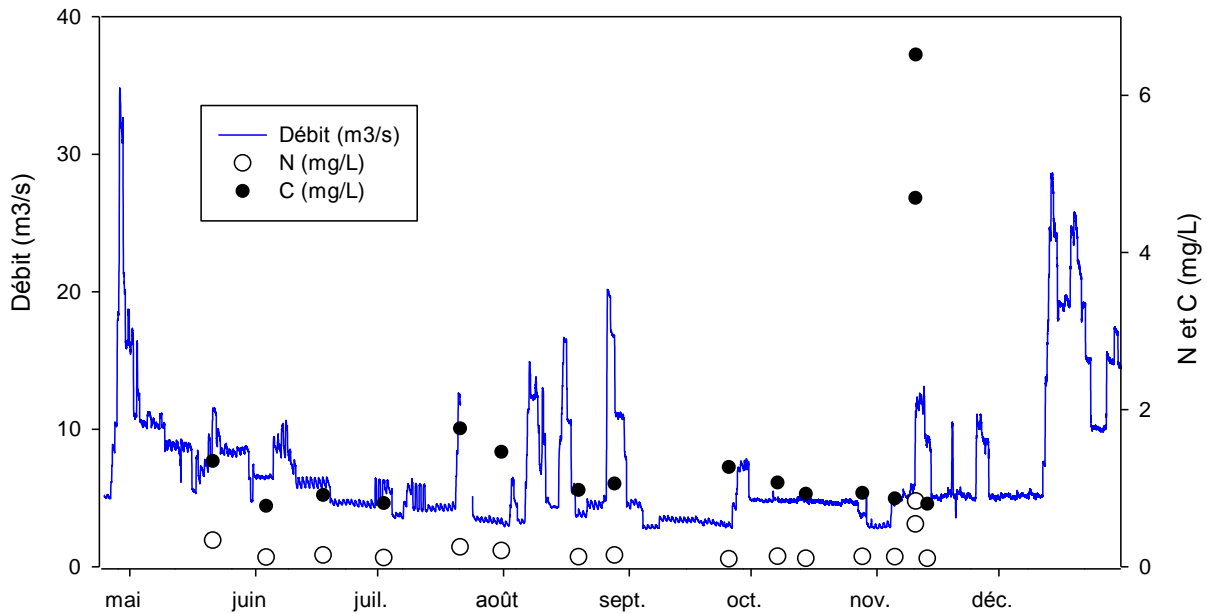


Figure 18 : Chronique de la concentration en carbone et azote particulaires et du débit

Les concentrations en carbone et azote particulaires varient peu au cours de la période d'étude, elles sont toutes associées à des prélèvements hors crue. Les concentrations augmentent par contre nettement pour deux échantillons prélevés lors d'une crue de novembre. Par la suite nous augmenterons l'échantillonnage au cours des crues.

Le rapport C/N est souvent utilisé pour déterminer l'origine de la matière organique (Hedges et al., 1997 ; Balakrishna et Probst, 2005 ; Bohlin et al., 2006). En effet, des valeurs de C/N élevées (C/N > 8) rendraient compte d'une origine terrigène dominante. Dans le cas contraire, elles rendraient compte soit d'une origine phytoplanctonique, soit d'un apport d'azote (microorganismes, fertilisants). Le rapport C/N moyen sur la Sélune est de 7,5 (Figure 19) et est relativement constant (ecart type de 1,0), le rapport augmente légèrement à partir d'Octobre. L'origine de la matière organique notamment en période estivale est donc essentiellement liée au phytoplancton sur la Sélune en aval des barrages.

La teneur en carbone des MES diminue très nettement (les particules sont de nature moins organique) lorsque le débit augmente (Figure 19), ce qui s'explique par la densité plus faible de la matière organique plus facilement transportée aux faibles débits. Aucun effet de la saison n'a pu être identifié sur la période d'étude.

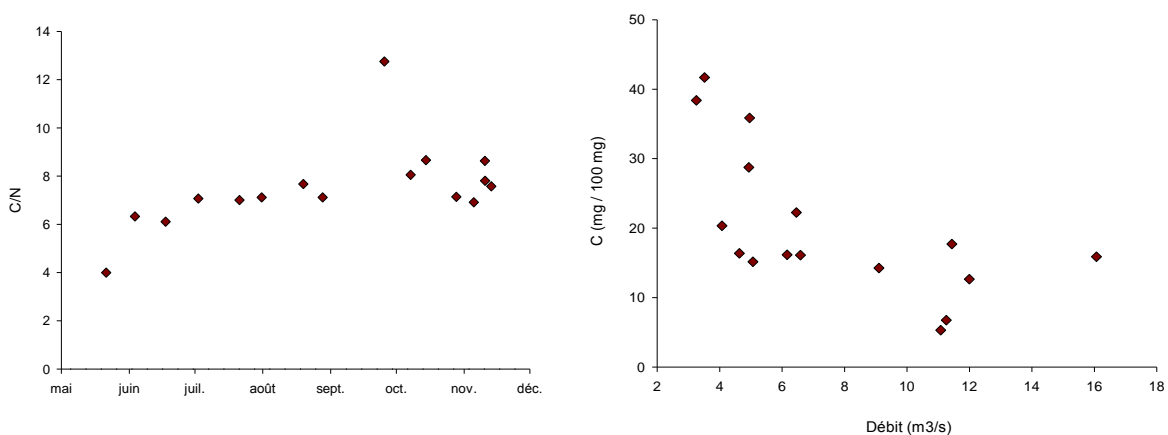


Figure 19 Evolution du rapport C/N au cours de l'année (gauche) et relation entre la teneur des MES en carbone (mg /100 mg) et le débit

2.2.3.2 - Flux dissous

Parmi les flux dissous suivis, quatre d'entre eux présentent un comportement similaire, fortement impacté par la présence des barrages : le nitrate, la silice, le chlorure et le sulfate. La dynamique du phosphore dissous est différente et sera donc traitée à part. L'ion nitrite est quasiment toujours absent.

- **Chronique des concentrations en nitrate, silice, chlorure, sulfate pour la période d'étude (fin avril à décembre 2014)**

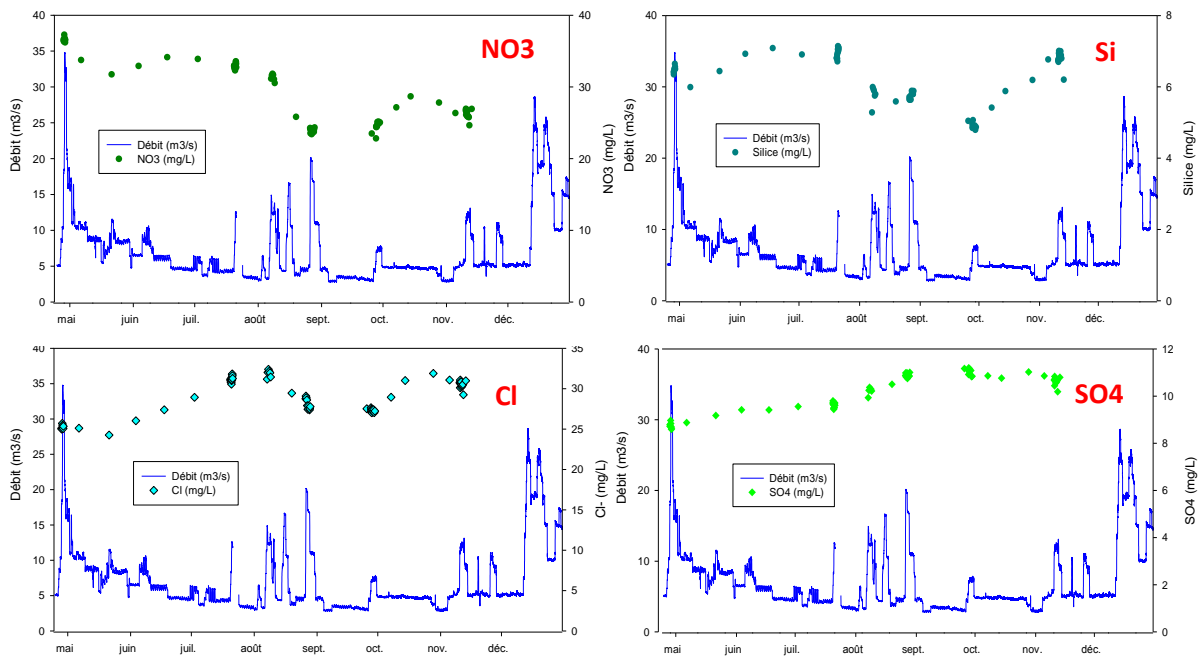


Figure 20 : Chronique des concentrations en nitrate, silice, chlorure, sulfate

Pour les quatre éléments (nitrate, silice, chlorure et sulfate), les concentrations mesurées sont du même ordre de grandeur que les concentrations mesurées par ailleurs sur d'autres bassins versants agricoles dans l'Ouest de la France, par exemple sur l'Oir un affluent de la Sélune en aval des barrages. Sur l'Oir et les petits ruisseaux qui l'alimentent, la concentration moyenne en nitrate est de 33 mg/L (écart-type de 8 mg/L) sur 3180 analyses entre janvier 2001 et août 2014 (données de l'ORE DiaPFC, U3E Rennes).

Les concentrations sont similaires en période de crue et hors crue, et ne varient quasiment pas au cours des crues (Figure 20). Autrement dit, on n'observe pas d'évolution des concentrations en fonction du débit (Figure 21). Cette absence de variation s'explique par la présence des barrages : les flux dissous entrant à l'amont des retenues se mélangent avec le volume d'eau important stocké dans les réservoirs des barrages, ce qui tamponne leurs concentrations quel que soit le débit sortant.

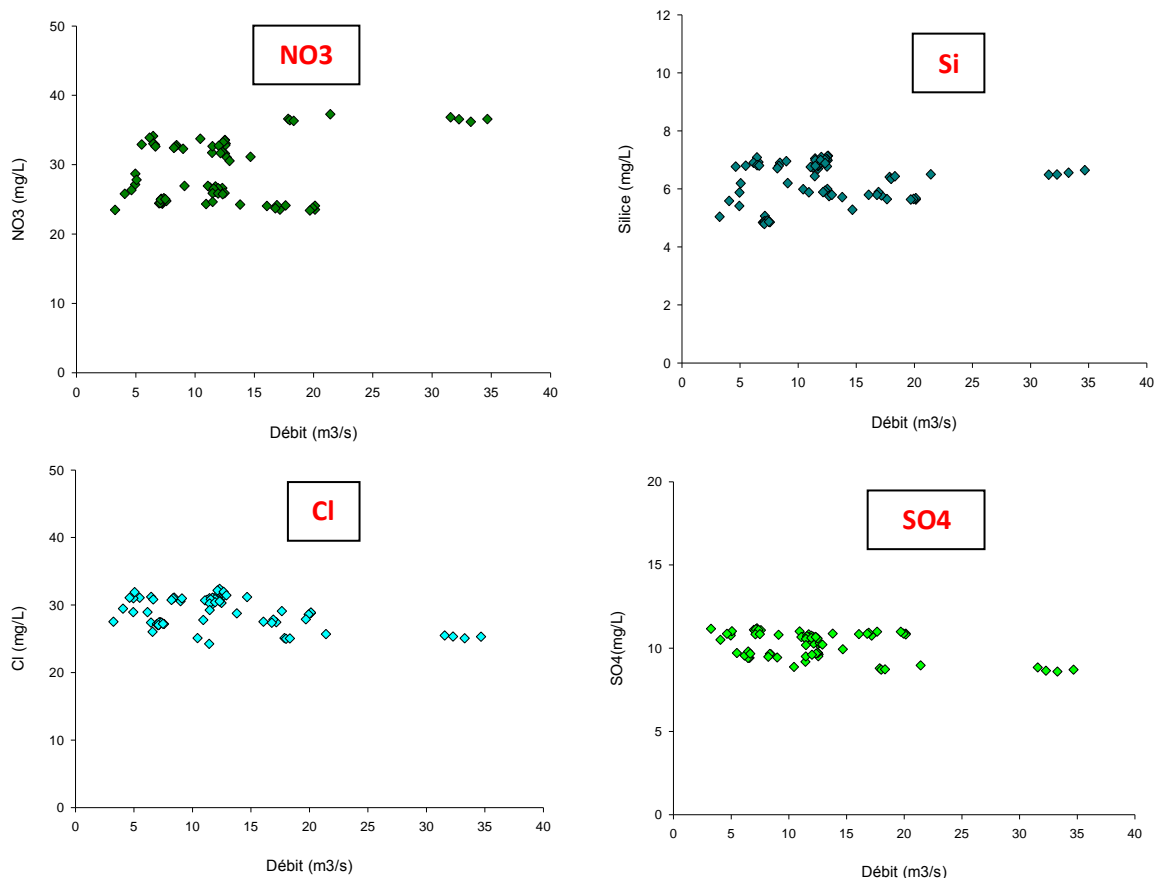


Figure 21 : Evolution des concentrations en nitrate, silice, chlorure, sulfate en fonction du débit

Pour ces quatre éléments (nitrate, silice, chlorure et sulfate), on observe une dynamique saisonnière dans l'évolution des concentrations (Figure 20), notamment une diminution à la fin de l'été des concentrations en nitrate, silice, chlorure et une légère augmentation des concentrations en sulfate.

Cette dynamique saisonnière peut être due à deux hypothèses non exclusives :

1. Au cours de l'année la composition chimique de l'eau des réservoirs évolue avec leur renouvellement progressif par les eaux entrant dans les réservoirs, qui ont drainé les bassins agricoles de l'amont. La dynamique saisonnière des différents flux à l'amont des retenues se manifeste à l'aval, plus ou moins amortie et décalée dans le temps. De manière assez classique dans les rivières de l'Ouest de la France, les concentrations en nitrate diminuent à la fin de l'été et à l'automne, tandis que les concentrations en sulfate augmentent (Grimaldi et al. 2004 ; Aubert et al., 2013), ce qui est en accord avec leur évolution en aval des barrages. Par contre dans les rivières les concentrations en chlorure et silice diminuent en hiver et ont tendance à augmenter en été.
2. Il est possible aussi que des consommations biologiques interviennent dans les retenues. La diminution des concentrations en nitrate peut être liée à la dénitrification et/ou à la consommation par le phytoplancton, et partiellement par les plantes aquatiques (particulièrement les renoncules) sur le cours de la Sélune. La diminution des concentrations en silice peut être liée à sa consommation par les diatomées.

L'étude de ces deux types d'hypothèses sera approfondie par comparaison avec les données concernant les flux dissous entrant, mesurés à la station EDF située à l'amont des barrages.

- **Chronique des concentrations en phosphore dissous pour la période d'étude (fin avril à décembre 2014)**

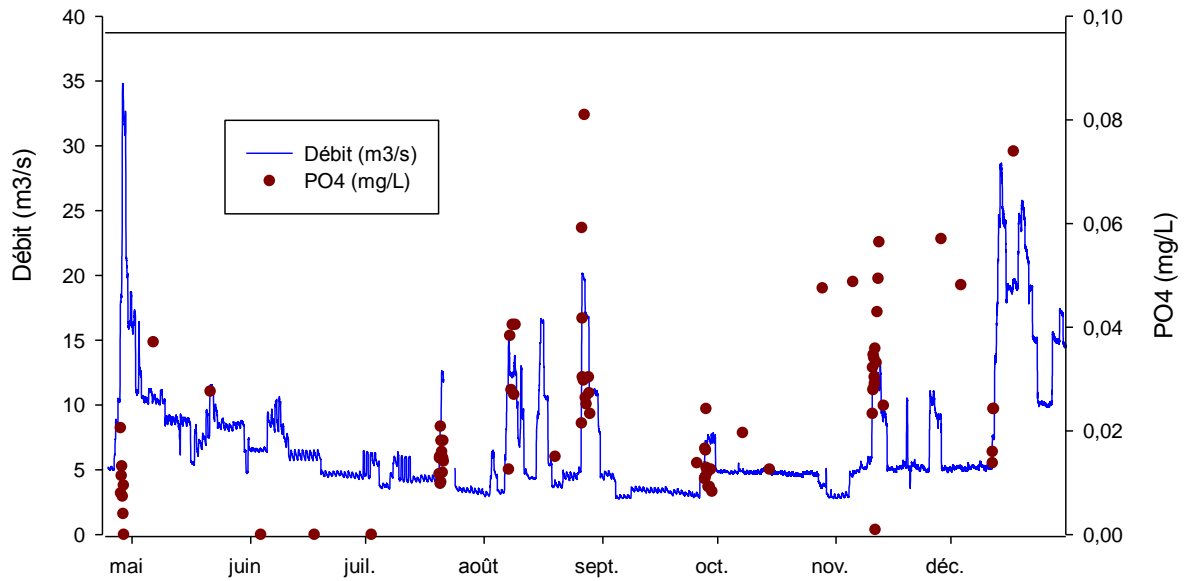


Figure 22 : Chronique des concentrations en phosphate et du débit

La concentration en phosphore dissous est faible en période hors crue (quasiment tout le temps inférieure à la limite de quantification égale à 0,028 mg/L et même parfois à la limite de détection égale à 0,003 mg/L) et augmente en variant fortement au cours des crues. Les concentrations restent faibles (concentration moyenne de 0,024 mg/L, écart type 0,013), par comparaison avec d'autres bassins versants agricoles dans l'ouest de la France. Sur Le Moulinet, un ruisseau du bassin versant de la Sélune, suivi par l'UMR SAS, la concentration moyenne hors crue est de 0,031 mg/L (et aussi très variable, écart type de 0,089, calcul à partir de 348 analyses entre octobre 2007 et juin 2014), sur Naizin (petit bassin versant très agricole (5 km²), suivi par l'UMR SAS, la concentration moyenne hors crue est de 0,055 mg/L (écart type de 0,061, à partir de 324 analyses entre octobre 2007 et janvier 2014).

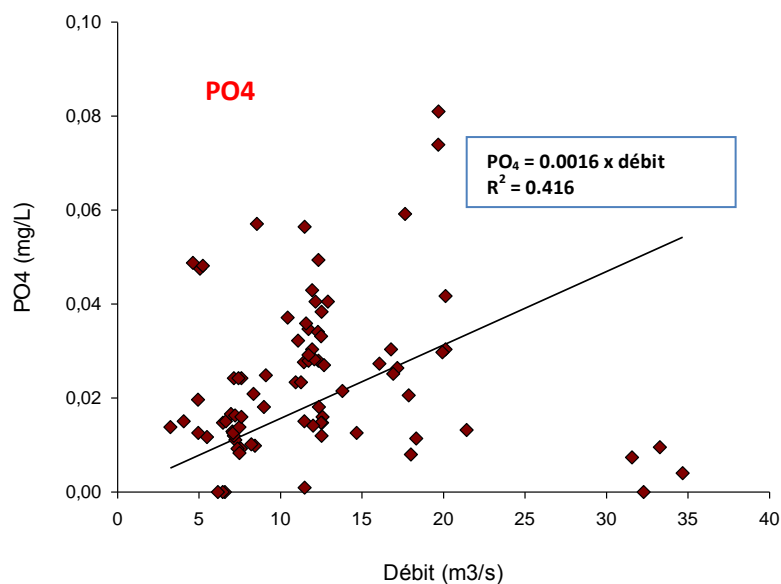


Figure 23 : Relation entre les concentrations en phosphate et le débit

Contrairement aux autres flux dissous, présentés auparavant, les concentrations du phosphore dissous varient en fonction des conditions hydrologiques, hors crue et en crue : les concentrations hors crue sont très faibles, elles augmentent et varient fortement au cours des crues. Mais dans le détail la relation avec le débit reste faible (Figure 23).

Si l'on considère que les retenues devraient tamponner les variations des concentrations en phosphate comme pour les flux dissous précédents, on peut penser que la variabilité des concentrations observées ici est vraisemblablement liée à des échanges extrêmement rapides entre le flux de phosphore dissous sortant des barrages et les MES ou sédiments présents sur le tronçon de rivière en amont de notre station (rééquilibrage entre le phosphore dissous et le phosphore adsorbé sur les particules).

- **Quantification des flux dissous**

Classiquement le calcul des flux dissous, comme le calcul des flux sédimentaires, passe par la mise en évidence d'une relation statistique entre la concentration de l'élément en solution et le débit. Le flux dissous est calculé à partir de la chronique haute fréquence du débit, multiplié par les concentrations obtenues à l'aide de la relation statistique et intégré dans le temps.

A cause de l'effet tampon des barrages, cette relation statistique ne peut être établie pour les flux de nitrate, silice, chlorure et sulfate. En conséquence, pour le calcul des flux sur la période inventoriée (avril à décembre 2014), nous avons utilisé un découpage par période (P1, P2 et P3) établi à partir de la dynamique des concentrations saisonnières (Figure 20). Le découpage est quasiment identique pour les quatre éléments. On obtient le flux dissous spécifique pour chaque période en multipliant la concentration moyenne par le flux hydrique spécifique sur cette même période.

Tableau 6 : Calcul des flux spécifiques dissous pour le nitrate, la silice, le chlorure, le sulfate pour les 3 périodes identifiées et flux spécifique total pour la période suivie (fin avril à décembre 2014)

	NO ₃			Si			Cl			SO ₄		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Date	24/04 au 10/08	10/08 au 30/09	30/09 au 31/12	24/04 au 31/07	31/07 au 31/10	31/10 au 31/12	24/04 au 10/08	10/08 au 30/09	30/09 au 31/12	24/04 au 31/07	31/07 au 31/08	31/08 au 31/12
Concentration moy (mg/L)	33,6	24,3	26,5	6,8	5,4	6,7	29,1	27,8	30,6	9,3	10,6	10,8
Ecart type	1,5	0,5	0,6	0,2	0,4	0,3	2,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Flux d'eau (m3)	6,5 x 10 ⁷	2,5 x 10 ⁷	6,1 x 10 ⁷	5,9 x 10 ⁷	3,0 x 10 ⁷	6,1 x 10 ⁷	6,5 x 10 ⁷	2,5 x 10 ⁷	6,1 x 10 ⁷	5,9 x 10 ⁷	2,0 x 10 ⁷	7,1 x 10 ⁷
Masse (t)	2,2 x 10 ³	6,1 x 10 ²	1,6 x 10 ³	4,0 x 10 ²	1,6 x 10 ²	4,1 x 10 ²	1,9 x 10 ³	6,9 x 10 ²	1,9 x 10 ³	5,5 x 10 ²	2,2 x 10 ²	7,7 x 10 ²
Masse totale (t)	4,4 x 10 ³			9,7 x 10 ²			4,4 x 10 ³			1,5 x 10 ³		
Flux (t/km2)	5,7			1,3			5,8			2,0		

Pour le flux de phosphore dissous nous avons utilisé la régression linéaire $(PO_4) = 0.0016 \times \text{débit}$ (Figure 23). Le flux total de PO_4 est estimé ainsi très grossièrement à 0,31 kg/km² pour la période suivie (fin avril à décembre 2014).

Toutes ces valeurs de flux sont entachées d'une grande incertitude compte tenu des méthodes utilisées. Mais elles permettent d'obtenir des ordres de grandeur qui seront comparés aux flux entrant à l'amont des barrages.

2.3 - Conclusions et perspectives

- **Conclusion**

L'étude de l'état initial de la Sélune avant arasement des barrages a été menée environ 4 km en aval des barrages, au Pont de Signy. Le suivi des flux hydriques, sédimentaires et chimiques

(particulaires et dissous) a débuté fin avril 2014 et ne couvre donc pas une année hydrologique complète. On observe clairement un impact des barrages sur ces flux et sur leur dynamique temporelle qui se manifeste par :

- Un écrêtement des pics de débit pour la très grande majorité des crues, qui ne peut cependant exister pour les plus fortes crues pour des questions de sécurité des ouvrages. Nous répétons ici que le mot crue dans sa définition hydrologique correspond à toute augmentation du débit, petite ou forte, consécutive à un événement pluvieux.
- Un stockage d'une part importante des sédiments dans les retenues, ce qui réduit fortement les concentrations de matières en suspension hors crue et lors des crues. Ce sont vraisemblablement les particules les plus grossières et les plus denses qui sont stockées, les plus fines continuent régulièrement à transiter, en particulier les matières organiques.
- Un effet tampon sur les concentrations en éléments dissous, nitrate, silice, chlorure, sulfate, qui varient peu entre crue et hors crue, ou au cours des crues, au lieu d'accompagner les variations de débit. Cet effet tampon est dû au mélange des flux entrant avec le volume d'eau stocké dans les retenues. On observe par contre la mise en place d'une dynamique saisonnière à l'aval des barrages, pouvant être due à la dynamique saisonnière des flux entrant (éventuellement tamponnée par le passage dans les retenues) et/ou à la dynamique saisonnière de processus biogéochimiques dans les retenues. La dynamique du phosphore dissous se différencie de celle des autres éléments dissous, sans doute à cause d'une forte réactivité dans le tronçon de 4 km qui sépare la station de mesure de l'aval des barrages.

La quantification des flux hydriques, sédimentaires et chimiques pour la période d'étude a été réalisée en adaptant les méthodes classiques de calcul aux dynamiques temporelles observées pendant la période. Les méthodes utilisées par défaut entraînent une grande incertitude sur ce calcul des flux.

- Perspectives

Le suivi des flux hydriques, sédimentaires et chimiques, sur la station INRA au Pont de Signy, sera poursuivi afin de quantifier ces flux et d'étudier leurs dynamiques saisonnières et événementielles, en aval des barrages, pour des années hydrologiques entières avant l'effacement des barrages.

Pour répondre aux interrogations sur la mobilité éventuelle des métaux lourds, dissous ou associés aux sédiments contaminés stockés dans la retenue de Vezins, nous mettrons en place des échantillonneurs passifs intégratifs à proximité de notre station du Pont de Signy. Des analyses de la phase dissoute et de la phase particulaire dans la rivière permettront de vérifier l'absence de métaux lourds dans la rivière.

Depuis janvier 2015, les données des stations multi paramètres EDF sont mises à disposition de la recherche sur un serveur au pas de temps horaire. Ces données concernent les paramètres turbidité, pH, Oxygène dissous, conductivité et niveau d'eau. En revanche, EDF n'a pas prévu d'échantillonnage pour le suivi des flux chimiques. Au cours de l'année 2015, nous assurerons cet échantillonnage en amont des barrages (au niveau du pont de Virey) selon le même protocole qu'à la station INRA du Pont de Signy. L'acquisition de ces nouvelles données (stations EDF et prélèvements amont) permettra de connaître plus précisément l'impact des barrages sur les flux hydriques, sédimentaires et chimiques.

Par ailleurs, au vu de nos premiers résultats, notamment pour les flux chimiques, la compréhension de la dynamique de certains éléments (nitrate, silice, phosphate) passera par un travail collaboratif avec le volet Biocénoses aquatiques et plus précisément l'étude des communautés algales et végétales (phytoplancton, périphyton, macrophytes).

3 - Géomorphologie dynamique de la rivière

3.1 - Dynamique contemporaine

3.1.1 - Contexte

Les conséquences des ouvrages hydroélectriques sur le fonctionnement morphologique des tronçons fluviaux en aval sont aujourd'hui bien connues. Dans la plupart des cas documentés, le transfert sédimentaire grossier étant interrompu, elles se traduisent par un déficit sédimentaire et par conséquent un excédent d'énergie potentielle du chenal en aval. La traduction géomorphologique de cet excédent s'observe le plus souvent à travers une incision et le développement d'un pavage sur le fond du lit, tous deux se propageant d'amont en aval (Williams et Wolman 1984, Kondolf 1997, Petts et Gurnell, 2005).

L'objectif de l'état initial était de commencer à caractériser le fonctionnement morphologique actuel de la Sélune en aval des ouvrages (Figure 24) et de rechercher l'empreinte géomorphologique éventuelle des ouvrages sur ce fonctionnement. Nous avons ainsi centré notre analyse sur 3 variables d'ajustement : (I) le profil en long (mesure des hauteurs de berges, relevé de niveaux graveleux en berge, levé du profil en long ligne d'eau et fond), (II) la granulométrie à deux échelles : Substrat grossier (>5 mm) avec une mesure granulométrique systématique sur tous les radiers observés, et sur les sables (< 5 mm) avec un échantillonnage sur les zones de dépôt puis des analyses au granulomètre laser ; (III) la mobilité en plan (cartographie des érosions de berge).

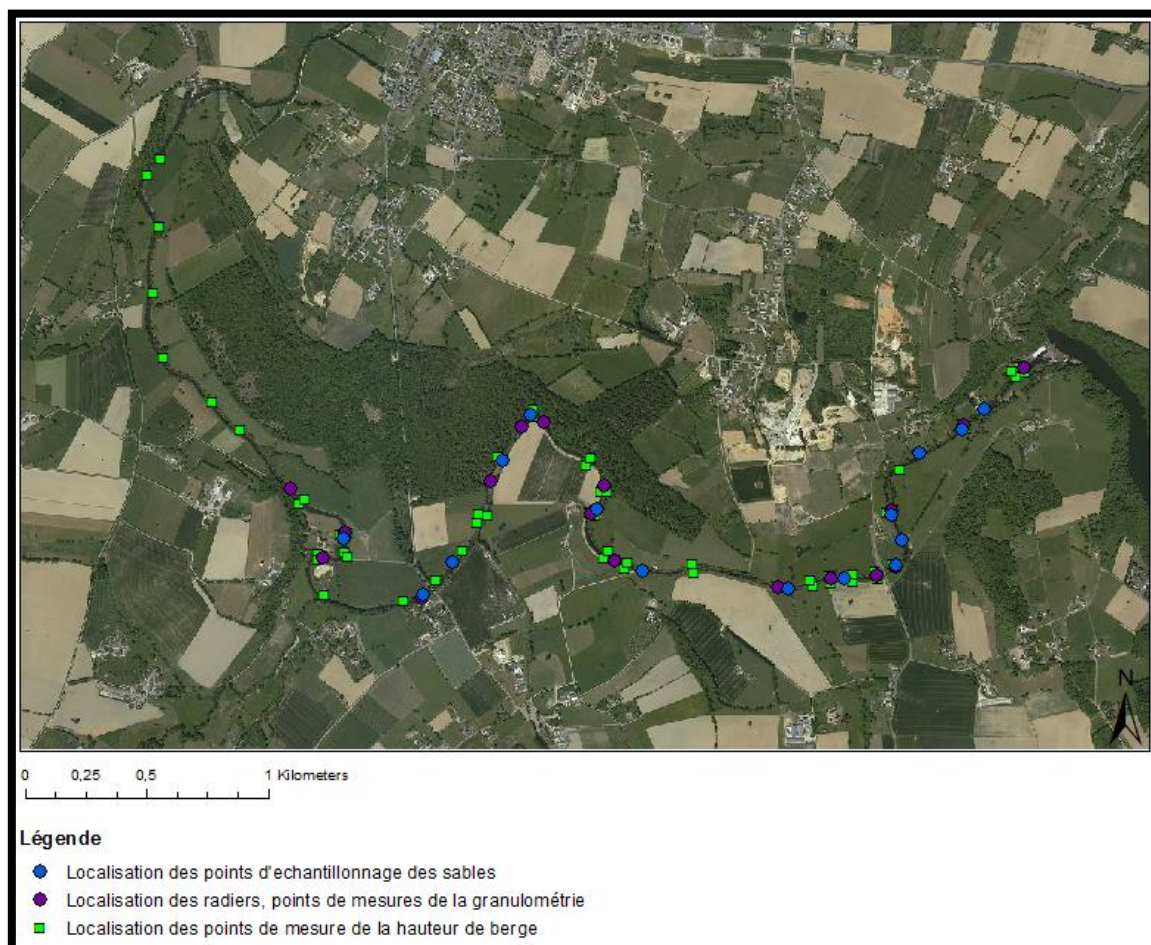
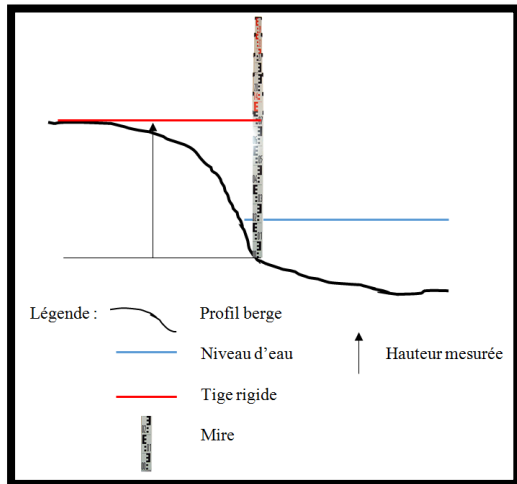


Figure 24 : Tronçon d'étude et localisation des points de mesure de hauteur de berge et de granulométrie

3.1.2 - Matériel et méthodes

3.1.2.1 - Caractérisation de l'évolution du profil en long du tronçon étudié

❖ Mesure des hauteurs de berge



Des mesures de hauteurs de berge (Figure 25) ont été effectuées environ tous les 200 mètres ou dès qu'un changement important de hauteur a été rencontré. Ainsi 33 mesures de hauteur de berge ont été effectuées sur le tronçon à l'aide d'une mire.

Figure 25 : Méthode de mesure des hauteurs de berge

❖ Levé d'un profil en long du fond du lit et de la ligne d'eau.

Cette première approche (mesures des hauteurs de berge) a été complétée par la réalisation de profils (fond et ligne d'eau). L'objectif de ce profil est double : (I) disposer d'une caractérisation fine de la pente du cours d'eau actuel, (II) avoir un profil actuel permettant une comparaison éventuelle avec des profils historiques dont le profil des grandes forces hydrauliques (1930) levé en conditions d'étiage (juillet-août) ou encore avec les profils réalisés une fois l'arasement réalisé. Il était initialement prévu de réaliser ce profil au moyen d'un DGPS mais étant donné la densité de la canopée de la ripisylve en berge, nous avons dû procéder à un lever à la lunette topographique à lecture automatique.

3.1.2.2 - L'analyse granulométrique longitudinale

❖ Sur la fraction grossière (>5mm)

Dans le but de caractériser un éventuel déficit sédimentaire en aval des ouvrages, nous avons cherché à établir si un processus de pavage s'était développé depuis les infrastructures (augmentation artificielle de la taille des sédiments du fait de l'exportation progressive des particules les plus petites qui ne sont plus remplacées par des apports amont). Nous avons donc procédé à une analyse granulométrique longitudinale en utilisant la méthode d'échantillonnage aléatoire de Wolman (1954) à 100 particules par site échantillonné. Les mesures n'ont été effectuées que sur les seuils afin de ne pas intégrer la variabilité inhérente aux différences granulométriques entre seuils et mouilles (REF Rice, Rollet 2007 etc...). 17 radiers ont été ainsi échantillonnés (Figure 24) et les axes B des particules ont été mesurés. Différents indices de distribution granulométriques ont été calculés tels que le sorting, skewness, kurtosis ainsi que différents déciles caractéristiques (D10, D50 et D90).

❖ Sur les sables (<5mm)

Un échantillonnage manuel systématique a été réalisé sur les zones de dépôt de sables le long du transect de la Roche qui Boit jusqu'au moulin de Quincampoix (Figure 24). Au total, 15 échantillons

ont été prélevés puis analysés au laboratoire à l'aide d'un granulomètre laser pour connaître la distribution granulométrique. Les déciles caractéristiques (D10, D50 et D90) sont également calculés.

3.1.2.3 - Etude de la mobilité en plan

Un premier état des lieux des phénomènes visibles témoignant d'une mobilité latérale du cours d'eau a également été réalisé (Mirloup, 2014). Une première cartographie des érosions et des protections de berges a été menée sur le tronçon en aval du barrage de la Roche Qui Boit. Dans le même temps les phénomènes d'incision verticale ont été inventoriés sur les zones où l'ancien lit de la Sélune est visible.

Les zones d'abreuvoirs et d'arrivée latérales d'eau ont également été répertoriées pour avoir des indications sur l'origine des sédiments sur le tronçon en aval des barrages.

3.1.3 - Résultats

3.1.3.1 - Caractérisation de l'évolution du profil en long du tronçon étudié

❖ Mesure des hauteurs de berge

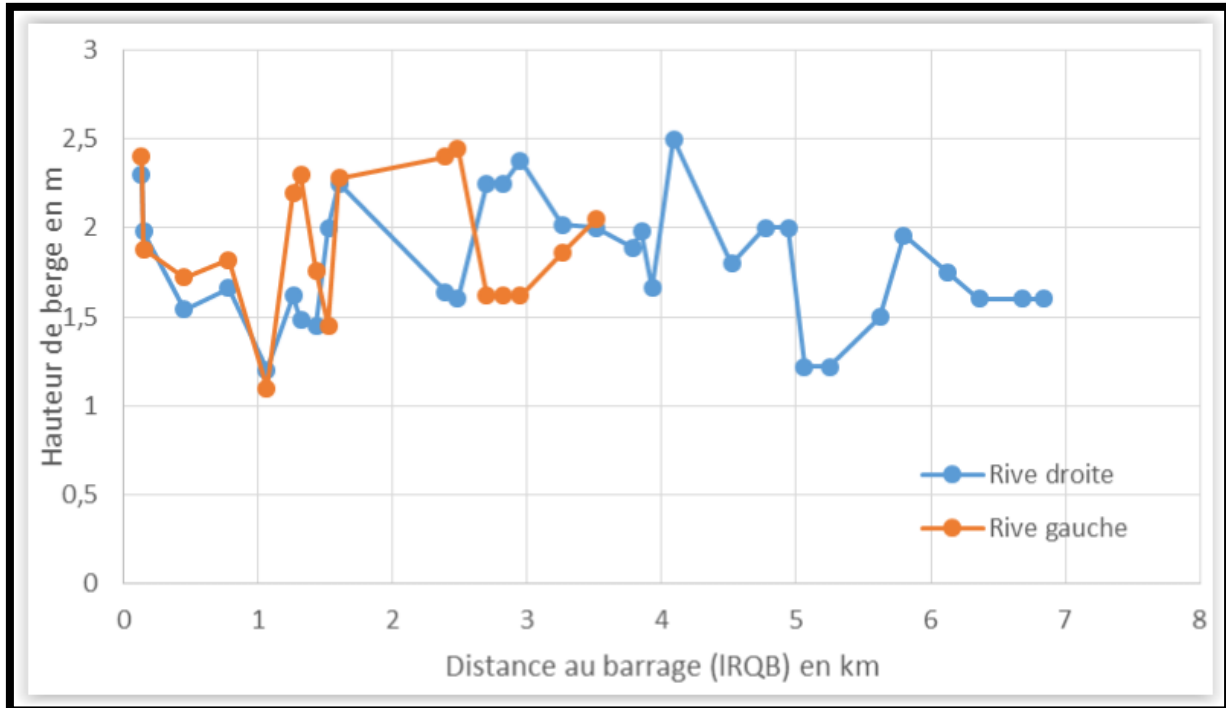


Figure 26 : Evolution de la hauteur des berges en fonction de la distance au barrage de La Roche Qui Boit (Mirloup, 2014)

Les hauteurs de niveau de berges ont pu être mesurées sur tout le linéaire en rive droite. En revanche, en rive gauche, la Sélune vient buter contre des reliefs localisés dont le niveau dépassent parfois de 10 mètres la Sélune, il n'est donc pas possible de mesurer ces berges qui se confondent alors avec la côtière. De plus, toujours en rive gauche, le dernier kilomètre est inaccessible à pied et les mesures n'ont pas été effectuées (Figure 26). Etant donné les très faibles variations de largeur du lit d'amont en aval sur ce tronçon, nous n'avons pas pondéré ces hauteurs par la largeur du chenal.

D'après ces mesures, il semble qu'en rive droite comme en rive gauche les hauteurs de berge sont relativement variables d'1,5 à 2,5 mètres. Ces hauteurs ne semblent néanmoins pas plus importantes en amont du tronçon étudié qu'en aval et aucun patron spatial clair ne semble se dessiner.

De la même façon, peu de niveaux graveleux susceptibles d'identifier le niveau d'un ancien lit ont pu être observés au niveau de ces mêmes points de mesure et encore moins spécifiquement en amont de notre tronçon. D'après ces deux indicateurs (hauteur de berge et niveaux graveleux) il ne semble donc pas que le lit de la Sélune ait enregistré une incision significative en réponse à un éventuel déficit sédimentaire.

- ❖ Levé d'un profil en long du fond du lit et de la ligne d'eau.

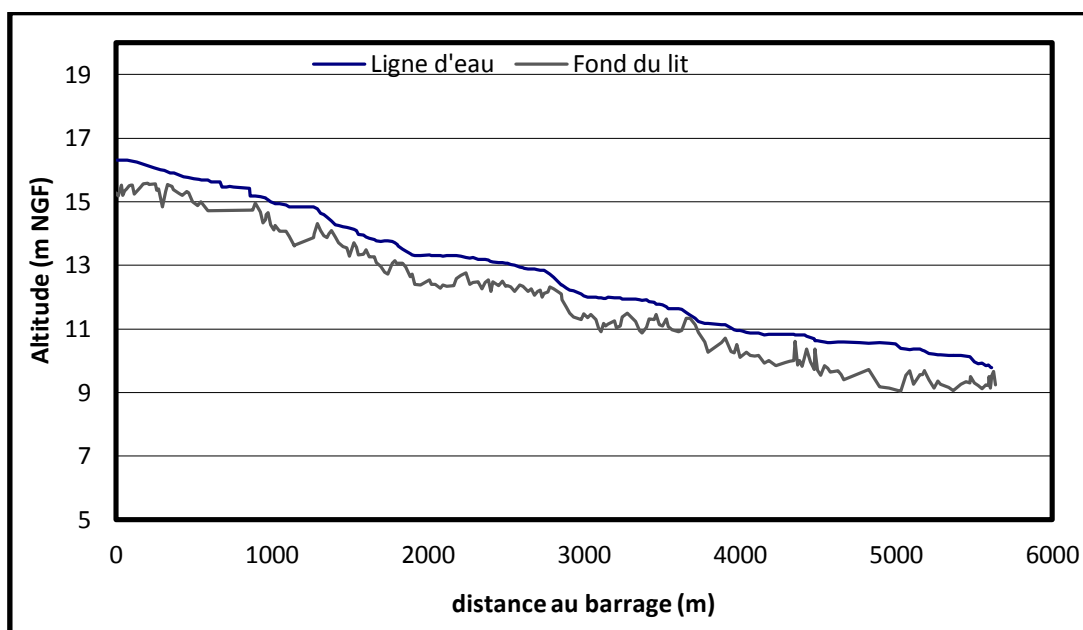


Figure 27 : profil en long de la Sélune en aval du barrage de la Roche qui Boit (Fond du lit et ligne d'eau)

Le profil en long a été réalisé entre le 15 et le 21 juillet 2014 lors d'un débit d'étiage (Débit journalier entre 4 et 6 m³/s). Chaque rupture de pente visuellement identifiée a été relevée (Figure 27). Ce profil couvre ainsi un linéaire de 5,6 km et comporte 214 points pour le profil de ligne d'eau et 222 pour le profil de fond soit une résolution d'environ 1 point tous les 25 mètres. Sa précision verticale est de l'ordre de +/- 1cm.

L'analyse et l'interprétation de ce profil seront réalisées au cours de l'année 2015. Les résultats seront notamment mis en parallèle avec ceux de l'analyse granulométrique.

3.1.3.2 - L'analyse granulométrique longitudinale

- ❖ Sur la fraction grossière (>5mm)

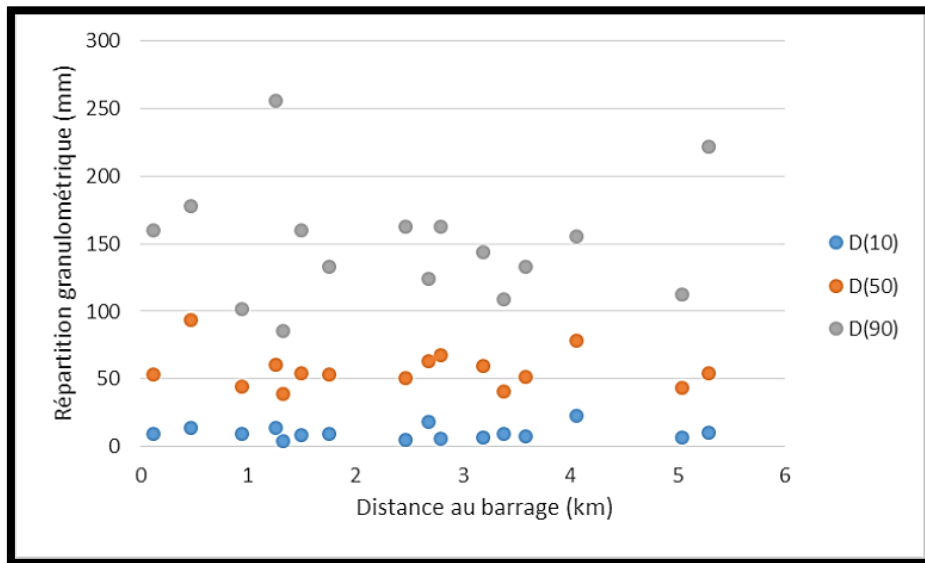


Figure 28 : Evolution longitudinales en fonction de la distance au barrage des D 10, D50 et D90 de la distribution granulométrique grossière (> 5 mm) sur les radiers en aval de la Roche Qui Boit

Ces premiers résultats ne permettent de mettre en évidence ni un modèle d'affinement granulométrique ni de rupture significative dans la structure longitudinale des indicateurs granulométriques.

- ❖ Sur les sables (<5mm)

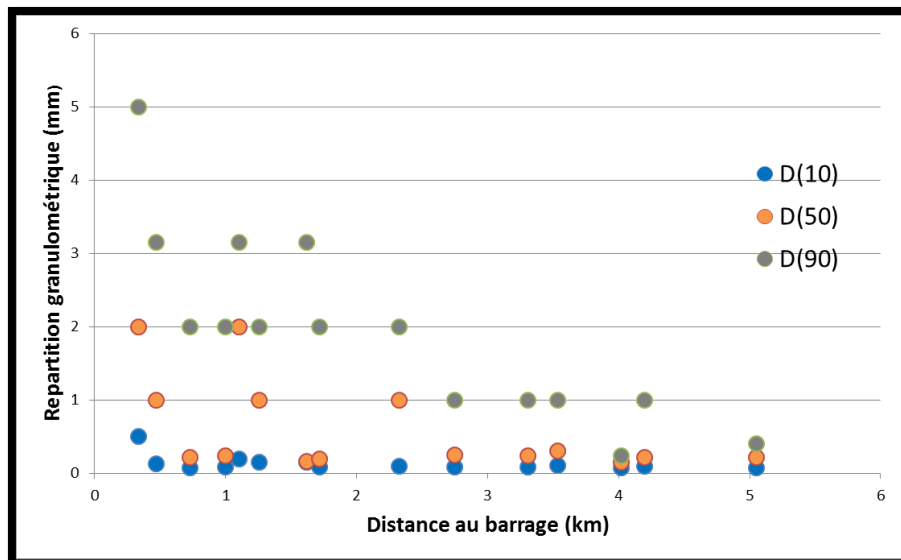


Figure 29 : Evolution longitudinales en fonction de la distance au barrage des D 10, D50 et D90 de la distribution granulométrique des sables (< 5 mm) sur les radiers en aval de la Roche Qui Boit

Contrairement à la charge de fond, on observe des tailles granulométriques décroissantes de l'amont vers l'aval pour les sables. Ce tri granulométrique est particulièrement visible sur le D90 et le D50 du pied du barrage de la Roche qui Boit jusqu'à 2,7 km en aval. La distribution est ensuite

relativement homogène. Cette cassure (à 2,7 km) est peut être due à une rupture de pente, observable sur le profil en long (Figure 27), cette interprétation doit être approfondie.

Au vu des résultats, on peut émettre l'hypothèse que la puissance spécifique de la Sélune sur le tronçon :

- ne permet pas un tri granulométrique de la charge grossière (>5 mm)
- permet un tri granulométrique des sables (<5 mm)

Une étude plus poussée de la distribution granulométrique, notamment en relation avec le profil en long et les contraintes de transport, doit permettre d'approfondir cette analyse (cf. Conclusions et perspectives).

3.1.3.3 - Etude de la mobilité en plan

Une première cartographie des érosions de berge d'après des observations sur le terrain a également été réalisée (Figure 30) (Mirloup, 2014).



Figure 30 : Cartographie des érosions de berges, des secteurs d'incisions du lit et des abreuvoirs



Figure 31 : Photographies, de gauche à droite : érosion de berge, abreuvoir, incision du lit mineur

Tout comme les indicateurs granulométriques, la répartition des secteurs d'érosion semble principalement répondre à des paramètres locaux (abreuvoirs, concavités, végétation...) et non à l'influence des ouvrages hydro-électriques. Cette cartographie reste néanmoins à affiner (caractérisation de l'intensité des érosions, etc.).

3.1.4 - Conclusion et perspectives

Cette première caractérisation du fonctionnement morphologique actuel de la Sélune en aval des ouvrages ne nous a pas permis de mettre en évidence les conséquences morphologiques de l'interruption du transfert sédimentaire grossier. Ces résultats ne sont pas très surprenants compte tenu de la relativement faible énergie de ce cours d'eau (notamment dans sa partie aval). A cette faible énergie s'ajoutent les conséquences des modifications du régime hydrologique naturel (notamment concernant la fréquence des débits de plein bord) qui restent encore à analyser. Il en résulte des processus morphologiques relativement lents et de faible amplitude ainsi qu'une charge de fond qui ne montre que peu de mobilité.

Suite à ces premiers résultats plusieurs perspectives vont être développées dans l'année à venir.

Nous envisageons tout d'abord de poursuivre l'exploitation des données produites l'été dernier et de notamment l'analyse des formes fluviales et de la puissance spécifique, en aval du barrage de La Roche Qui boit à partir du profil en long. Ces premières données vont être complétées par des relevés dès cet hiver sur les questions granulométriques, caractérisation et occupation des berges. De plus, nous étendrons ce premier diagnostic à l'amont des ouvrages, entre Saint Hilaire et la retenue de Vézin.

Nous approfondirons également notre connaissance de la dynamique sédimentaire grossière de la Sélune en mettant en place des traceurs RFID (environ 700 installés en différents points) dans les particules de sédiments grossiers (petits galets). Il s'agira alors de caractériser la mobilité de la charge de fond constituant le fond du cours d'eau en termes de fréquences et de distance déplacement.

Nous procéderons de plus à l'affinement de la cartographie des érosions de berge et nous commencerons à analyser les rythmes d'érosion latérale rétrospectivement à partir de mesures morphologiques et dendrochronologiques sur les systèmes racinaires de la ripisylve. Il s'agira ainsi d'adapter sur les systèmes fluviaux une méthode déjà éprouvée pour la quantification et caractérisation des rythmes d'érosions des versants en montagne. Ces approches n'ayant pour l'instant jamais été employées pour traitement de la question de la mobilité latérale des cours d'eau

(et de faible énergie plus particulièrement), des prélèvements et traitement ont déjà été effectués sur des sites tests (tronçon de la Seulles) pour vérifier la transférabilité de cette méthode sur la Sélune.

Dans le but de positionner notre diagnostic actuel dans une perspective historique plus large, nous procéderons à une analyse diachronique du tracé de la Sélune à l'aval de Saint Hilaire à partir de documents anciens (plans cadastraux, images anciennes, photographie aériennes) à différentes échelles temporelles (décennie, siècle).

Enfin, les campagnes de vol du LIDAR aéroporté, pourraient donner de précieuses informations, à une échelle spatiale très fine, sur la géométrie de la rivière (berges, bathymétrie, rugosité, granulométrie, pente, ...). De plus, les données LIDAR pourront à terme, alimenter le volet plus transversal et pluridisciplinaire concernant la relation avec les habitats aquatiques (Variabilité et alternances des habitats, granulométrie des zones de frayères,...).

3.2 - Dynamique temps longs

3.2.1 - Contexte

La compréhension du système alluvial passe nécessairement par la capacité à restituer la dynamique des flux sédimentaires et des formes alluviales à différents pas de temps. L'enjeu consiste à déterminer la part des héritages morphologiques et sédimentaires afin d'apprécier leur rôle potentiel dans la dynamique du système restauré après le démantèlement.

Concrètement, le travail sur les formations alluviales entrepris dans le cadre de l'étude des dynamiques géomorphologiques de la Sélune a un double objectif :

1. Déterminer les stocks re-mobilisables dans les fonds de vallée ennoyés ou affectés par les remous hydrauliques engendrés par les ouvrages. En effet, leur connaissance est nécessaire pour déterminer l'ajustement latéral potentiel du système restauré. Celui-ci va dépendre de la nature, de l'épaisseur des sédiments holocènes mobilisables qui vont conditionner leur érodabilité et le poids potentiel des remobilisations des stocks sédimentaires hérités du détritisme holocène.
2. Déterminer les états de référence du système fluvial étudié à partir de l'analyse des archives sédimentaires capable de restituer la dynamique des formes et d'en déduire le changement d'équilibre entre les flux liquide et solides responsable de la dynamique de l'ajustement morphologique. Trois états sont pris en considération : (1) la situation avant les barrages (état 17^e-début du 20^e s.) qui correspond à un bassin versant agricole largement mis en valeur pour des pratiques encore en partie vivrières et une rivière exploitée pour des usages domestiques et sa force (REF1) ; (2) la situation dans un système moins aménagé (5^e-10^e s ap. J.-C.) qui correspond à une mise en valeur agricole moins complète du bassin versant et à l'émergence des aménagements hydrauliques (REF2) ; (3) la situation du milieu de l'Holocène (6000-4000 av. J.-C.) qui correspond à un bassin-versant et surtout un fond de vallée peu impacté par les sociétés et un cours d'eau dont le régime de fonctionnement devait être proche du régime naturel caractéristique des périodes interglaciaires.

Ce double objectif s'appuie sur un important travail de terrain (sondages et carottages) et des analyses de laboratoire (sédimentologie, micromorphologie, analyse géochimique (XRF), datations). Le calendrier du travail de terrain qui permet l'acquisition des données est défini en fonction des différentes étapes de la vidange des deux ouvrages.

Pour les années 2014 et 2015, les investigations concernent l'amont de la Sélune, l'aval de l'Isolant, en tête du plan d'eau du barrage de Vezins et affecté par ses battements saisonniers, ainsi que l'aval de la retenue de la Roche qui boit. Les tronçons choisis correspondent à ceux envisagés pour le suivi des dynamiques contemporaines afin de contribuer à caractériser globalement des tronçons représentatifs de différentes situations.

3.2.2 - Matériel et méthodes

3.2.2.1 - Localisation

Pour l'année 2014, deux terrains ont été investigués. Ces deux zones sont situées sur les abords de la Sélune dans le fond de vallée. Elles présentent des contextes hydrodynamiques différents liés à leur situation par rapport à la retenue du barrage de Vezins.

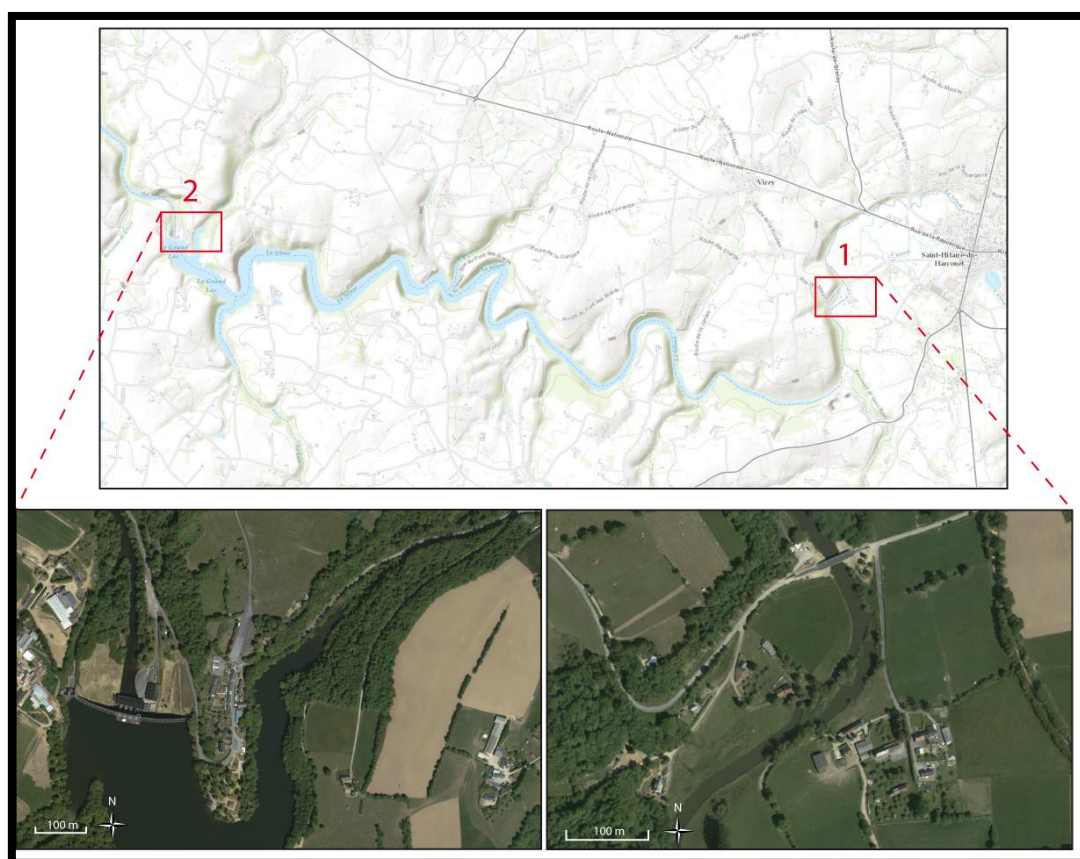


Figure 32 : Localisation des deux sites ; 1 : Moulin de Virey et 2 : Isolant (site de Vezins)

❖ Amont du lac de Vezins (site du moulin de Virey)

Le Moulin de Virey (Figure 32-1) se situe juste à l'amont de la queue de la retenue du barrage de Vezins. Le seuil du moulin constitue aujourd'hui la dernière marche qui fait office de rupture de la ligne d'eau en amont de la retenue. Sur ce site, la Sélune entre dans le secteur encaissé de la vallée bordé de coteaux très escarpés laissant fréquemment affleurer la roche. Ce site offre le dernier emplacement avant le barrage de Vezins où la Sélune présente une plaine d'inondation assez large (environ 250 m au plus large) supposant une certaine mobilité du chenal. Sur ce site sont conservées aussi les ruines d'un moulin à eau installé sur la rive droite de la Sélune. Ce moulin établi au fil de l'eau détournait le lit de la Sélune grâce à une chaussée afin d'alimenter deux roues aujourd'hui disparues, situées en parallèle du moulin. L'abaissement de la hauteur

d'eau de la retenue de Veziins a entraîné une baisse de la ligne d'eau de la Sélune et a exhumé sur le site, des berges limoneuses d'une hauteur d'1,30 m environ.

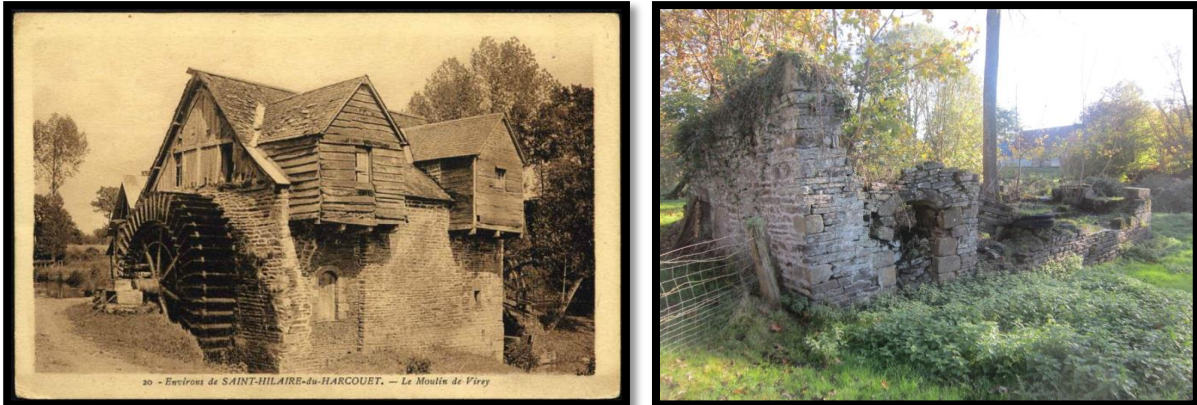


Figure 33 : Comparaison du moulin de Virey entre la fin du XIXe siècle et aujourd'hui

❖ L'Isolant (site de Veziins)

Le site de Veziins est localisé sur les berges de l'Isolant à l'amont de la queue de la retenue du barrage de Veziins dans la vallée de l'isolant (Figure 32-2). La vallée est ici très encaissée avec des versants abrupts boisés ainsi qu'une plaine alluviale très réduite (un cinquantaine de mètres de largeur) entièrement boisée. Le site anciennement sous l'influence hydrosédimentaire de la retenue de Veziins se trouve aujourd'hui atterri. L'abaissement de la ligne d'eau a entraîné une incision de l'isolant dans les limons supérieurs exhumant ainsi des berges hautes d'1,50 m environ



Figure 34 : Aperçu du fond de vallée de l'Isolant en amont de la retenue de Veziins.

3.2.2.2 - Méthodes

Les données ont été acquises lors d'une campagne de terrain les 7 et 8 juillet 2014. Au cours de la première journée, un transect stratigraphique a été réalisé sur la rive droite de la Sélune à l'aval immédiat du moulin de Virey. Ce transect se décompose en 4 carottages effectués au moyen du carottier à percussion du laboratoire Géophen. Il a été complété par la suite par deux sondages à la tarière à main qui ont permis de sonder la rive gauche. Sur le site de l'Isolant, 3 carottages au carottier à percussion ont été réalisés sur la rive droite. Pour chaque carottage, le substrat ou la grave Pléistocène ont été atteints à chaque fois afin d'obtenir des logs complets du remplissage holocène des sites.

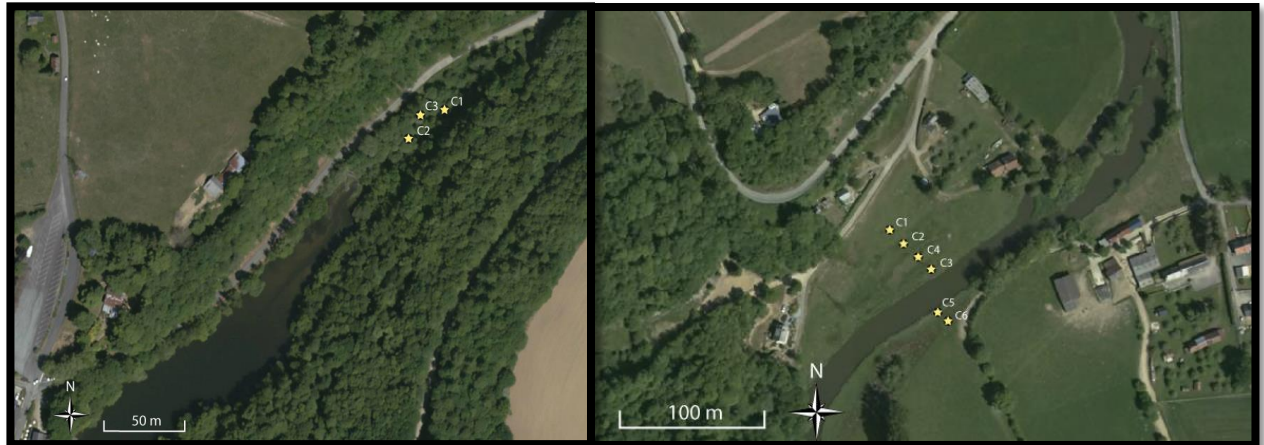


Figure 35 : Localisation des carottages, à gauche : aval de l'Isolant, à droite : au moulin de Virey



En laboratoire, les sédiments prélevés sont soumis à des analyses sédimentologiques, micromorphologiques et géochimiques afin de caractériser précisément l'évolution des conditions hydrosédimentaires à l'origine de ces dépôts. Ces analyses sont complétées par des datations par la méthode du radiocarbone (AMS) réalisées au laboratoire de Poznan (Pologne) afin de dresser le cadre chronologique du remplissage sédimentaire.

Figure 36 : Carottage au carottier à percussion à Virey (Cliché L. Lespez)

3.2.3 - Résultats

❖ Données historiques

Cette année, une première étude s'est portée sur une approche historique des moulins de la Sélune et notamment du moulin de Virey. Cette recherche à travers les archives anciennes, papiers ou numérisées, a permis de reconstituer l'histoire du moulin depuis le début du XVIIIème siècle



Figure 37 : Mention du moulin de Virey sur Carte topographique de la Normandie réalisée en 1720 par Mariette de la Pagerie (BNF, GE DD-2987 (1009,I-IV B)).

jusqu'à aujourd'hui. La première mention du moulin est issue de la carte topographique de la Normandie éditée par Mariette de la Pagerie en 1720 (Figure 37) Cette carte éditée avant la carte de Cassini fait état de 155 moulins répartis sur le bassin de la Sélune. Le moulin de Virey est mentionné comme étant toujours en activité en 1768 sur la Carte de Cassini. On retrouve ensuite des informations sur le moulin dans un rapport des archives des Ponts et Chaussées daté du 22 décembre 1882 (source archive à redéfinir). Ce rapport fait suite à des plaintes d'habitants de Saint-Hilaire-Du-Harcouët concernant la mauvaise gestion du moulin de Virey qui générait des inondations. Le conducteur des Ponts et Chaussées décrit le moulin en fonctionnement avec deux roues jumelées alimentées par des biefs courts dérivés de la chaussée transversale sur la Sélune. Il décrit aussi une ancienne pêcherie située à 1 km en aval du moulin de Virey « *il existe une ancienne pêcherie tombant en ruines... Elle se compose d'un bief formé par la berge sud et par un îlot situé au milieu de la rivière, lequel est formé d'un amas de gros blocs et de pierres sur lesquels la rivière a déposé des terres, sables, débris pendant les crues. Immédiatement en amont de ce bief, une traverse en bois supportant quelques potelets servant à attacher les filets, est plantée au travers du lit* ». Une procédure de réglementation du moulin fera suite à ce rapport en 1886 afin de contrôler les travaux de rehaussement de la chaussée. Le moulin semble avoir fonctionné avec deux roues motrices jusqu'au début des années 1930 puis à seulement une roue avant un abandon final à la fin des années 1930 (source orale). Depuis l'hiver 2000/2001, EDF a baissé la cote d'exploitation du plan d'eau de Vezins de 1 mètre en dessous de l'arase du seuil du moulin de Virey. Cette mesure a été prise pour limiter toute influence de la retenue de Vezins sur l'écoulement des crues de la Sélune le long des bas quartiers de Saint-Hilaire-Du-Harcouët (Etude du devenir des barrages de la Sélune, Sepia Conseil, 2002).

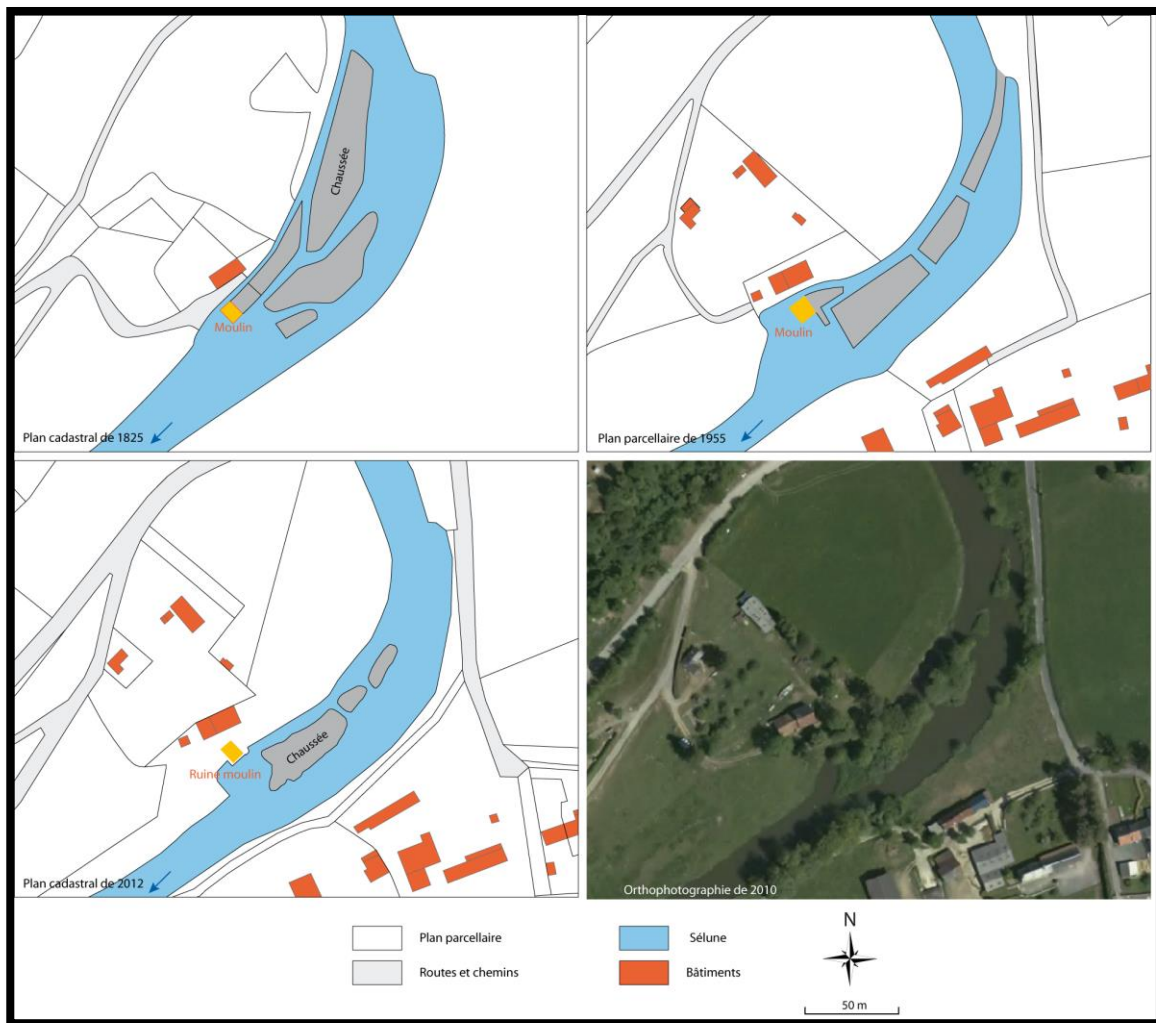


Figure 38 : Evolution du site du moulin de Virey entre le début du XIXe siècle et aujourd'hui

❖ Données paléoenvironnementales

Le transect réalisé au Moulin de Virey fait apparaître la succession de 6 grandes phases dans la dynamique hydrosédimentaire de la Sélune.

1. Phase 1 : Une grave pléistocène grossière, héritée des dynamiques de la dernière période froide, sert de base au chenal historique. Cette grave a subi une érosion dont il n'est malheureusement pas possible de définir précisément la durée aujourd'hui. Deux hypothèses sont possibles entre lesquelles il est difficile de trancher : (1) une érosion prolongée et continue ne permettant pas la sédimentation dans le tronçon observé du Boréal ou du début de l'Atlantique (début de l'enregistrement sédimentaire enregistré classiquement en Normandie) à l'Antiquité ; (2) une légère incision d'un chenal divagant au cours de l'âge du Fer et de l'Antiquité ayant érodé les sédiments peu épais, le plus souvent sablo-limoneux organiques, du début et du milieu de l'Holocène observés classiquement dans le Massif armoricain et sur ses marges en Normandie.
2. Phase 2 : au cours du Haut-Moyen-Âge, s'est produit un alluvionnement constitué de sables grossiers à gravillons et comportant des macrorestes organiques caractéristiques des remplissages alluviaux holocènes dans la Normandie armoricaine. Il témoigne d'un alluvionnement modéré proche de ce qui est observé ailleurs pour le début et le milieu de l'Holocène.

3. Phase 3 : au cours du Moyen-Âge central et du bas Moyen-Âge, on note une augmentation du rythme de l'alluvionnement, contemporain d'une rétraction du chenal, faisant apparaître une zone humide entre un chenal actif (RG) et un chenal sans doute principalement alimentée par les crues de la Sélune (RD) et connaissant un remplissage plus fin et organique le reste de l'année.
4. Phase 4 : au cours des époques moderne et contemporaine, l'accélération très rapide de l'alluvionnement (1,5 à 2m) correspond à la mise en place d'un chenal étroit à berge haute au sein de la plaine alluviale qui offre des berges cohérentes. Le bras inactif en rive droite est comblé intégralement et la Sélune ne forme alors qu'un unique chenal dans la position qu'elle occupe actuellement. La faible mobilité du chenal correspond au modèle Stable Bed Aggrading Bank qui caractérise la plupart des cours d'eau normands au cours des deux derniers millénaires. Sa mise en place est assez tardive et correspond sans doute à une transformation importante de mise en valeur agricole à l'échelle du bassin versant. La plaine alluviale est caractérisée par des aménagements hydrauliques (moulin, canal) en relation avec l'équipement hydraulique progressif de la Sélune.
5. Phase 5 : Depuis la construction du barrage, poursuite de l'alluvionnement dans la plaine alluviale et le long du chenal actuel (très basse terrasse qui émerge en basses eaux).

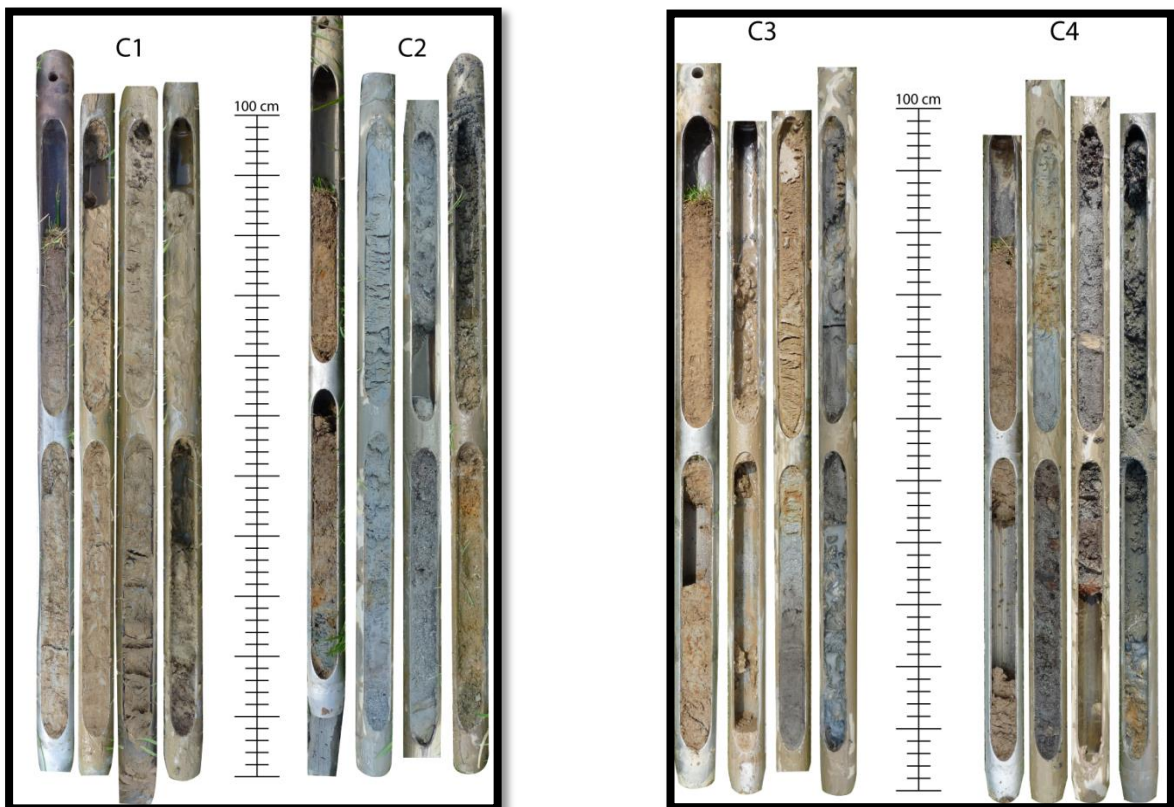


Figure 39 : Photo du remplissage sédimentaire sur les sondages C1 à C4

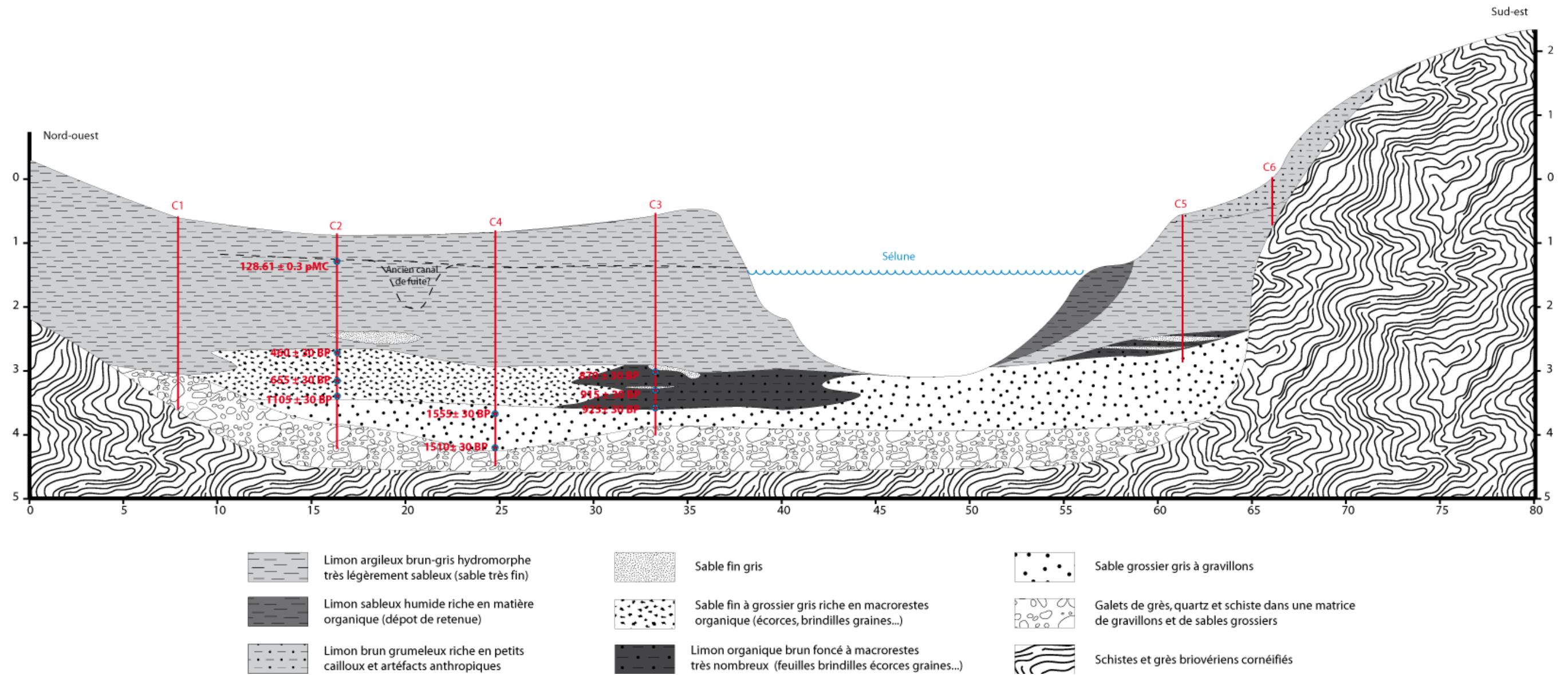


Figure 40 : Transect chronostratigraphique de la vallée de la Sélune en aval du moulin de Virey

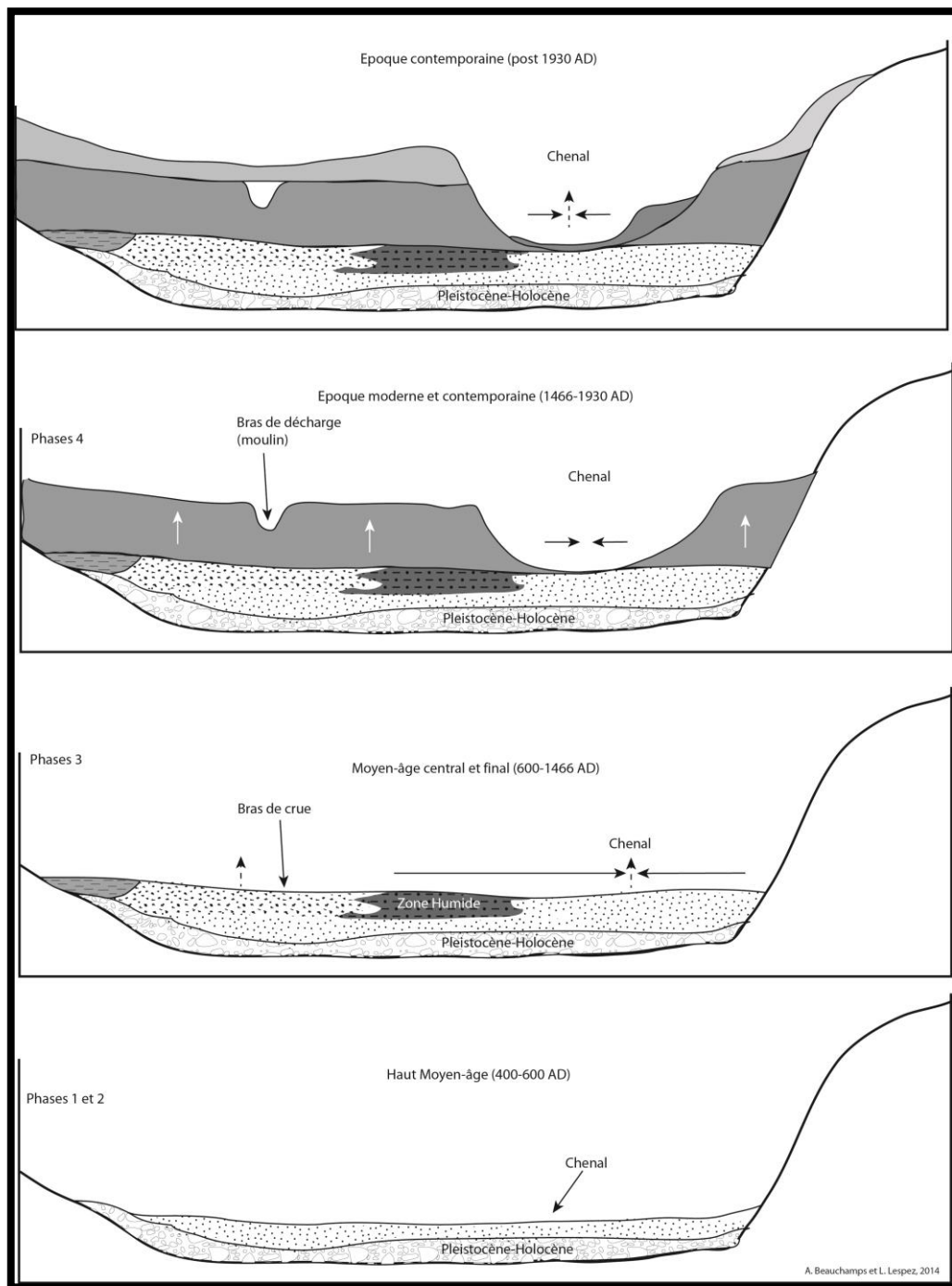


Figure 41 : Modèle d'interprétation de l'évolution hydromorphologique de la Sélune

Au bilan l'histoire de la Sélune au moulin de Virey s'inscrit dans le modèle défini pour la Normandie même si la chronologie et les modalités des métamorphoses sont spécifiques. Les recherches montrent que le chenal étroit entre ses berges hautes et limoneuses est le résultat d'une transformation très récente d'origine anthropique attribuable au dernier millénaire. Elle révèle l'importance des stocks sédimentaires mobilisables par le cours d'eau si un gain significatif d'énergie est obtenu suite à la suppression des ouvrages.

3.2.4 - Perspectives

Les recherches sur l'évolution de la Sélune sur le temps long vont être intensifiées lors de l'année 2015. Ainsi sur le site de Virey, la réalisation d'un nouveau transect réalisé au carottier est envisagée. Celui-ci sera effectué en amont du moulin de Virey afin de compléter celui réalisé à l'aval en 2014 et permettre d'envisager une estimation des volumes sédimentaires sur la totalité du tronçon. Sur ce transect, 5 sondages sont envisagés majoritairement sur la rive droite de la Sélune.

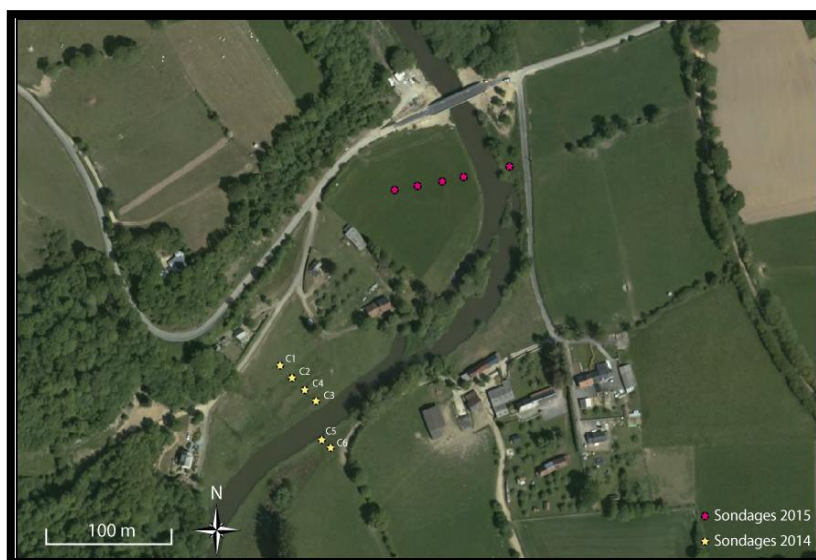


Figure 42 : Localisation des sondages envisagés en 2015 sur le site de Virey

Un autre transect sédimentaire est envisagé à l'aval du barrage de la Roche-qui-Boit. Ces sondages permettront de compléter l'évolution longitudinale du remplissage sédimentaire de la Sélune d'amont en aval. Ces nouveaux carottages serviront à comprendre comme sur le site de Virey, l'évolution holocène du remplissage sédimentaire de la Sélune afin de déterminer les stocks remobilisables de la plaine d'inondation par le cours d'eau en aval des deux barrages. Ce transect situé juste en amont du pont de la D78 sur la Sélune comportera 5 sondages réalisés sur la rive gauche de la Sélune

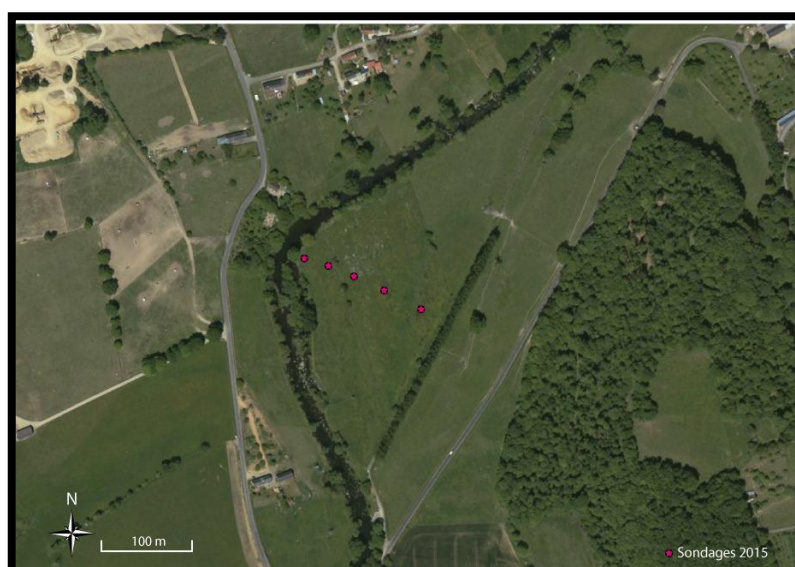


Figure 43 : Localisation des sondages envisagés en 2015 sur le site de La Roche

B- Biocénoses aquatiques : Suivi des flux migratoires de poissons par Hydroacoustique (DIDSON) et caractérisation biologique et toxicologique de la population de poissons dans la retenue de Vezins.

1 - Suivi des flux migratoires de poissons par Hydroacoustique (DIDSON)

1.1 - Contexte

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 2015, arasements des ouvrages à l'horizon 2020). 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 méthodologique de traitement des données mise en place en 2014 et présente les résultats d'août 2013 à juin 2014.

1.2 - Matériel et méthodes

1.2.1 - Localisation

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 44). 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).

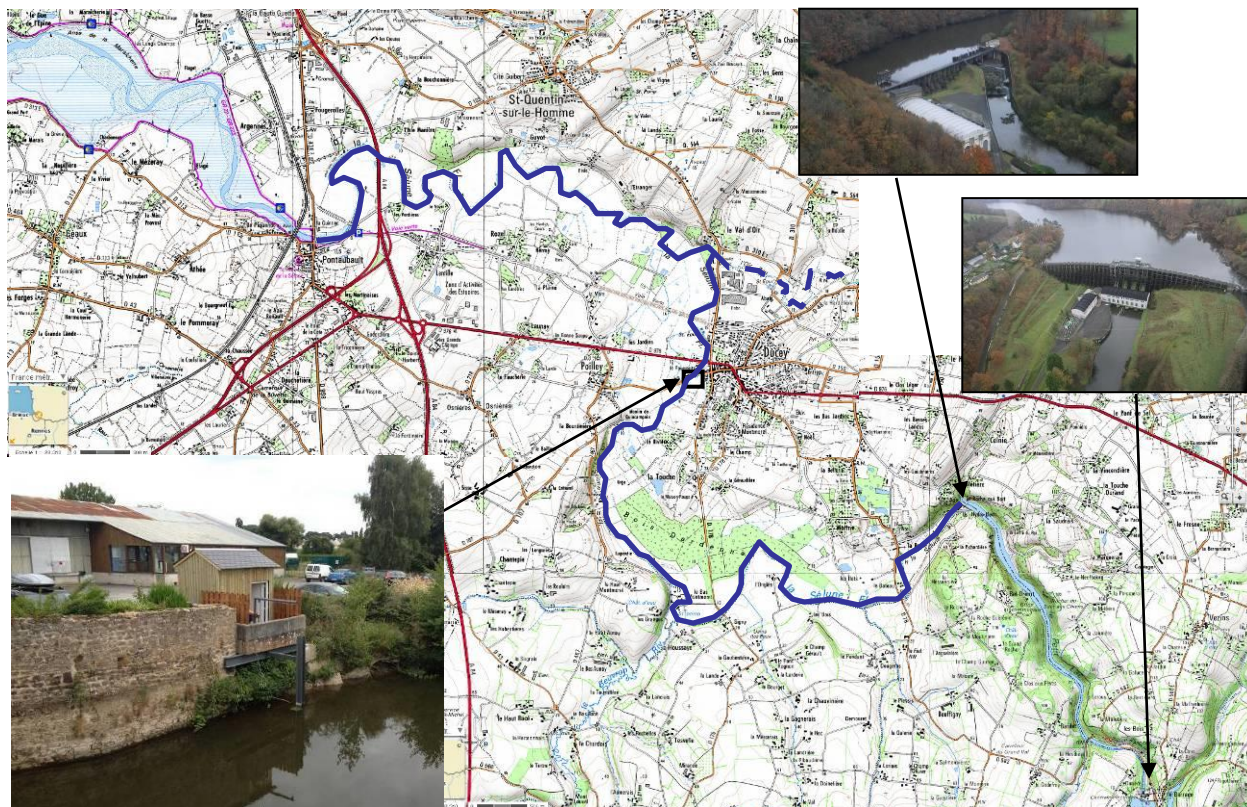


Figure 44 : Localisation du site de suivi de populations de poissons migrateurs et des deux barrages sur la Sélune (données IGN). En bleu : ligne pleine, le cours principal accessible aux migrateurs ; en pointillés, l'Oir, affluent rive droite de la Sélune, un des sites de l'Observatoire de Recherches en Environnement Inra Petits Fleuves Côtiers (ORE PFC)

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

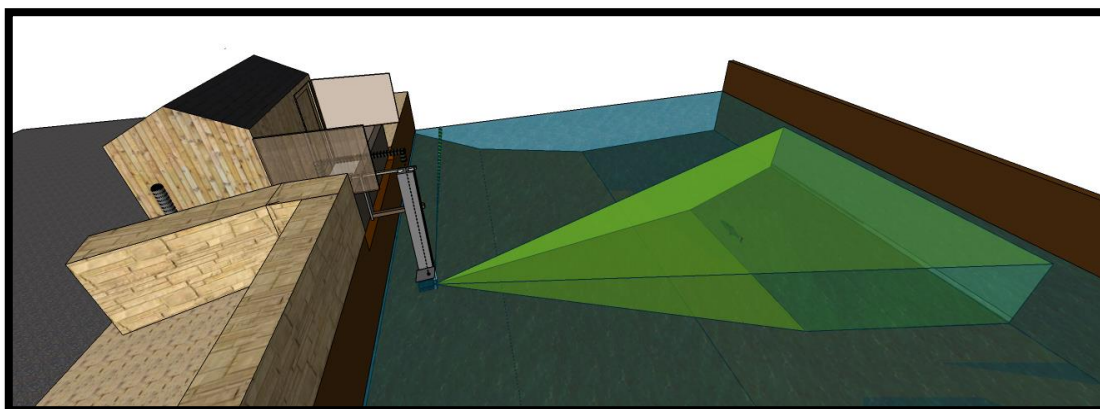


Figure 45 : Représentation tridimensionnelle de l'installation du DIDSON, en vert le faisceau de détection

Un support galvanisé permet de fixer le DIDSON, un courantomètre et deux enregistreurs de température (Figure 45). Ce support coulisse le long d'une poutre verticale grâce à l'action d'un treuil. Les trois enregistreurs peuvent donc être placés à une profondeur optimale dépendante des conditions hydrologiques

Les travaux d'installation se sont terminés le 26 juillet 2013, jour à partir duquel la caméra acoustique DIDSON a été mise en fonctionnement (Figure 46). Les acquisitions du DIDSON sont depuis permanentes. Un panneau « Station de comptage des poissons migrateurs » et une affiche explicative ont été installés sur l'abri. Cette communication permet d'apporter aux riverains et aux visiteurs quelques éléments d'informations sur l'utilité et le fonctionnement de cette installation.

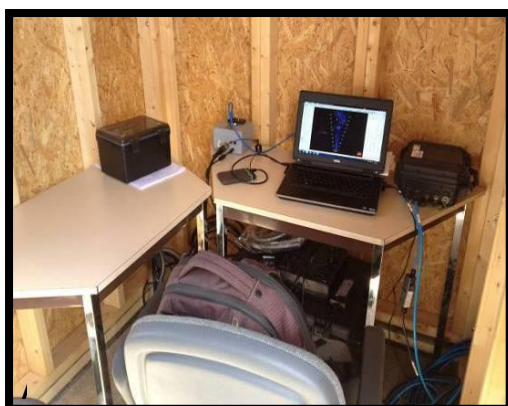


Figure 46 : Site d'installation fonctionnel (26 juillet 2013). A : intérieur de l'abri ; B : vue à partir du Vieux Pont de Ducey



Le 3 septembre 2014, un collègue plongeur de Géosciences Rennes- UMR6118, Alain Crave, a exploré le fond de la Sélune au droit du DIDSON (Figure 47).

Figure 47 : Visualisation de la granulométrie du fond de la Sélune avec plongeur (03 septembre 2014)

Grâce à une chaîne tendue au fond de la Sélune associée à un décamètre, le plongeur a filmé la section du fond insonifiée par le DIDSON (Figure 48).



Figure 48 : Sélection de prises de vues des vidéos réalisées lors de l'exploration du fond de la Sélune par un plongeur

La Sélune présente un fond sableux avec de nombreux blocs rocheux de tailles diverses. A 7 mètres du DIDSON, des sacs de gravats (issus d'anciens batardeaux) de très grande taille sont très visibles et créent une ombre sur les fichiers du DIDSON (Figure 49).

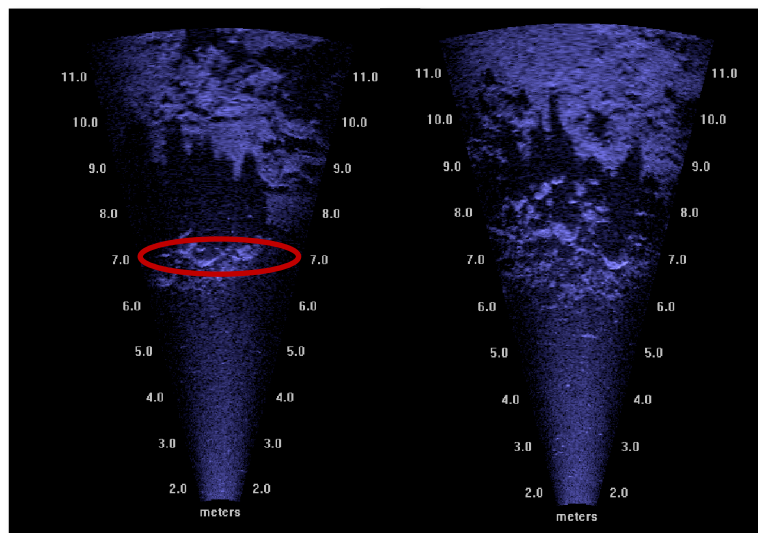


Figure 49 : Image du DIDSON avant retraits des sacs de gravats matérialisés en rouge (gauche) et après retraits des sacs de gravats (droite)

A l'aide du plongeur, plusieurs batardeaux ont été retirés ou aplanis afin de diminuer l'ombre portée causée par leur gros volume.

1.2.2 - Equipement

Les outils utilisés (Figure 50) pour le suivi des poissons migrateurs (DIDSON) et pour le suivi des conditions environnementales (courantomètre Hydreka Mainstream IV et enregistreurs de température Posensor) ont été décrits dans le rapport d'avancement précédent (Martignac *et al.*, 2014).



Figure 50 : Dispositifs de suivi installés sur la Sélune. A) La caméra acoustique DIDSON ; B) Courantomètre Hydreka Mainstream IV ; C) Logger de température Tidbit

1.2.3 - Stratégie d'échantillonnage et analyse des données

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

Afin de rester en mode haute fréquence (résolution des images maximisée induisant des mesures de tailles les plus précises possibles) et de travailler avec des fichiers de taille réduite, la stratégie d'échantillonnage pour l'enregistrement des données du DIDSON se découpe par séquences de 15 minutes et s'organise comme suit (Figure 51) :

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

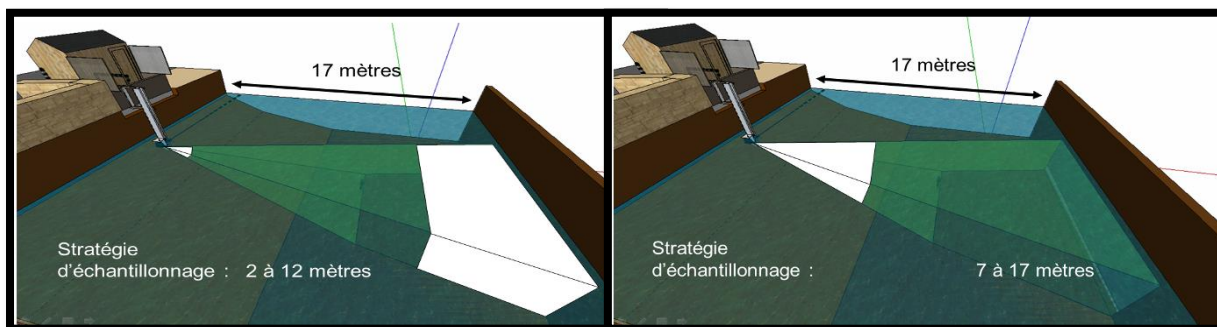


Figure 51 : Visualisation de la stratégie d'échantillonnage de l'acquisition des données DIDSON

Deux opérateurs sont chargés de traiter ces données. L'année 2014 a été consacrée à la définition et la mise en place d'une méthodologie optimisée de traitement des données. En effet, la procédure de dépouillement avec logiciel constructeur (Sound Metrics Corp.) étant très chronophage, l'utilisation d'un logiciel alternatif, Sonar5-Pro, en ce sens a été testée pour savoir s'il pouvait permettre de réduire le temps de dépouillement.

1.3 - Résultats et avancées méthodologiques

1.3.1 - Les avancées méthodologiques

1.3.1.1 - Validation des données extraites des enregistrements DIDSON

Deux expérimentations ont été menées en décembre 2013 et en février 2014 visant à évaluer la précision des données pouvant être extraites d'enregistrements DIDSON.

En décembre 2013, 9 saumons atlantiques (526 à 800 mm), 5 truites de mer (396 à 520 mm) et 2 truites de rivière (281 et 299 mm) ont été capturées au niveau de la passe piège du Moulin de Cerisel (station INRA - ONEMA) sur l'Oir, affluent de la partie basse de la Sélune. Les individus, identifiés et mesurés sont relâchés dans le bief du moulin et passent dans le faisceau de détection du DIDSON. En février 2014, pour compléter l'expérimentation, 20 carpes argentées ont été pêchées dans des étangs expérimentaux de l'INRA puis mesurées (517 à 673 mm). Les poissons ont été libérés un à un dans un bassin expérimental dans lequel le DIDSON a été installé. Les images propres à chaque individu sont analysées et les tailles des poissons insonnifiés mesurées individuellement manuellement par deux opérateurs différents, puis comparées aux tailles (totales) réelles des poissons. Chaque opérateur mesure sur un maximum d'images (*frames*), la taille du poisson.

Les résultats mettent en évidence qu'il existe une grande variabilité dans les mesures de taille des poissons sur les images. En moyenne, l'écart entre les tailles minimum et maximum mesurées par les deux opérateurs pour un même individu est de 17,3 cm.

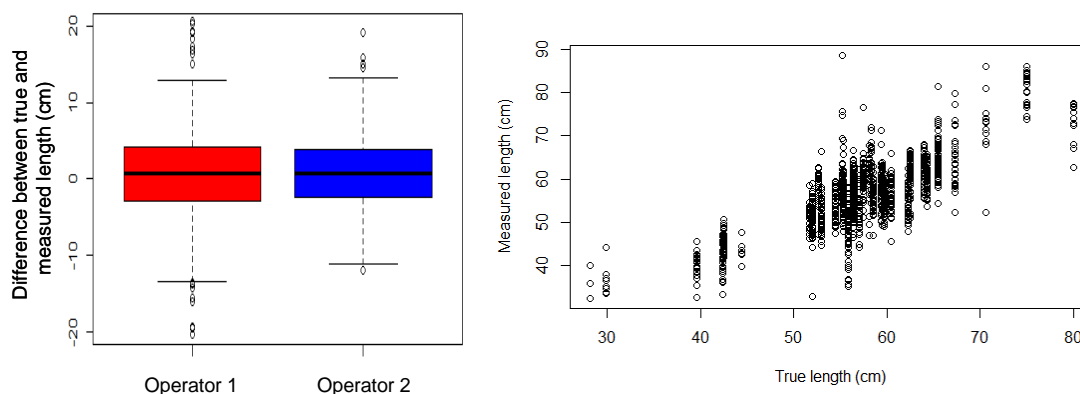


Figure 52 : A gauche : variabilité des mesures de tailles des deux opérateurs pour chaque poisson ; à droite : différence centimétrique entre les tailles réelles et les tailles mesurées par chaque opérateur

La moyenne des tailles mesurées sur image par les opérateurs **n'est pas différente significativement de la taille réelle du poisson** (Figure 52 gauche). De plus il n'existe **aucune différence significative entre les mesures des opérateurs** (Figure 52 droite). L'analyse plus fine des variables influençant la précision des mesures de tailles met en évidence que ni l'angle du poisson dans le faisceau, ni la distance DIDSON – poisson (*range*) n'influencent la précision de la mesure. Néanmoins, la taille de l'individu joue un rôle significatif sur la précision de la mesure : il y a une tendance pour la taille mesurée à une surestimation chez les poissons les plus petits et une sous estimation pour les plus grands. Les poissons d'une taille avoisinant 55 cm sont ceux dont les mesures sont les plus précises (Figure 53).

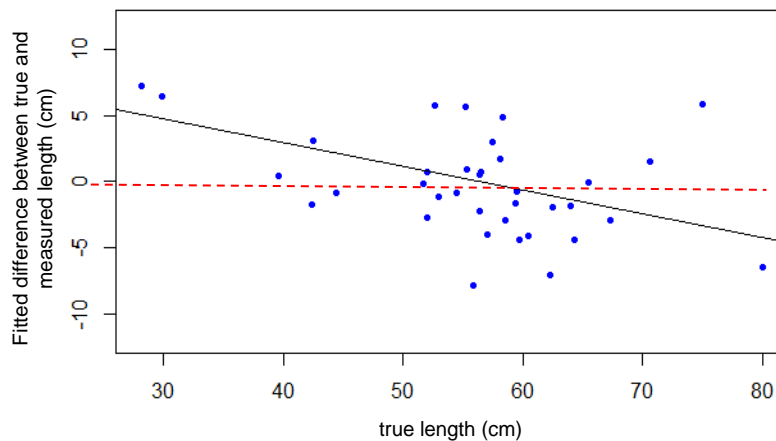


Figure 53 : Différence (calculée avec un modèle linéaire mixte généralisé) entre la taille mesurée par les opérateurs et la taille réelle de chacun des poissons en fonction de la taille des individus

Les données de taille des poissons extraites des enregistrements du DIDSON sont donc pertinentes et précises. Néanmoins, le choix des images est très important pour ne pas biaiser la mesure de taille : nos résultats témoignent de la grande variabilité des mesures. Les séquences doivent être choisies consciencieusement pour ne pas biaiser la mesure.

1.3.1.2 - Le logiciel Sonar5-Pro : avantages et limites

Sonar5-Pro est un logiciel permettant l'analyse de données hydroacoustiques à des fins biologiques développé par l'Université d'Oslo (Balk and Lindem, 2003). Un module spécifique aux données DIDSON a été implémenté récemment, celui-ci dispose d'un outil de tracking automatique au fonctionnement similaire à celui utilisé pour les échosondeurs à faisceaux partagés mais adapté aux contraintes du DIDSON. Il s'agit là d'analyser les données via des images et non pas via des données acoustiques. Au contraire du logiciel constructeur de Sound Metrics Corp. (SMC), Sonar5-Pro dispose d'un choix de paramètres, filtres et descripteurs très important, ce qui peut rendre ce logiciel peu intuitif pour un opérateur inexpérimenté. Il est ainsi possible de paramétrer l'outil de tracking automatique en fonction des propriétés morphologiques et du comportement des poissons appartenant à l'espèce cible. L'export des cibles pistées est facile et optimisé.

La première étape a été de s'assurer de l'efficacité du tracking et de la pertinence des descripteurs des cibles pistées par Sonar5. Ainsi, 16 fichiers de 30 minutes (enregistrés le 12 août 2014, lors de conditions d'étiage, soit 2,5 m³/seconde) ont été analysés à l'aide du logiciel, en ciblant les poissons de plus grande taille (paramètre « longueur du périmètre » : 17 *samples*, soit près de 34 cm¹). Chaque cible détectée est ensuite validée visuellement sur le logiciel SMC et mesurée manuellement sur l'image, s'il s'agit bien d'un poisson. Dans le cas contraire, le type d'erreur est catégorisé (Tableau 7).

¹ Le critère « Longueur du périmètre » sur le logiciel Sonar5-Pro s'exprime en nombre de *samples*. Cette valeur peut être convertie en unité métrique en fonction de la longueur de la fenêtre d'acquisition programmée sur le DIDSON. Lors d'un enregistrement en haute fréquence (HF, 1800 MHz) et sur une fenêtre de 10 mètres, 1 *sample* = 1.95 cm.

Tableau 7 : Résultats des comparaisons entre les cibles détectées via le pistage automatique et les validations visuelles

Pistage automatique	248 cibles	
Validation visuelle	251 cibles	
Poissons bien détectés	120 cibles	48 %
Erreurs dans le pistage	131 cibles	52%
<i>Erreur 0 : poisson non détecté</i>	3 cibles	1 %
<i>Erreur 1 : doublon</i>	59 cibles	23 %
<i>Erreur 2 : objet dérivant</i>	12 cibles	5 %
<i>Erreur 3 : agrégation</i>	54 cibles	22 %
<i>Erreur 4 : cible indéterminée</i>	3 cibles	1 %

D'après ces résultats, 48% des cibles détectées correspondent bien à des poissons qui auraient été comptés individuellement lors de leur passage dans le faisceau de détection dans le cas d'une analyse visuelle de la totalité du fichier. Deux principales sources d'erreurs composent les 52 % de mauvais pistages par l'outil de Sonar5-Pro : les poissons dont le même passage dans le faisceau sont comptés plusieurs fois (23% des cibles totales, soit 45% des erreurs) et les cibles résultant du chevauchement des échos de deux petits poissons (22% des cibles totales, soit 41% des erreurs). Seuls 3 poissons d'une taille supérieure à 30 cm n'ont pas été pistés (2% des poissons). **Ainsi, la détection des poissons s'avère très efficace dans les conditions hydrologiques de ce premier test (98% des poissons passant dans le faisceau ont bien été détectés) mais l'abondance estimée des poissons est très nettement surestimée avec une estimation plus de deux fois supérieure à l'abondance réelle (248 passages au lieu des 123 effectifs).** Le comptage multiple de poissons peut s'expliquer par une discontinuité dans le passage du poisson (séquence déplacement - stabulation - déplacement, changement d'angle de passage, voire demi-tour) (Figure 54).

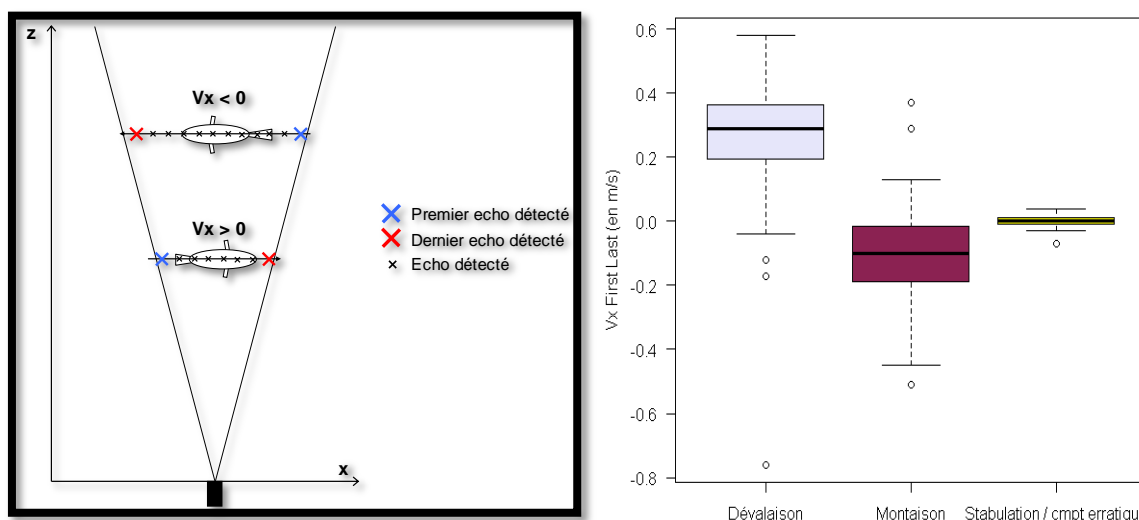


Figure 54 : A gauche, représentation de la quantification des sens de passage des poissons détectés dans le faisceau du DIDSON, V_x : vitesse de nage en m/s entre le 1er et le dernier écho détecté ; à droite, boxplot des « V_x First Last » (en m/s) pour les trois comportements différents observés visuellement (Dévalaisons : n=75 ; Montaisons : n=95 ; Stabulation / comportement erratique : n=9)

Les descripteurs comportementaux et morphologiques des poissons validés² via Sonar5 ont été comparés aux observations visuelles sur le logiciel SMC. Les résultats mettent en évidence que **la direction de la nage du poisson peut être efficacement exportée par le paramètre V_x First/Last**. Dans le cadre de notre site sur la Sélune, le DIDSON est installé en rive droite et est dirigé vers la rive gauche, les poissons dont le V_x First/Last est négatif observent comme attendu un déplacement de l'aval vers

² 120 poissons effectivement détectés par Sonar5 + les 59 cibles issues de poissons déjà comptabilisés

l'amont. A l'inverse, les poissons dévalant ont un Vx First/Last positif. Les poissons ayant un comportement erratique (stabulation et/ou demi-tour) observent des valeurs proches de 0.

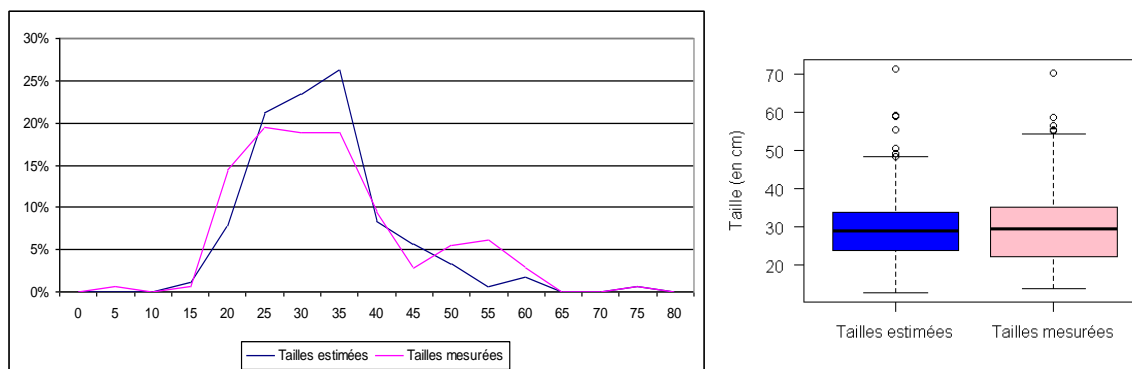


Figure 55 : Courbes des tailles estimées et mesurées des pistages automatiques validés et des poissons déjà comptabilisés (erreur 1) (n=179)

Aucune différence significative n'est observée entre les distributions des tailles estimées via l'outil de pistage automatique et celles des tailles mesurées manuellement sur image ($p=0,31$). (Figure 55) La taille moyenne des poissons pistés par le logiciel est inférieure d'1,1 cm à la moyenne des cibles mesurées (30,1 contre 31,6 cm). On observe néanmoins une proportion nettement moins importante de gros individus (taille > 45 cm) dans la distribution des tailles estimées par Sonar5 que dans celle des tailles mesurées sur image.

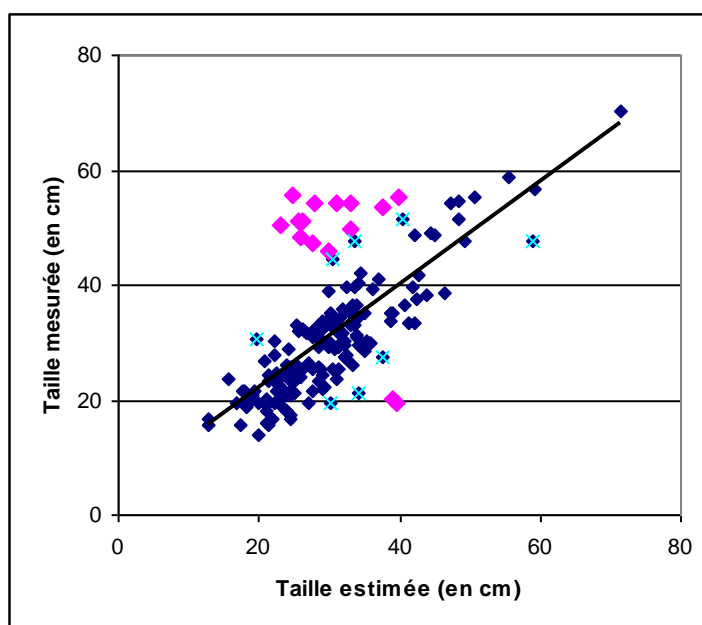


Figure 56 : Relation entre les tailles estimées automatiquement par SONAR5-PRO, en abscisse et les tailles mesurées manuellement, en ordonnées (n=179). En rose, les poissons dont l'écart entre taille estimée et taille mesurée excède 15 cm, en bleu clair, ceux dont l'écart de taille est compris entre 10 et 15 cm

La figure 56 met en évidence que **la majorité des poissons d'une taille mesurée supérieure à 45 cm voit leur taille nettement sous-estimée par Sonar5**. Cette sous-estimation peut atteindre 20 cm.

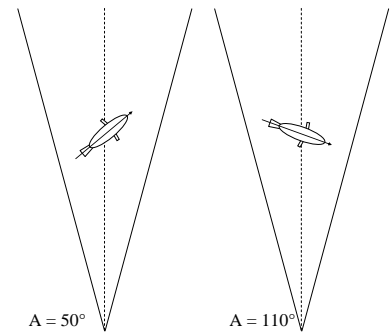
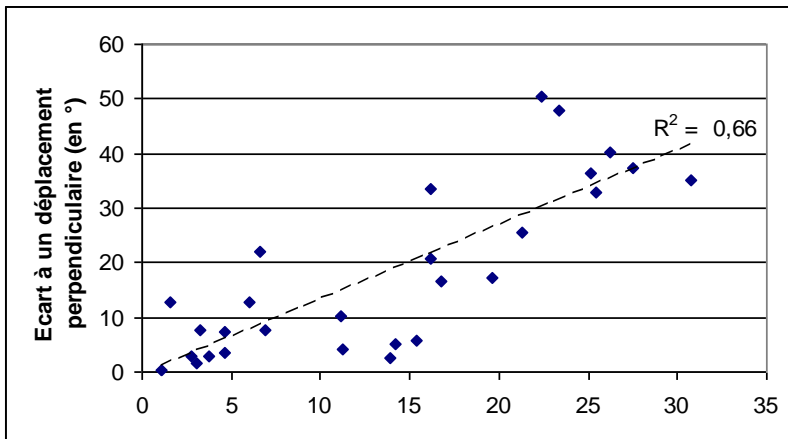


Figure 57 : Relation entre les tailles estimées automatiquement par SONAR5-PRO, en abscisse et les tailles mesurées manuellement, en ordonnées (n=179). En rose, les poissons dont l'écart entre taille estimée et taille mesurée excède 15 cm, en bleu clair, ceux dont l'écart de taille est compris entre 10 et 15 cm

La mise en relation de la sous-estimation de la taille des poissons par Sonar5 et de l'angle du corps du poisson dans le faisceau révèle une relation claire : plus l'angle de passage du poisson s'éloigne d'un passage perpendiculaire au faisceau, plus sa taille est sous-estimée par Sonar5 (Figure 57).

En conclusion, Sonar5-Pro dispose d'une efficacité très importante dans la détection des individus en période d'étiage, mais biaise l'abondance des passages de poissons dans le faisceau de détection. Les directions sont interprétées de façon pertinente. Les tailles des poissons, notamment les plus gros, ont tendance à être minimisés si les angles de passage s'éloignent de la perpendiculaire. **Une validation visuelle et une mesure manuelle sont par conséquent indispensables.**

1.3.1.3 - Définition d'une méthodologie de traitement des données DIDSON spécifique aux saumons atlantiques avec Sonar5-Pro

Suite à ces résultats, une méthodologie d'analyse des données enregistrées a été définie de manière suivante :

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

2) Critères de sélection des saumons potentiels :

- Passage à une distance raisonnable du DIDSON : « **Range** » ≥ 2 m. Les passages proches du sondeur ont démontré, lors du traitement de fichiers enregistrant sur un champ plus proche du sonar, leur incapacité à enregistrer des propriétés de passage pertinentes.

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

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

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

+ **Aspect angle** $\geq 90 \pm 15^\circ$ et *Fish length* ≥ 35 cm. Les résultats des analyses témoignent d'une influence nette de l'angle de la trajectoire des plus grands poissons dans le faisceau. Les poissons sélectionnés par ce double critère permettront de ne pas passer à côté des saumons potentiels dont la taille serait sous-estimée par le pistage automatique.

3) Vérification de chacune des cibles sélectionnées par Sonar5-pro : au regard des résultats obtenus, une validation visuelle est **indispensable** pour s'assurer de la pertinence de l'abondance des passages de saumons devant le DIDSON. Au-delà des problèmes de comptage multiple et de sous-estimation de la taille des poissons, Sonar5-pro ne peut pas décrire les comportements des poissons dans leur milieu naturel. L'observation de tout comportement trophique d'une cible sélectionnée (prédation, fouille dans le sédiment, broutage des algues sur les blocs), d'une nage anguilliforme (anguille, lamproie) ou tout autre comportement caractéristique d'une autre espèce (tel qu'un bull d'aloise) indique que la cible n'est pas un saumon. Si la cible est (ou peut être) un saumon atlantique, l'opérateur mesure cinq fois la taille du poisson sur les images qu'il estime être les plus représentatives. S'il ne s'agit pas d'un saumon, il catégorise le type de cible dont il s'agit selon le Tableau 8.

Tableau 8 : Catégories d'erreur observées parmi les cibles sélectionnées par Sonar5-Pro et n'étant pas des saumons atlantiques

Erreur	Description	Commentaires éventuels
01	Objet dérivant	Canoe, branchages, arbres, hydrophytes, panache de sédiments...
02	Ombres de poissons ou de bancs de poissons	
03	Agglomération de cibles	Plusieurs petits poissons, deux poissons
04	Dévalaison	
05	Demi-tour	
06	Poisson trop petit pour être un saumon	
07	Autre espèce	Espèce migratrice ou résidente + justification + mesure si p. migrateur
08	Banc de poissons qui stabule dans le faisceau	Gamme de taille des poissons
09	Banc de poissons qui traverse le faisceau	Gamme de taille des poissons
10	Saumon déjà pisté	Numéro du saumon potentiel
11	Parasites dus à un problème technique	Justification
12	Poisson non mesurable	Crue, parasite trop important, passage trop rapide...

1.3.1.4 - Validation de la méthode, efficacité et prochaines étapes

Cette méthodologie a été appliquée sur les données collectées entre août 2013 et juillet 2014. En comparant l'analyse visuelle des données (visualisation à vitesse accélérée - x20 - de l'intégralité des fichiers, sélection des individus répondant aux critères et mesure de la taille des saumons potentiels) à une analyse en utilisant cette méthodologie, **le temps de traitement est divisé par trois.**

Lors de la validation des cibles, peu de saumons atlantiques non sélectionnés par nos critères ont été observés. L'efficacité de la méthodologie en termes de nombre de saumons détectés sur le nombre de saumons effectifs reste à mesurer et sera quantifiée au début de l'année 2015. Dans ce but, plusieurs fichiers seront aléatoirement sélectionnés pour estimer le nombre de saumons non détectés par la méthode. Ce protocole sera également l'occasion d'effectuer une comparaison entre opérateurs pour s'assurer que les validations subjectives de saumons potentiels sur la base de critères comportementaux soient similaires. De plus, l'efficacité de la méthodologie sur les grands salmonidés d'un site différent sera également estimée en analysant les séquences de fichiers d'enregistrements de grands salmonidés (saumons atlantiques et truites de mer) et transmises par le groupe du *Natural Resources Wales* utilisant la technologie DIDSON.

Lors de la première campagne, les opérateurs ont volontairement passé du temps à décrire les cibles sélectionnées qui ne sont pas des saumons atlantiques, voire pas des poissons. L'analyse des propriétés des passages de ces cibles permettra d'affiner les critères de sélection et de sélectionner des critères supplémentaires qui viseront à diminuer le nombre de fausses cibles sans passer à côté de migration de saumons. Des tests comparables seront réalisés sur des images enregistrées dans d'autres conditions hydrologiques (période crue par exemple – (Tableau 9))

1.3.2 - Résultats du suivi biologique (2013/2014)

1.3.2.1 - Evolution des conditions environnementales

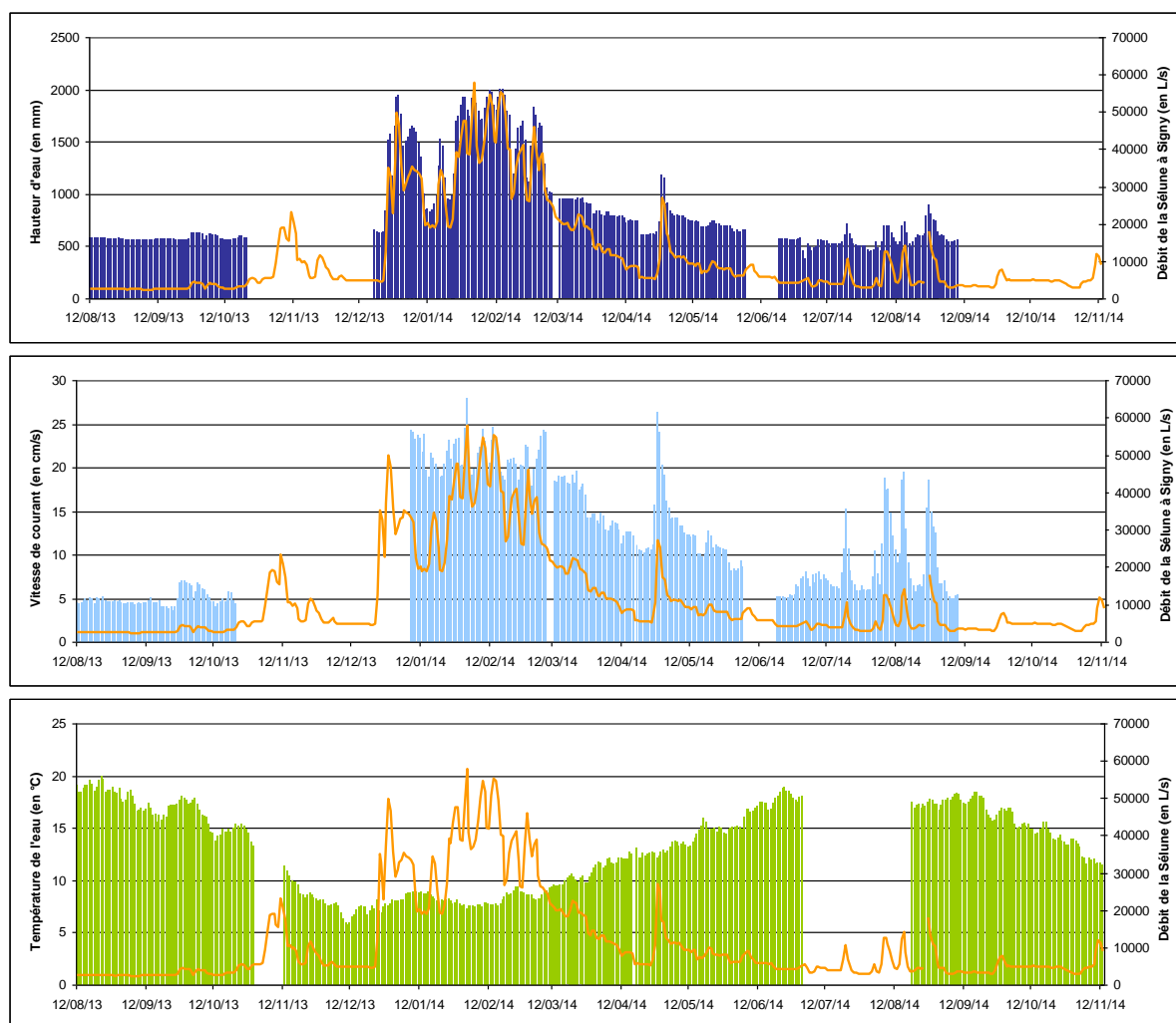


Figure 58 : Chroniques des données environnementales enregistrées sur le site de suivi DIDSON, et comparaison avec les débits du fleuve enregistrés à Signy (en L/s). De haut en bas : hauteurs d'eau (en mm), vitesse de courant (en cm/s) et température de l'eau (en °C)

Certaines périodes n'ont pas pu être couvertes par les enregistreurs, ce qui est dû à des dysfonctionnements du matériel. Les données enregistrées montrent une forte relation entre les moyennes journalières des valeurs de vitesses de courant ($y = 0,0004x + 6,0913$; $R^2 = 0,7817$), et surtout de hauteurs d'eau ($y = 0,0302x + 449,7$; $R^2 = 0,97$) enregistrées sur le site avec les débits moyens quotidiens de la Sélune à Signy (4,4 km en amont). L'utilisation de cette relation permettra d'estimer les données manquantes correspondant aux périodes non couvertes. Durant cette période, la température de l'eau a varié entre 5 et 20°C avec un régime conforme à un cours d'eau situé en pays tempéré.

❖ **Abondance des géniteurs et première estimation du flux de saumons atlantiques**

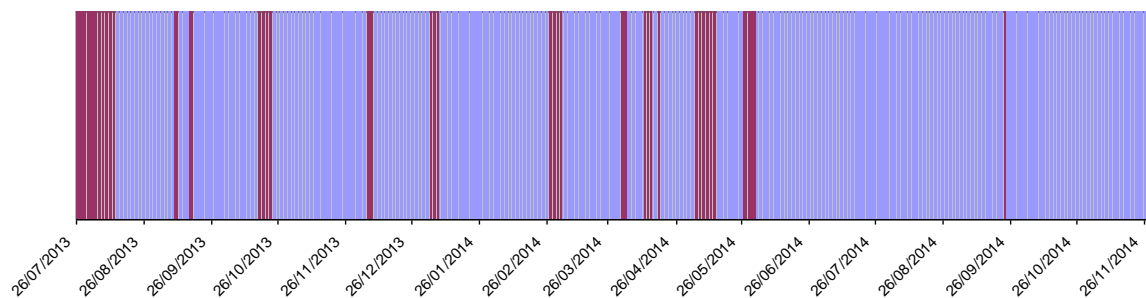


Figure 59 : Données disponibles enregistrées par le DIDSON sur la Sélune entre le début des acquisitions (26 juillet 2013 et le 30 novembre 2014). En bleu, les données disponibles, en rouge les données inexploitablees ou inexistantes.

427 des 493 jours d'acquisition sont disponibles et exploitables (Figure 59). A partir du 12 août 2013, après optimisation de la position du DIDSON et des enregistrements, la perte de données a été minimale (de l'ordre de 10% des données). Ces pertes ont été dues à la saturation du disque dur externe et à l'arrêt de l'enregistrement du à différents facteurs (expérimentations, travaux de l'abri, colmatage des lentilles par les matières fines et surtout coupures d'alimentation électrique).

A ce jour, 262 jours de données ont été analysés sur les 427 jours collectés jusqu'au 30 novembre 2014.

Tableau 9 : Bilan des enregistrements du DIDSON sur la Sélune sur la période juillet 2013 à novembre 2014, nombre de cibles sélectionnées par Sonar5-Pro et nombre de saumons atlantiques validés par mois. Les mois en vert sont ceux analysés ou en cours d'analyse, les mois en rouge sont les données enregistrées pas encore analysées.

Mois	Jours d'acquisitions valides	Jours analysés	Nombre de cibles sélectionnées	Nombre de saumons atlantiques
Juillet 2013	0	0	0	?
Août 2013	19	19	9 436	83
Septembre 2013	26	26	15 376	46
Octobre 2013	24	24	5 209	28
Novembre 2013	30	30	1 596	54
Décembre 2013	28	28	1 890	7
Janvier 2014	27	27	9 641	2
Février 2014	26	26	3 385	2
Mars 2014	27	27	1 311	23
Avril 2014	23	23	1 242	21
Mai 2014	16	16	1 346	61
Juin 2014	29	16	12 961	53 + ?
Juillet 2014	31	0	8 114	?
Août 2014	31	0	?	?
Septembre 2014	29	0	?	?
Octobre 2014	31	0	?	?
Novembre 2014	30	0	?	?
Somme	427	262	71 507	380

Les résultats préliminaires du tableau 9 sont extraits de ce jeu de données. Comme attendu, à la lecture des fichiers lors de la validation des cibles, de très nombreuses informations peuvent en être extraites concernant les saumons atlantiques, ainsi que sur d'autres espèces de migrateurs ou les espèces résidentes.

71 507 cibles ont été sélectionnées, 56 363 ont été vérifiées visuellement. Les vérifications de chacune des cibles sur le logiciel SMC font état de la migration de 380 saumons atlantiques devant le DIDSON (0,7% des cibles sélectionnées, soit environ un saumon toutes les 150 cibles vérifiées) entre le 12 août 2013 et le 20 juin 2014. Chacune des cibles n'étant pas un saumon atlantique a été catégorisée.

Tableau 10 : Description des cibles sélectionnées par la méthodologie Sonar5-Pro en fonction du tableau 8 sur la période août 2013 à mai 2014

Code erreur	Signification	Nb cibles	% cibles
SAT	Saumon atlantique	380	1 %
1	Objet	14 520	26 %
2	Ombres	17 834	32 %
3	Agrégation	799	1 %
4	Dévalaison	490	1 %
5	Demi-tour	509	1 %
6	Trop petit	916	2 %
7	Autre espèce	4 528	8 %
8	Banc immobile	4 939	9 %
9	Banc en mouvement	7 703	14 %
10	Saumon déjà compté	170	< 1 %
11	Parasites	3 522	6 %
12	Poisson non mesurable	53	< 1 %

Trois sources d'erreurs principales représentent 80% des cibles sélectionnées : les ombres portées de poissons et leurs interstices considérés comme des poissons à part entières (32%), les objets dérivant devant le DIDSON, hydrophytes, canoës, branchages et panaches de sédiments (26%) et les bancs de poissons résidents stabulant ou passant dans le faisceau (22%). L'analyse des propriétés propres à ces cibles et la comparaison avec celles des saumons validés pourra affiner nos critères de recherche par le biais d'analyses discriminantes (forme de la cible, surface de cluster, nombre d'échos, vitesse de passage...). Affiner nos critères ou en choisir de nouveaux pour ne pas sélectionner ces cibles sans perdre de saumons supprimerait plus des trois quarts des cibles sélectionnés à tort, et diminuerait d'autant le temps passé sur la phase de validation.

380 saumons atlantiques ont été identifiés sur les données disponibles analysées. Cependant, il est important de rappeler que toute la section mouillée n'est pas continuellement couverte par le faisceau de détection. Les données sont enregistrées la moitié du temps entre 2 et 12 mètres, l'autre moitié du temps entre 7 et 17 mètres. Les passages de saumons se répartissent dans le chenal comme représenté à la Figure 60.

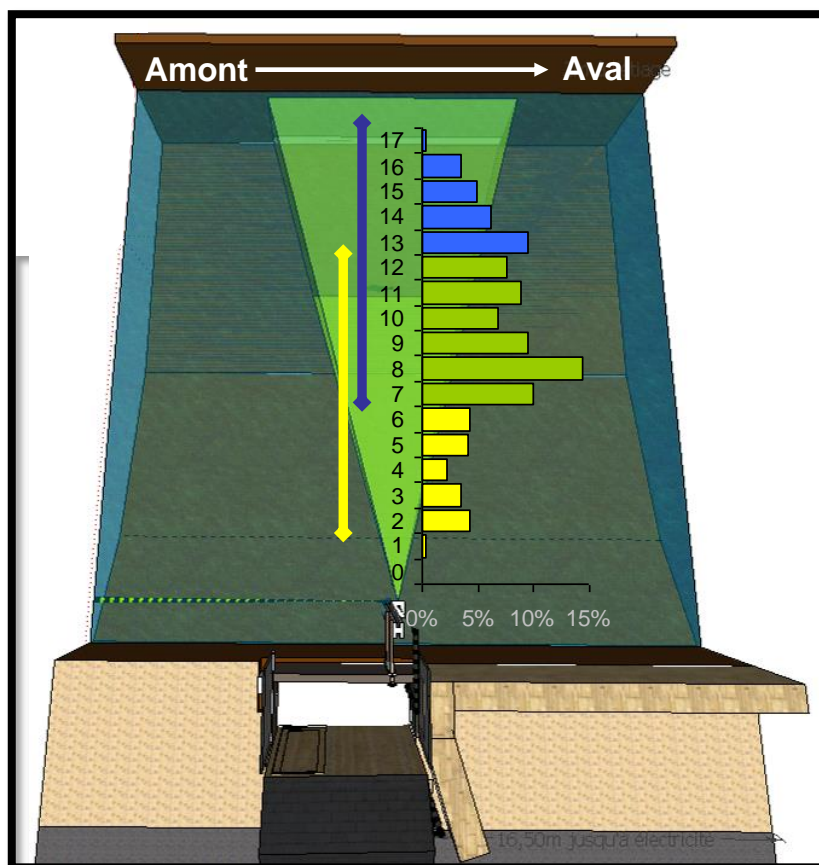


Figure 60 : Pattern de passage des saumons atlantiques dans le chenal (n=380). En jaune, la stratégie d'échantillonnage 2 à 12 mètres (50% du temps), en bleu, la stratégie d'échantillonnage 7 à 17 mètres (50% du temps). La zone verte correspond au chevauchement des deux stratégies (couverture 100% du temps)

Comme attendu, la zone la plus couverte est également la zone sur laquelle on observe le plus de passage de saumons : la zone 7 à 12 mètres est commune aux deux stratégies et regroupe 56% des passages, soit 212 saumons. Une extrapolation des passages aux deux zones couvertes la moitié du temps (2 à 7 mètres et 12 à 17 mètres) estimerait les passages de saumons dans le faisceau du DIDSON à 548 individus.

De plus, le faisceau couvre avec les deux fenêtres d'enregistrement près de 20 des 28 m² de la section mouillée, soit 70% de celle-ci en moyenne sur la période d'étude³. En prenant comme hypothèse une uniformité des passages sur l'intégralité de la section mouillée, l'abondance des géniteurs de saumons entre août 2013 et juin 2014 pourrait être extrapolée à 783 passages au droit du DIDSON.

Ces estimations sont toutefois à prendre avec de grandes précautions. Des modélisations plus précises seront réalisées au début de l'année 2015 pour obtenir une estimation statistiquement plus pertinente du stock de saumons migrateurs colonisant la Sélune. La mise en place d'une passe piège sur le cours principal de la Sélune couplée à l'utilisation du DIDSON devrait permettre d'estimer avec une bonne précision le flux de saumons adultes migrants et dans un second temps de valider les estimations faites par le DIDSON.

³ Surface calculée sur la moyenne des hauteurs d'eau enregistrées sur le site sur la période août 2013 à juin 2014. La surface totale de la section mouillée au droit du DIDSON peut varier de 24 m² à l'étiage (couverture de 84% par le faisceau du DIDSON) à 47 m² sur la période de hautes eaux (couverture de 42% par le faisceau du DIDSON).

❖ **Analyse des propriétés morphologiques des saumons atlantiques en lien avec les périodes de migration : description des composantes castillons et saumons de plusieurs hivers de mer**

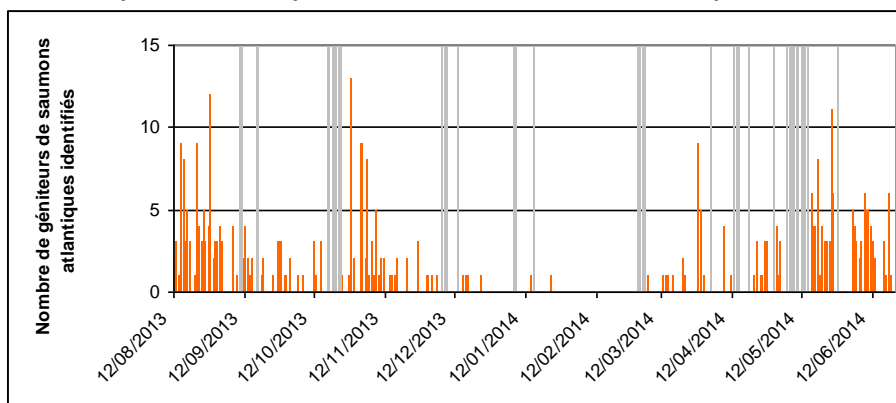


Figure 61 : Chronique des passages de saumons atlantiques sur la Sélune entre le 12 août 2013 et le 20 juin 2014. En grisé, les données non enregistrées ou inexploitable

Les migrations de saumons se répartissent autour de pics clairement définis, notamment en août, en novembre, en avril ou en juin (Figure 61) mais aucune données pour le mois de juillet n'est encore disponible. Ces migrations s'observent parfaitement à partir de la chronique des observations journalières.

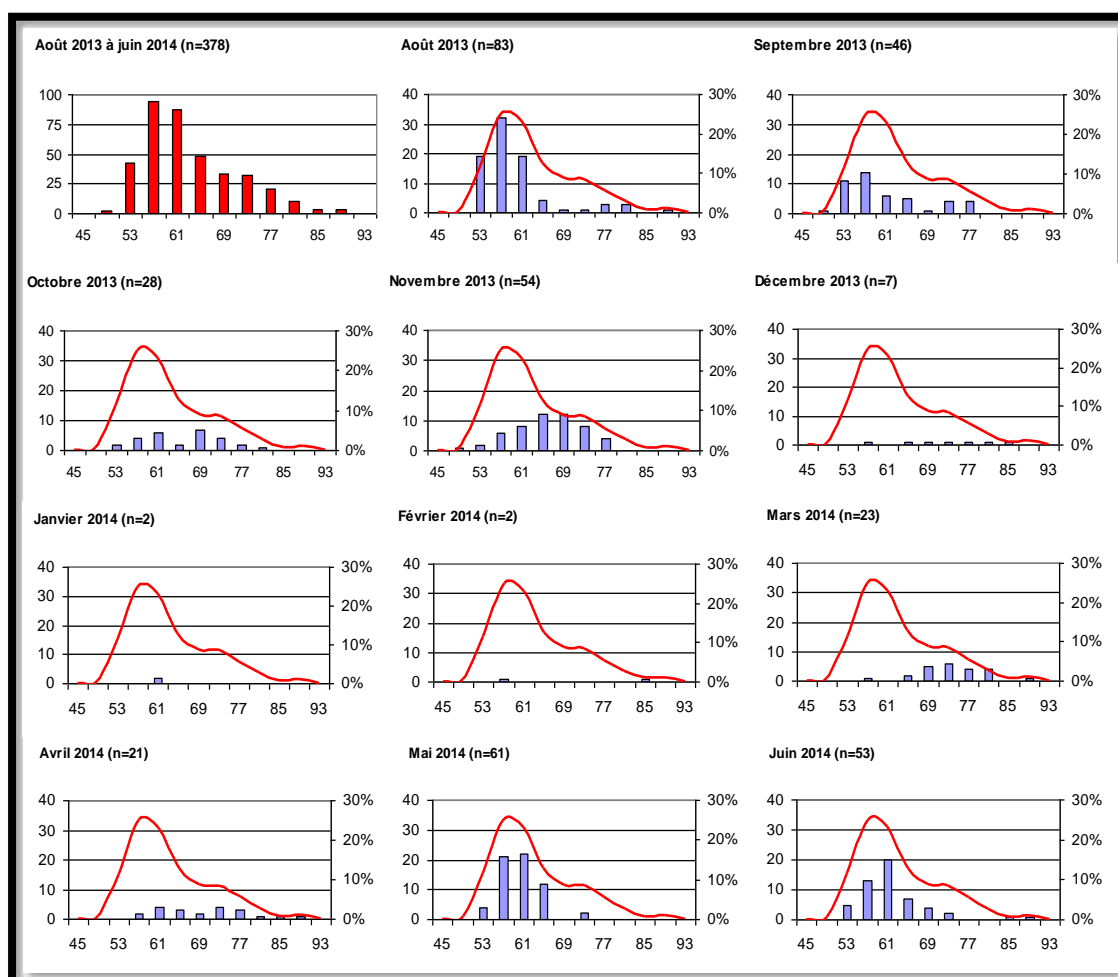


Figure 62 : Distribution des tailles mesurées des saumons atlantiques identifiés chaque mois de la période août 2013 à juin 2014 (histogrammes bleus) et comparaison à la distribution totale des tailles des 380 saumons identifiés sur la Sélune au cours de la même période (courbe rouge). En abscisse, les tailles en cm et en ordonnée, les effectifs.

L'étude des distributions des tailles des saumons au cours des différentes périodes de l'année est en accord avec les connaissances de l'espèce : en mars et avril, le nombre de saumons d'une taille supérieure à 65 cm est plus élevé que lors des mois de mai, juin, août et septembre. Il s'agit dans ce cas de migrations de saumons de printemps, qui laissent progressivement leur place aux migrations des castillons (1+ an de mer). Lors de la période automnale (octobre, mais surtout novembre), d'après les tailles des individus observées, les deux classes de géniteurs semblent quitter les parties basses du fleuve, passer devant le DIDSON pour ensuite remonter vers les zones de frai plus en amont sur la Sélune.

Ces données morphologiques peuvent être comparées aux données existantes sur la population de saumons de la Sélune : captures à la ligne sur la Sélune (données ONEMA) et aux données biométriques des captures au niveau de la passe piège ONEMA – INRA du Moulin de Cerisel sur l'Oir, affluent de la Sélune.

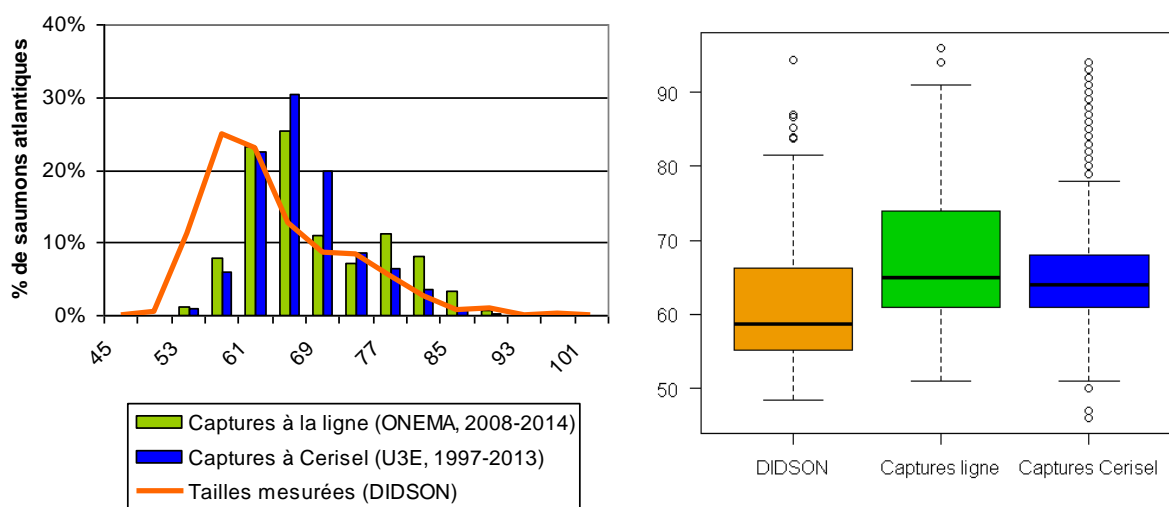


Figure 63 : Comparaison de la distribution des tailles mesurées manuellement des saumons atlantiques de la Sélune sur les images du DIDSON avec les données biométriques des captures à la ligne de l'ONEMA (2008 à 2014, n=626) et des captures à la passe piège du Moulin de Cerisel (ONEMA / INRA, 1997 à 2013, n=4106)

La comparaison graphique de ces données morphologiques met en évidence une légère différence dans la distribution des tailles. Les saumons observés sur les images DIDSON ont des tailles mesurées plus faibles que celles incluses dans les bases de données ONEMA et dans une moindre mesure, les captures à Cerisel (Figure 63). Cette différence peut être due à une sous-estimation des mesures de la taille des saumons sur les données DIDSON.

En fixant la limite castillons - saumons de printemps à 70 cm⁴, 314 castillons (83%) et 66 saumons de printemps (17%) auraient été observés sur la période août 2013 à juin 2014 sur la Sélune.

⁴ Il s'agit également de la limite fixée administrativement sur l'arrêté préfectoral des autorisations de captures de saumons atlantiques dans la Manche.

❖ **Analyse de l'activité migratoire des saumons atlantiques de la Sélune en lien avec les conditions environnementales**

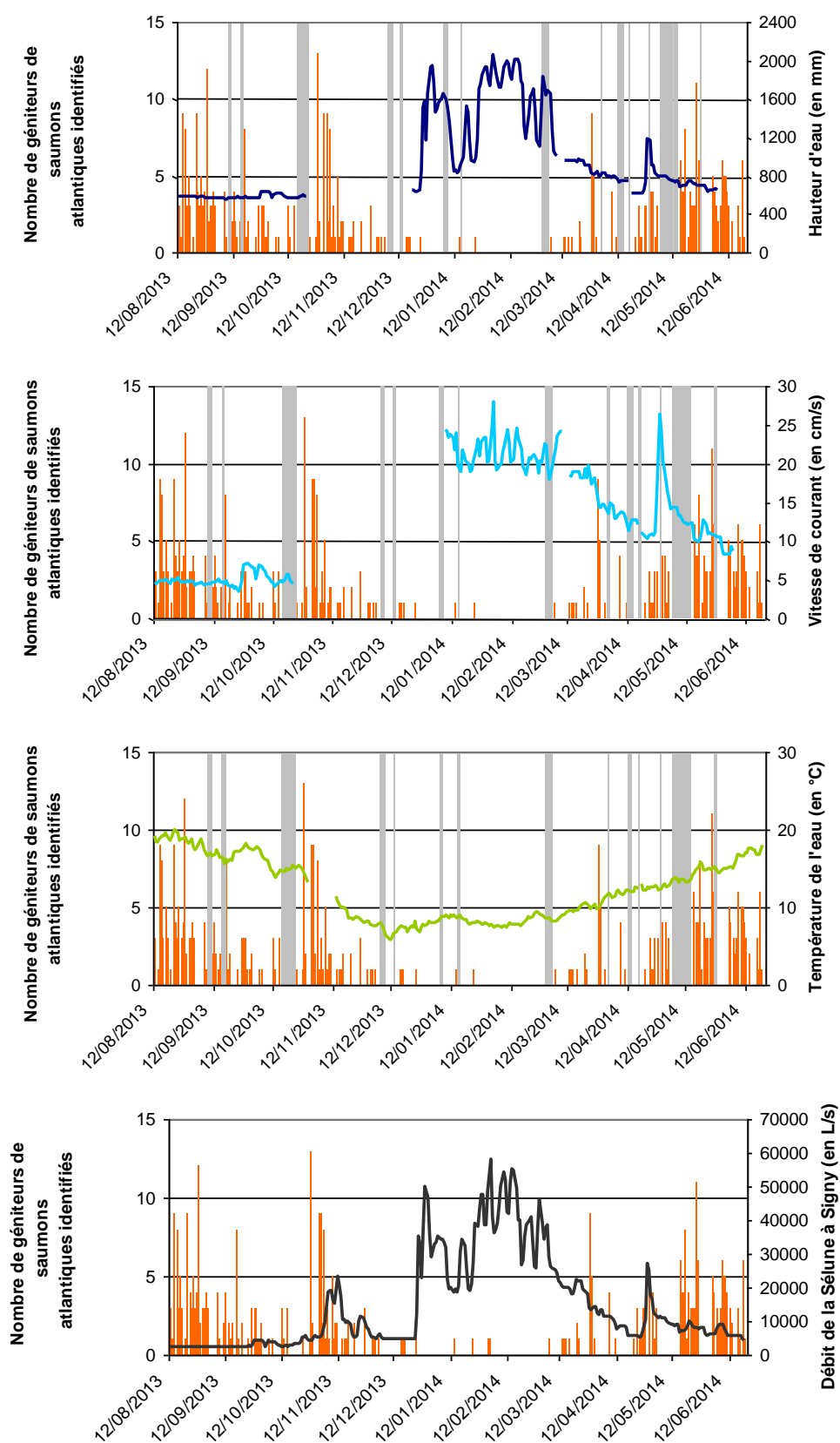


Figure 64 : Chronique des passages des 380 saumons atlantiques sur la Sélune entre le 12 août 2013 et le 20 juin 2014 en fonction des données environnementales. En grisé, les données non enregistrées ou inexploitables. De haut en bas : en fonction des hauteurs d'eau sur le site de suivi (en mm), des vitesses de courant sur le site de suivi (en cm/s), des températures de l'eau sur le site de suivi (en °C), des débits de la Sélune à Signy (en L/s)

Les premiers pics de migrations sont observés en mars et en avril, puis s'intensifient en mai, juin jusqu'à août. Enfin, un dernier pic est enregistré à l'automne avant une période calme entre décembre et mars (Figure 64). Il existe un lien important entre les conditions hydrologiques de la rivière et l'activité de migration de saumons. Les pics de migrations semblent déclenchés par une augmentation du débit. Cette observation est particulièrement visible durant les premières heures du coup d'eau de fin septembre : après une période d'étiage clairement marquée en août et septembre, l'amorce d'une première crue automnale est suivie par une période d'activité importante des saumons atlantiques.

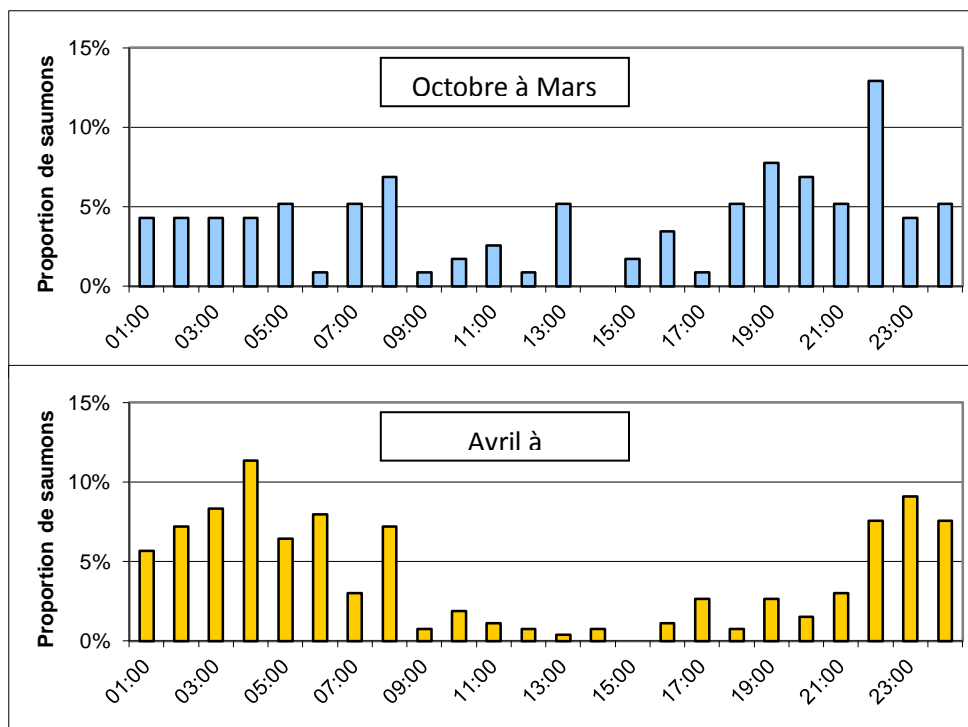


Figure 65 : Activité nycthémerale de migration des saumons observés en haut : lors de la période automne-hiver (octobre à mars, n=116), en bas : lors de la période printemps-été (avril à septembre, n=264)

L'activité migratoire des 380 saumons atlantiques identifiés est majoritairement nocturne (Figure 65): 78% des passages de saumons ont été enregistrés entre 20h et 8h. Si le rythme nycthémerale est très marqué en basses eaux (90% des passages de saumons sont nocturnes en mai, juin et juillet), il diminue très clairement à l'automne (jusqu'à 57% des passages en novembre) (Figure 66). Les faibles effectifs observés en décembre (n=7), en janvier (n=2) et en février (n=2) ne permettent pas de caractériser l'activité nycthémerale lors de cette période.

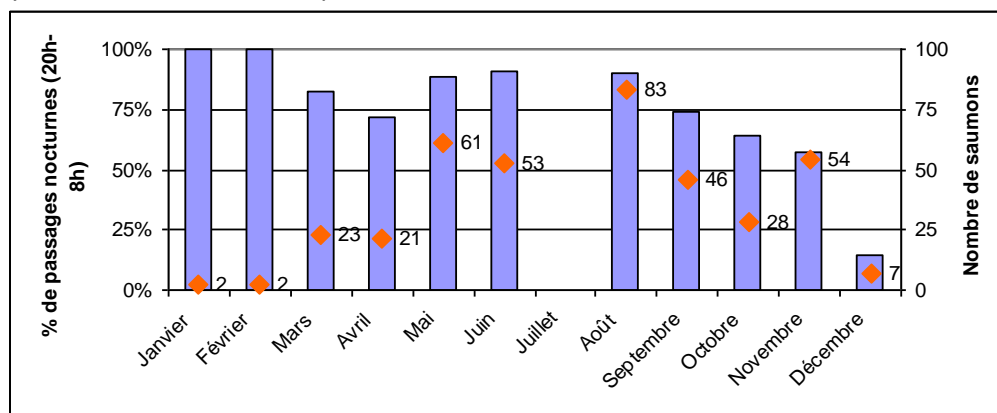


Figure 66 : Pourcentage de passages nocturnes (entre 20h et 8h) en fonction des mois de l'année (histogramme) et nombre de saumons par mois (points et étiquettes), n=380. Les données du mois de juillet ne sont pas encore analysées

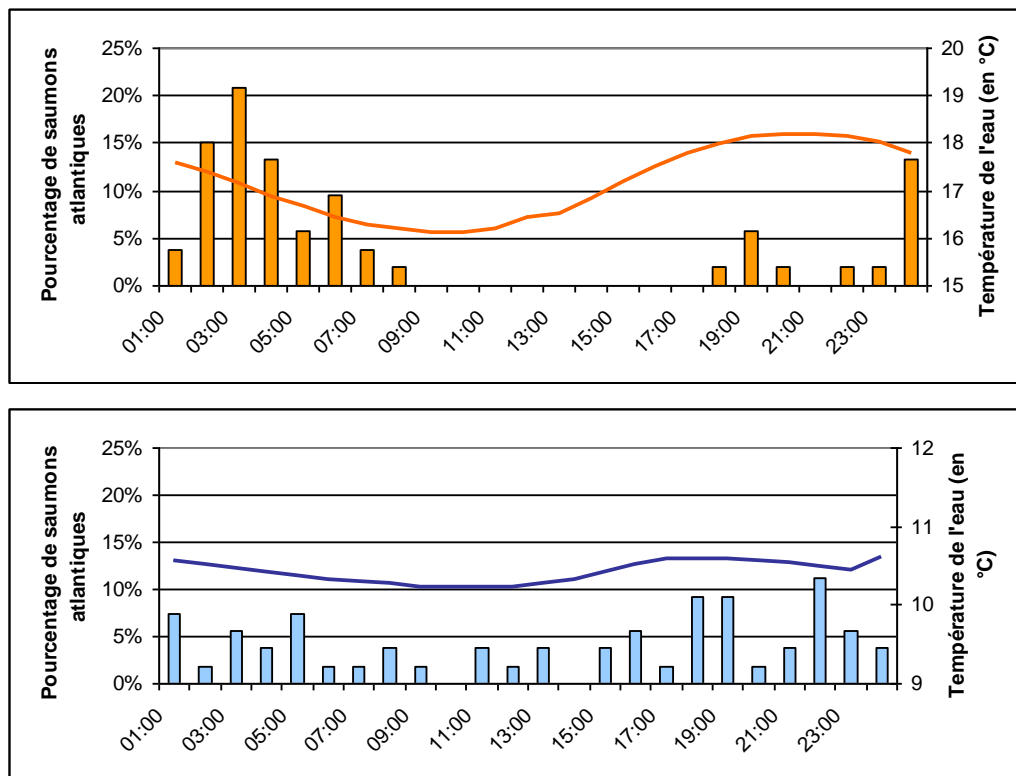


Figure 67 : Migration des saumons en fonction des heures de la journée et des températures de l'eau en juin (en haut, n=53) et en novembre (n=54)

La comparaison de l'activité de migration au cours des mois de juin (n=53) et novembre (n=54) semble mettre en évidence le rôle de la température de l'eau (Figure 67). Les migrations estivales s'organisent autour de pics à 3h, 7h (à l'aube), 19h et minuit, aucun passage n'est observé entre 9h et 17h, alors que les températures de l'eau sont en augmentation (16°C à 18°C). En novembre, les migrations sont plus constantes au cours de la journée. La température de l'eau s'abaisse à 10°C au cours de cette période et les amplitudes sont bien plus faibles qu'à l'étiage : la température semble ici ne plus agir plus ici comme un facteur limitant. Non mesurée pour l'heure sur le site, la turbidité ou charge en matière en suspension de l'eau peut participer à cette différence de stratégie. A l'opposé, en novembre, les débits fluviaux influencent clairement le rythme de passage des saumons: les passages au cours de la journée sont tous enregistrés lors de coups d'eau ou de crue (les débits excèdent alors le débit moyen mensuel).

Toutes ces observations sont conformes aux connaissances actuelles de l'espèce Baglinière et Porcher, 1994 ; Baglinière et Ombredane, 2013)

La période de migration des saumons atlantiques se déroule sur plusieurs phases :

- entre mars et juillet, les saumons de printemps, grands saumons ayant passé plus d'un hiver en mer, remontent dans les cours d'eau.
- entre mai et octobre, les castillons, plus petits que les saumons de printemps car ayant passé un seul hiver en mer, remontent à leur tour,
- en novembre et décembre, en fonction des conditions hydrologiques, tous les géniteurs de saumons remontent vers les zones de frayères rendues accessibles par les crues hivernales avant de s'y reproduire.

Les saumons, sensibles aux températures élevées et pour éviter toute prédation, migrent préférentiellement la nuit lors de la période d'étiage (basses eaux et débit faible). Lorsque les eaux sont plus hautes et plus turbides, le comportement des géniteurs s'adapte à ces nouvelles conditions : les déplacements sont alors déclenchés par les augmentations de débit.

1.3.2.3 - L'ichtyofaune de la Sélune

Si l'analyse de la première année de suivi s'est jusqu'à présent concentré sur les migrations des géniteurs de saumons atlantiques, des informations précieuses ont également pu être collectées sur l'activité des autres poissons présents sur la Sélune.

❖ Les autres poissons migrateurs amphihalins

D'autres poissons migrateurs amphihalins colonisent la Sélune : la truite de mer (*Salmo trutta*), l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), les lamproies marine (*Petromyzon marinus*) et fluviatile (*Lampetra fluviatilis*), l'alse feinte (*Alosa fallax* sp.) et la grande alose (*Alosa alosa*).

La truite de mer

Cette espèce a une morphologie et un comportement migratoire proches de celle du saumon. Cependant, l'abondance de truite de mer de la Sélune est relativement faible. De plus, les données de captures à la passe piège du Moulin de Cerisel révèlent que les truites de mer de la Sélune sont d'une relativement petite taille (90% des individus sont d'une taille inférieure à 50 cm) (Figure 68).

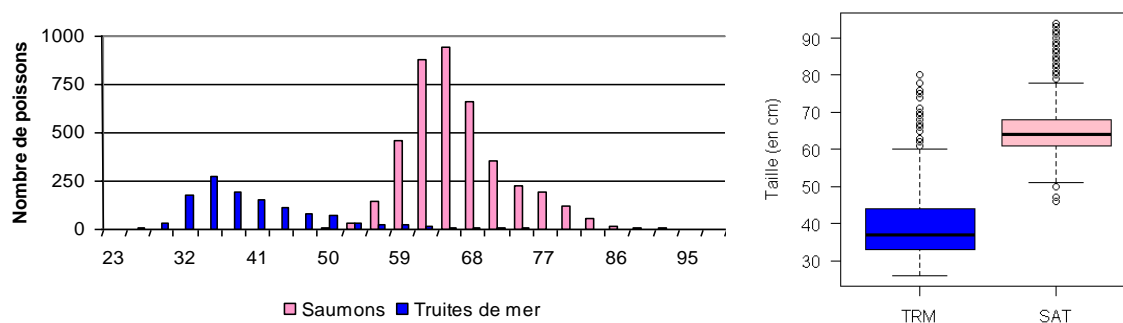


Figure 68 : Fréquence des tailles (en cm) des truites de mer et des saumons capturés à la passe piège du Moulin de Cerisel entre 1997 et 2013 (données U3E INRA et ONEMA)

La majorité de la population de truites de mer ne peut pas être décrite de façon pertinente, leur taille étant proche de celle des cyprinidés présents en abondance sur le site (chevaines notamment). Identifier les truites de mer sur la base de leur comportement, proche de celui des saumons atlantiques, parmi les très nombreux cyprinidés présents aux tailles similaires semble illusoire sans lire l'intégralité de la totalité des fichiers enregistrés. Les individus aux tailles les plus importantes sont quant à eux susceptibles d'être inclus dans nos sélections de saumons atlantiques, mais chercher à différencier les deux espèces est illusoire. Cependant, au regard des très faibles niveaux de population de truite de mer sur la Sélune, le risque de surestimation de l'abondance du saumon atlantique lié à la confusion avec la truite de mer, reste minime sur les données enregistrées par le DIDSON.

La lamproie fluviatile

La lamproie fluviatile adulte quitte les eaux côtières et remontent les cours d'eau pour s'y reproduire en fin d'hiver et au printemps. Bien que possédant une nage anguilliforme, ces individus ont des tailles réduites (25 à 35 cm pour la plupart) qui ne permettent que très difficilement leur observation sur les images du DIDSON.

La lamproie marine

Lors de la mise au point de la méthodologie pour identifier les saumons atlantiques, certaines lamproies ont été sélectionnées en raison de deux critères (taille et direction de nage) utilisés pour distinguer les saumons. Si la vitesse de nage est suffisante pour sélectionner certains individus, il est probable qu'elle soit bien trop sélective pour inclure l'intégralité des lamproies remontant la Sélune passant dans le faisceau de détection du DIDSON. D'autres lamproies marines adultes ont été observées sur les données enregistrées, mais pas sélectionnées car leur vitesse de nage était inférieure au seuil fixé pour identifier les saumons atlantiques. Les abondances observées sont donc pour l'heure nettement minimisées.

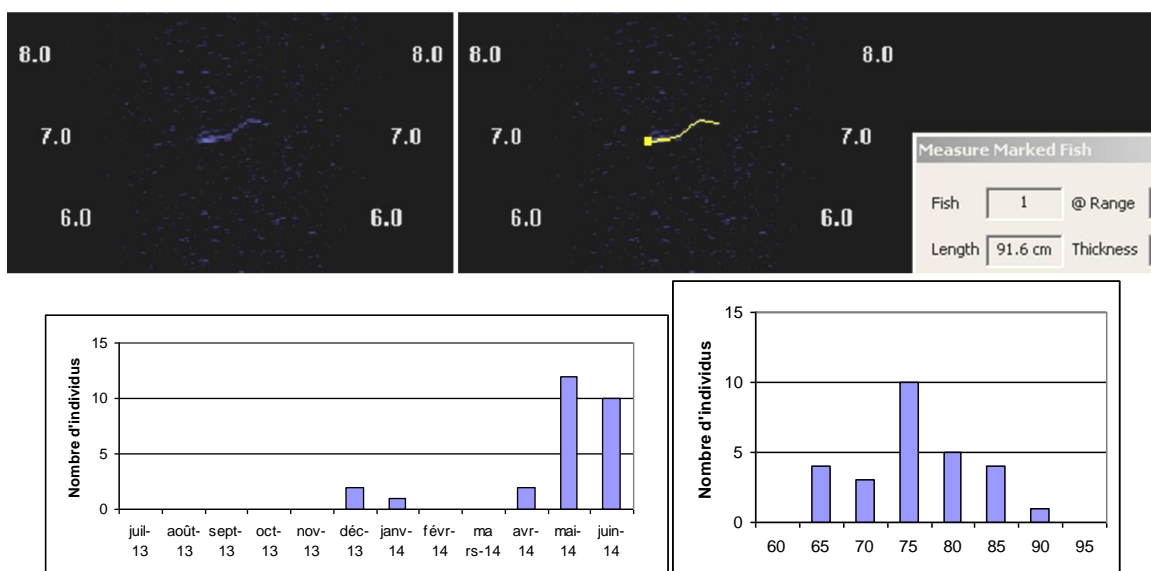


Figure 69 : En haut : observation d'un passage de lamproie marine sur le logiciel Soundmetrics Corp. ; en bas : à gauche : répartition des passages observés entre juillet 2013 et juin 2014 (n=27), à droite : distribution des tailles mesurées (en cm) des individus observés

Ces passages enregistrés montrent que les périodes d'observation sont conformes aux connaissances de l'espèce : la migration en eau douce peut débuter pour quelques individus assez tôt dans l'hiver (janvier, voir fin décembre), mais la majorité des individus remontent au printemps (mars à juin). Les tailles mesurées se répartissent entre 62 et 89 cm.

L'alse feinte et la grande alose (Baglinière J.L., Elie P., 2000)

Les deux espèces d'aloses ont un comportement presque similaire, bien que la grande alose (40 à 60 cm) soit plus grande que l'alse feinte (30 à 45 cm) (Menesson-Boisneau et al., 2000). Certains individus de ces deux espèces ont été sélectionnés par les filtres propres aux saumons.

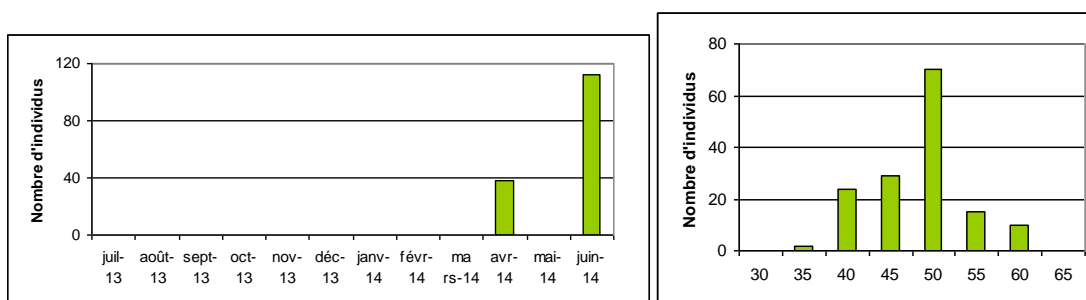


Figure 70 : A gauche : répartition des passages observés entre juillet 2013 et juin 2014 (n=150), à droite : distribution des tailles mesurées (en cm) des individus observés avec le filtre saumon

Lors de leurs passages devant le DIDSON, deux comportements distincts ont pu être observés : **la remontée vers l'amont**, observée plusieurs fois au cours du mois d'avril, s'effectue en banc de quatre à une vingtaine d'individus. Aucun comportement significatif d'évitement des émissions acoustiques du DIDSON n'a été observé sur les images enregistrées, contrairement à ce qui a été observé sur des sites anglo-saxons (Gregory & Clabburn, 2003). Les abondances des flux d'individus lors de ce premier comportement sont probablement sous-estimées en raison de la présence de nombreux bancs de cyprinidés résidents allant et venant dans le faisceau de détection.

Le second comportement est bien plus caractéristique car propre à l'espèce : **des « bulls »** tels que définis par Cassou-leins et *al.* (2000) ont pu être observés sur les images enregistrées lors de plusieurs nuits consécutives début juin (Figure 71). Lors de leur reproduction, les aloses mâles et femelles effectuent des mouvements circulaires à la surface de l'eau lors desquels les ovules sont expulsés par la femelle et fécondés par les mâles. Le bruit caractéristique a donné son nom à ce comportement strictement nocturne : le bull.

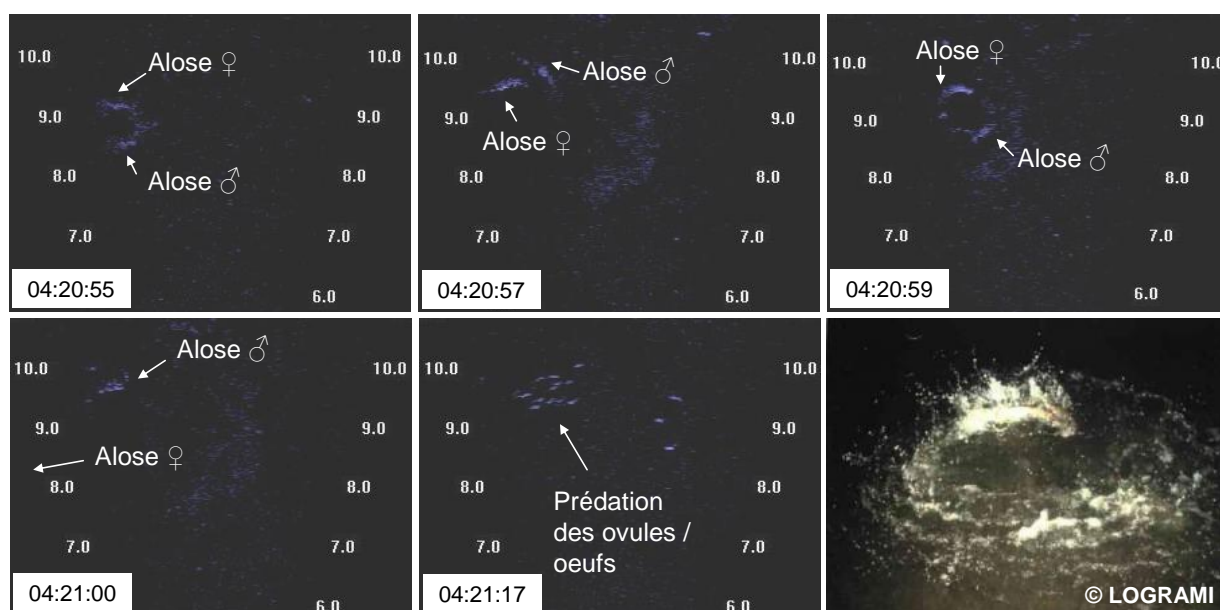


Figure 71 : Cinq premières vignettes : décomposition du bull observé le 05/06/2014, à 4h20 sur les images du DIDSON. Une alose (58 cm) est poursuivie par une autre (51 cm). En bas à droite : photographie d'un bull d'alose

D'après les informations extraites des données enregistrées, les bulls ponctuent des séquences de poursuite des individus, généralement par deux, mais parfois par trois, voire cinq individus. Ces comportements sont exclusivement nocturnes et concentrés lors de la première quinzaine de juin. Les bulls observés semblent uniquement concerner des grandes aloses (*Alosa alosa*), les tailles des géniteurs étant comprises entre 40 et 60 cm. Les individus poursuivis lors de ces comportements sont généralement ceux dont les tailles sont les plus importantes.

L'anguille européenne

Contrairement aux autres espèces migratrices, l'anguille est un poisson catadrome : les adultes migrent préférentiellement à l'automne et durant l'hiver en mer pour s'y reproduire et grossissent en rivière. Les adultes matures dévalent donc vers la mer généralement lors des périodes de hautes eaux ce qui complique leur détection sur les images enregistrées en raison de la présence de nombreux objets dérivants.

Certaines anguilles sont sélectionnées par les critères propres aux saumons, d'autres sont observées lors de validations de cibles sélectionnées. Chacune des anguilles observées est recensée et décrite dans la base de données.

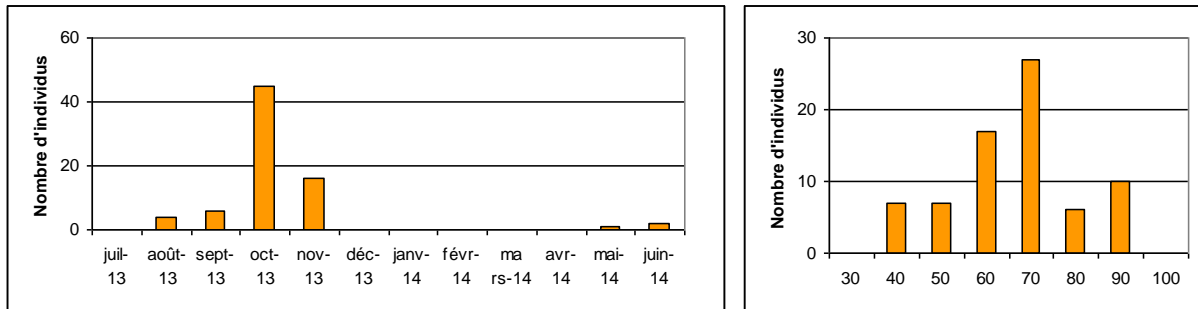


Figure 72 : A gauche : répartition des passages d'anguille observés entre juillet 2013 et juin 2014 (n=74), à droite : distribution des tailles mesurées (en cm) des individus observés (DIDSON avec le filtre saumon)

Le pic de détection de fin octobre à début novembre correspond au pic de dévalaison habituel des anguilles argentées. Les premières crues automnales ont concentré les dévalaisons d'anguilles (Figure 72).

L'analyse des données de la première année de suivi s'est jusqu'alors concentré sur le saumon atlantique, espèce emblématique de la communauté de poissons diadromes. Néanmoins, les populations des autres espèces migratrices présentes sur la Sélune seront décrites plus précisément lors des prochaines campagnes, à l'exception des poissons dont les tailles ne permettent pas une distinction avec des espèces résidentes (petites truites de mer) ou une visualisation satisfaisante (lamproies fluviatiles). La mise en place de méthodologies spécifiques aux propriétés de chacune de ces espèces est l'un des objectifs des travaux de 2015.

❖ Les poissons résidents

La présence de nombreux poissons résidents sur le site est toujours une difficulté importante dans l'analyse des données. Si le risque de confusion des saumons atlantiques avec les bancs de cyprinidés présents en nombre sur le site est minime, la présence de quelques gros poissons solitaires sur le site peut être une source d'erreur. L'observation du comportement en particulier trophique de ces individus sur les enregistrements du DIDSON offre alors de précieux indices pour les éliminer de la sélection et identifier leur espèce.

Plusieurs individus appartenant à des espèces piscivores⁵ (brochet, sandre) ont été observés, passant alternativement vers l'amont ou vers l'aval, particulièrement la nuit. Ces poissons, d'une taille comprise entre 60 et 95 cm, adoptent des comportements de prédation, d'affût et provoquent la fuite ou un comportement d'évitement des bancs de cyprinidés d'une taille de 10 à 20 cm. De plus, des comportements propres aux poissons limivores⁶ ont été observés : ces individus « picorent » les substrats durs présents sur le lit du cours d'eau pour se nourrir du biofilm algal. Ces poissons peuvent appartenir à différentes espèces présentes sur le site et pouvant atteindre des tailles supérieures à 50 cm : chevaines, mullets porcs ou brèmes communes. D'autres poissons benthophages⁷ ont également pu être observés : ces poissons, pouvant atteindre 65 cm, fouillent les sédiments, provoquant la remise en suspension des sédiments fins, à la recherche de leur proie. Au regard de la taille des plus grands individus, de ce comportement et des espèces présentes sur la Sélune, les plus gros individus sont probablement des carpes communes.

Pour augmenter le niveau de connaissance de l'ichtyofaune locale, une pêche électrique par point à été réalisée en décembre 2014 par une équipe mixte INRA / Asconit Consultants. La pêche a été réalisée d'aval vers l'amont sur le tronçon Vieux Pont de Ducey (le site de suivi DIDSON) jusqu'au Moulin de Quincampoix, soit 1,3 km de prospection en bateau. Les limites aval et amont sont fixées par la présence

⁵ Qui se nourrit de poissons

⁶ Qui se nourrit de fragments organiques vivants ou inertes, comme les biofilms, localisés sur un substrat minéral ou végétal

⁷ Qui se nourrit d'organismes vivants présents dans le substrat

des deux seuils aménagés limitant les passages des individus résidents à l'étiage. L'objectif étant qualitatif et non quantitatif, les zones prospectées se sont concentrés sur les zones de berge et les caches potentielles pour les plus gros individus. Seuls les plus gros individus ont été mesurés.

Tableau 11 : Récapitulatif des poissons capturés lors de la pêche électrique de décembre 2014 sur la Sélune. De gauche à droite : les espèces observées, les tailles individuelles des poissons mesurés (en mm), la matrice présence/absence d'individus des différentes classes de taille pour chacune des espèces capturées

Espèces observées	T. ind.	T. ind.	0 à 100	100 à 200	200 à 300	300 à 400	400 à 500	500 à 600	600 à 700	700 à 800	800 à 900	900 à 1000
Chevaine	260	315		x	x	x						
Ablette				x								
Perche	230		x	x	x							
Gardon				x								
Anguille	650	950			x	x	x	x	X			x
Saumon	105			x								
Epinochette			x									
Grémille				x								
Truite fario	260	185		x	x							
Brochet	400						x					
Vairon			x									
Chabot			x									
Lamproie				x								

Peu d'individus ont été capturés, la pêche étant réalisée tard dans la saison : les hauts niveaux d'eau et les températures fraîches ont limité l'accès aux poissons sur le tronçon. Aucun géniteur de saumon atlantique n'a été capturé ou vu, seul un juvénile a été capturé. Mis à part les anguilles (notamment un individu de 95 cm et 1,9 kg), les tailles des poissons capturés n'ont pas excédé les 40 cm (Figure 73) avec un brochet mesurant cette taille et deux truites communes (18,5 et 26 cm). Des juvéniles de lamproies oillées ont été observées à proximité des frayères de lamproies marines de l'année.



Figure 73: Poissons capturés sur la Sélune lors de la pêche de décembre 2014. En haut : anguille de 950 mm ; en bas : à gauche tacon de saumon atlantique de 105 mm ; à droite : truite fario de 260 mm

D'autres pêches pourront être réalisées au printemps et à l'été prochain pour augmenter l'efficacité de capture et ainsi améliorer nos connaissances sur la faune piscicole locale.

1.4 - Conclusions et perspectives

L'année 2014 aura permis de finaliser la mise au point d'un outil d'analyse semi-automatique des données extraites du DIDSON améliorant l'efficacité d'un suivi hydroacoustique à long terme, en particulier en diminuant le temps d'analyse des données. Les résultats collectés entre août 2013 et juin 2014 et leurs premières interprétations apportent certaines informations biologiques peu ou pas accessibles par ailleurs mais elles peuvent être étoffées et devront prendre en compte la variabilité annuelle de la dynamique migratoire.

L'analyse des enregistrements effectués avec le DIDSON entre août 2013 et juin 2014 sur la Sélune met en évidence des observations confirmant les connaissances acquises et actuelles sur la dynamique migratoire du saumon atlantique : période de migration des saumons de printemps de mars à mai, puis progressivement des castillons jusqu'en septembre, influence des conditions environnementales et hydrologiques sur le déclenchement d'un déplacement vers l'amont et sur les activités nyctémérales des poissons. Ces observations permettent de valider la méthode d'identification des saumons. De plus, ces observations apportent des éléments sur l'activité de migration encore peu décrits : un déplacement vers l'amont des saumons de printemps lors des premières crues automnales après une longue période de stabulation sur les parties basses du fleuve et une même réactivité des castillons et saumons de printemps aux premières crues automnales provoquant un pic important de migration. Les prochaines campagnes permettront de quantifier la composition du stock restant jusqu'en automne sur les parties basses du fleuve (zone d'action dynamique des marées ?).

L'observation de géniteurs de lamproies, d'anguilles et d'aloses sur les images enregistrées par le DIDSON permet également de mesurer l'intérêt de l'outil pour étudier les autres espèces diadromes. La définition d'une méthodologie de suivi propre à chacune des espèces sera un objectif prioritaire des prochaines années. Les lamproies marines, du fait de leur taille, de leur nage et de leur comportement, pourront être différenciées des autres espèces sans difficulté. Le nombre d'anguilles argentées dévalantes sera plus difficile à estimer en raison de leur période de migration (automne et début d'hiver) correspondant à une période de hautes eaux souvent troubles avec de très nombreux objets dérivants. Les observations faites en 2014 lèvent le doute sur l'impact des émissions hydroacoustiques sur le comportement de migration des aloses au niveau du site de la Sélune : celles-ci ne semblent pas perturbées par la fréquence utilisée, des comportements reproducteurs caractéristiques ayant pu être observés directement dans le faisceau de détection.

Enfin, les observations réalisées au cours de la saison passée confirment la forte fréquentation du site par des poissons résidents, notamment des bancs de cyprinidés juvéniles et adultes, mais également de prédateurs piscivores (brochets voire sandres).

Au cours de l'année 2015, l'étude va se poursuivre avec plusieurs objectifs : 1) optimiser les filtres de sélection des saumons atlantiques pour augmenter l'efficacité de la méthode, 2) confirmer les observations faites sur la dynamique migratoire du saumon, 3) utiliser des modèles statistiques pour approcher une estimation précise du stock de saumons atlantiques fréquentant la Sélune et 4) améliorer les connaissances sur la dynamique migratoire des autres poissons diadromes du cours d'eau

2 - Caractérisation biologique et toxicologique de la population de poissons dans la retenue de Vezins

2.1 - Caractérisation biologique de la population de poissons de la retenue de Vezins

2.1.1 - Introduction

Deux grands barrages sont présents sur le bassin versant de la Sélune (91 km, 1 040 km²), le barrage de La-Roche-Qui-Boit (16 m de hauteur) et le barrage de Vezins (36 m). Suite au non renouvellement de concession par EDF de leur exploitation hydroélectrique, leur arasement a été décidé par le MEDDE en 2012.

Dans ce contexte, il est nécessaire, au-delà d'évaluer les impacts de ces travaux et de la restauration de la continuité écologique fluviale sur le bassin versant, de faire un état des lieux de la faune concernée par ces changements. L'INRA de Rennes, par le biais de l'UMR Ecologie et Santé des Ecosystèmes, est mandaté par l'Agence de l'Eau Seine Normandie pour piloter le suivi scientifique du projet d'arasement des barrages de la Sélune (2013-2027). Dans le cadre des suivis mis en œuvre, l'INRA, en s'appuyant sur les compétences techniques et l'expérience des équipes du bureau d'études ASCONIT Consultants, souhaite disposer d'un maximum d'informations sur l'ichtyofaune peuplant actuellement la retenue du barrage de Vezins en réalisant un inventaire piscicole sur ce site. Cet inventaire vise à décrire le peuplement de poissons présent dans cette retenue afin notamment d'en estimer la diversité, la biomasse, et la structure des populations. Certains poissons ont également été prélevés par l'INRA pour analyse toxicologique des tissus.

S'agissant d'un plan d'eau profond, un échantillonnage à l'aide de filets maillants a été réalisé. La méthode appliquée est celle utilisée en routine pour évaluer le compartiment piscicole des plans d'eau à l'échelle de tous les pays européens (norme CEN 14757).

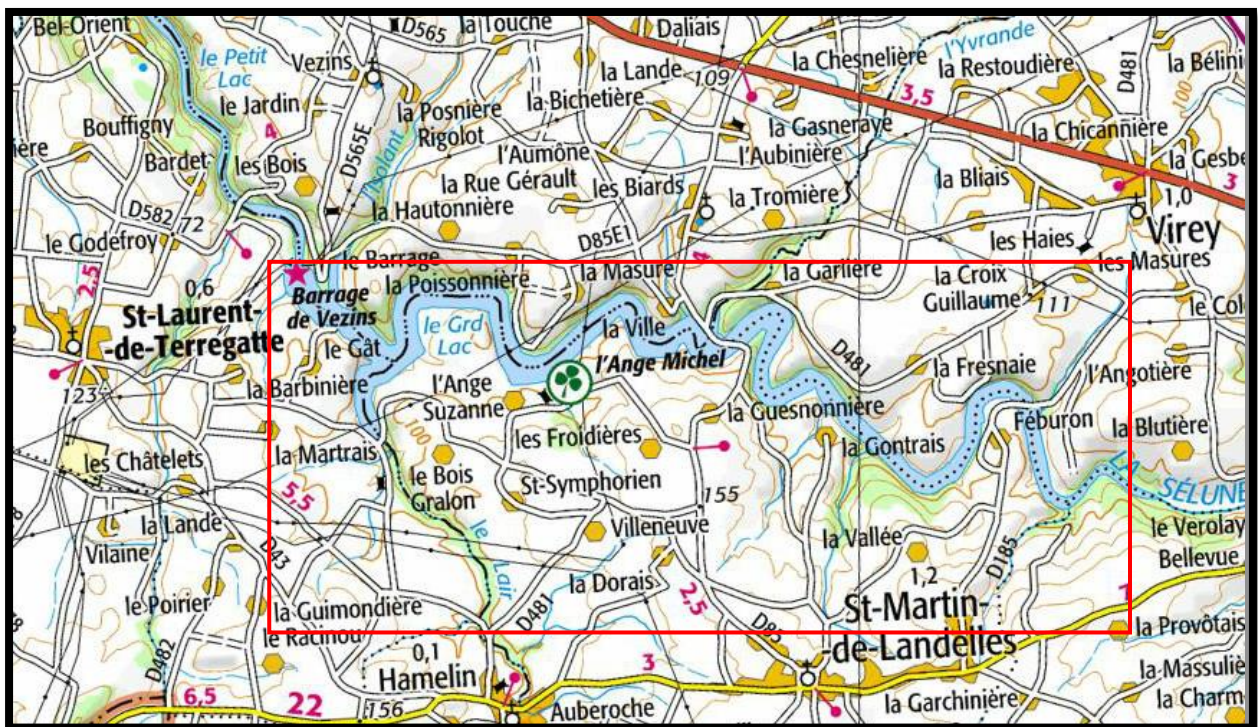


Figure 74 : Carte de localisation de la retenue de Vezins (source : géoportail®)

Le présent rapport traite de la méthode employée, présente les résultats et conclut par une interprétation des données récoltées.

2.1.2 - Méthode

2.1.2.1 - Principe de la méthode

Les pêches aux filets sont réalisées sur le principe du protocole développé par Appelberg et col. en 1995 puis normalisé en 2005 pour l'ensemble des pays de la Communauté européenne (C.E.N. 14757 validée en décembre 2005). La procédure relative à l'échantillonnage de l'ichtyofaune lacustre suit donc les normes ou directives en vigueur :

- CEN 14757 (Qualité de l'eau – Echantillonnage des poissons à l'aide de filets maillants) ;
- CEN 14962 (Qualité de l'eau – Guide sur l'étendue et la sélection de méthodes d'échantillonnages du poisson).

Notre méthode intègre les recommandations du Groupement d'Intérêt Scientifique Plan d'eau :

- CEMAGREF, CSP, INRA, Juin 2006, Résumé et guide de lecture de la norme CEN prEN14757, Echantillonnage piscicole à l'aide de filets de multimailles.

Etant donné l'objectif de notre intervention et afin de limiter la pression sur la ressource halieutique, nous avons réalisé une méthode allégée dans la mesure où nous avons divisé par deux (50%) l'effort de pêche préconisé par la norme.

2.1.2.2 - Protocole d'échantillonnage

Le principe de la méthode est basé sur l'échantillonnage aléatoire stratifié. A partir de la bathymétrie du plan d'eau, celui-ci est divisé en différents strates de profondeur afin de procéder à un échantillonnage aléatoire au sein de chacune de ces strates.

La stratégie d'échantillonnage permet de couvrir la totalité des parties de la cuvette lacustre potentiellement colonisables par les poissons : les zones benthiques et les zones pélagiques. Pour ce faire, la Norme préconise l'emploi de deux types de filets :

➤ Les filets benthiques

- longueur : 30m
- hauteur : 1,5m
- multimailles monofilament :
12 mailles différentes comprises entre 5 et 55mm.
- Filet reposant sur le fond grâce à une ralingue plombée et maintenu vertical grâce à une ligne de flotteurs

➤ Les filets pélagiques

- longueur : 2*27,5m : 55m
- hauteur : 6m
- multimailles monofilament :
11 mailles différentes comprises entre 6,25 et 55mm

Les zones benthiques et littorales sont prospectées à l'aide de filets benthiques de type araignées multi-maillles, tandis que la zone de profondeur maximale est échantillonnée au moyen de filets pélagiques. Tout le matériel utilisé respecte les exigences de la Norme.

La disposition des filets dans chaque strate de profondeur est déterminée de manière aléatoire avant la pêche.

Principe du dispositif pélagique :

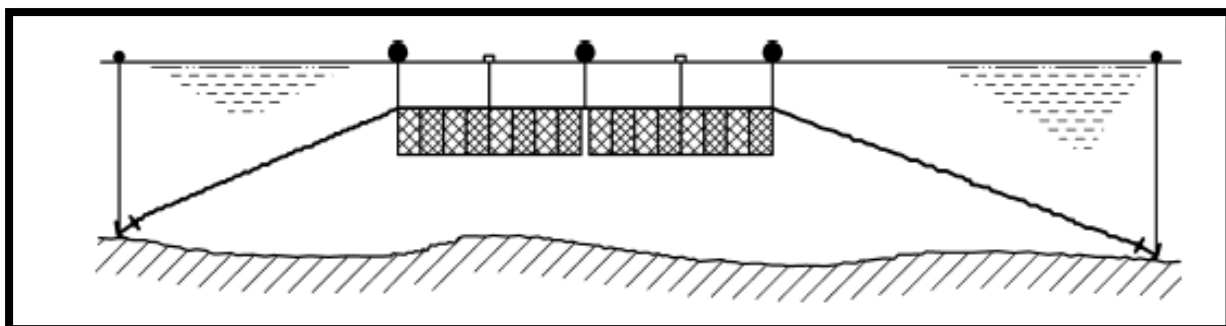


Figure 75 : Schéma de principe du dispositif pélagique (2 filets pélagiques mis bout à bout) disposés à la profondeur souhaitée.

➤ Effort de pêche

Conformément à la Norme CEN 14 757, le nombre de filets benthiques et pélagiques nécessaires à l'échantillonnage du plan d'eau a été défini à partir des caractéristiques morphologiques des milieux : surface (ha) et profondeur maximale (m). Etant donné les objectifs de l'étude, cet effort de pêche a été divisé par 2.

Dans le cas de la retenue de Vezins, l'effort d'échantillonnage requis par rapport aux caractéristiques morphologiques à échantillonner est détaillé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 12 : Nombre de filets benthiques et pélagiques posés sur la retenue de Vezins

Nom	Superficie (km ²)	Profondeur maximale	Filets benthiques	Filets pélagiques
Barrage de Vezins	0,150	31m	20 (40)	2 (5)
Entre parenthèses : le nombre de filet préconisé par la norme				

La répartition des poissons dans un lac est irrégulière, car dépendante de l'hétérogénéité des habitats, des profondeurs, de la saison et de la température. Les filets doivent donc être disposés de manière à échantillonner le maximum d'espèces possibles.

Les filets ont été disposés sur les différentes strates de profondeur suivant la répartition proposée par l'annexe A de la norme divisée par 2. Le choix de répartition par volume réel de chaque strate n'a pas été retenu car cette dernière augmente considérablement l'effort d'échantillonnage de la strate 0-3m ce qui renforce l'effet de berge.

Tableau 13 : Répartition des filets benthiques aux différentes couches de profondeur

Surface du plan d'eau (ha)	Strates de profondeur (m)	Profondeur maximale (m)
101 à 250	[0 ; 3[3 (7)
	[3 ; 6[4 (7)
	[6 ; 12[5 (10)
	[12 ; 20[4 (8)
	[20 ; 35[4 (8)
Total		20

➤ Elaboration du plan d'échantillonnage

Afin de déterminer le plan d'échantillonnage des pêches aux filets, une carte bathymétrique spécifique est réalisée à partir des données bathymétriques mises à disposition.

La méthodologie employée consiste à convertir les couches isobathes en couches surfaciques de bathymétrie.

Les isobathes sont établis tous les mètres sur les 6 premiers mètres, tous les 2 m au-delà. Une couche composée de carrés de 100m*100m est alors superposée à cette bathymétrie. Chaque carré est nommé par un numéro d'identifiant unique, les lignes portant des numéros et les colonnes des lettres. Chaque carré est ensuite identifié comme appartenant à l'une des strates suivantes : [0 ; 3[, [3 ; 6[, [6 ; 12[, [12 ; 20[, [20 ; 35[, [35 ; 50[.

La table de données de la couche correspondant au quadrillage est alors ouverte avec un tableur type Excel afin de procéder au tirage aléatoire en commençant par positionner les filets dans la strate la plus profonde. On sélectionne les carrés contenant la strate désirée et on réalise un tirage aléatoire sans remise du nombre de zones nécessaires pour chaque strate à l'aide de programmes disponibles sur internet. On procède ensuite de la même manière pour les strates supérieures.

NUIT (10 benthiques par nuit)							
Strates	NB filet (norme)	NB filets (protocole allégé)	Lundi		Mardi		
0-3m	7	3	D5	J37	P8	P49	
3-6m	7	4	E31	J34	J40		
6-12m	10	5	J11	J24	E5	G43	I43
12-20m	8	4	E11	E14	E18	I32	
20-35m	8	4	H8	F6	J9	G7	
Total	40	20					

➤ Echantillonnage des poissons

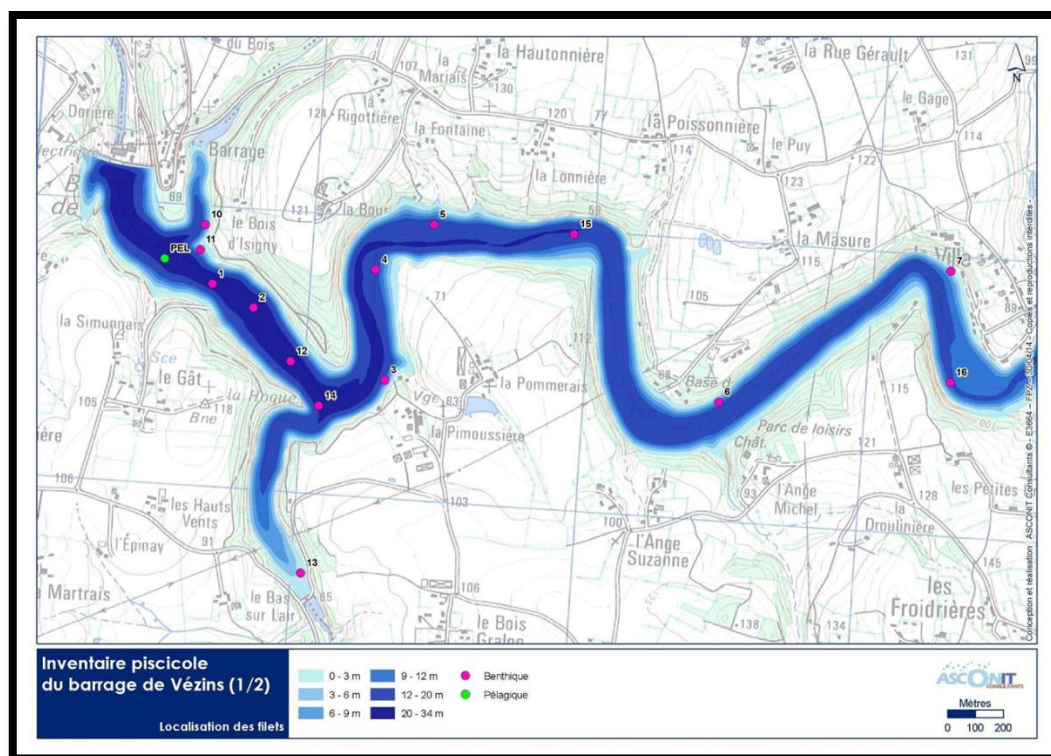
Les filets sont posés le soir entre 18h00 et 20h00 et relevés le matin entre 6h00 et 8h00. Cette période permet de tenir compte des pics d'activité des poissons au moment du lever et du coucher du soleil et donc de maximiser leur capturabilité.

Chaque nuit, une batterie de 10 filets benthiques a été posée ainsi qu'un dispositif pélagique.

La profondeur de la strate est repérée à l'aide d'un échosondeur. Pour les filets benthiques, une fois la profondeur désirée trouvée, l'extrémité du filet est mise à l'eau et l'ensemble est déployé progressivement en marche arrière jusqu'à immersion totale du filet. L'autre extrémité du filet est alors rattachée à un flotteur par l'intermédiaire d'un cordage déroulé à la longueur correspondant à la profondeur de pose. Dans la mesure du possible, le filet est déposé à profondeur constante sur toute sa longueur et à minima sur l'intervalle de profondeur de la strate ciblée. En cas de manquement à ce dernier point, le filet est immédiatement relevé pour être replacé sur une zone plus favorable.

Le filet pélagique est disposé dans la zone la plus profonde conformément aux prescriptions de la norme. Lors de la première pose, le filet pélagique est placé entre 0 et 6m, la nuit suivante dans la strate 6-12m.

A chaque pose, le n° du filet est renseigné sur une fiche ainsi que sa position GPS, sa profondeur exacte (repérée à l'échosondeur) et son heure de pose. Lors de la relève, les filets sont enlevés dans l'ordre de pose et l'heure est notée. Cette procédure permet de contrôler les opérations de pose et de relève et notamment de vérifier qu'aucun filet n'ait été oublié ou perdu et que le temps de pose a bien été respecté.



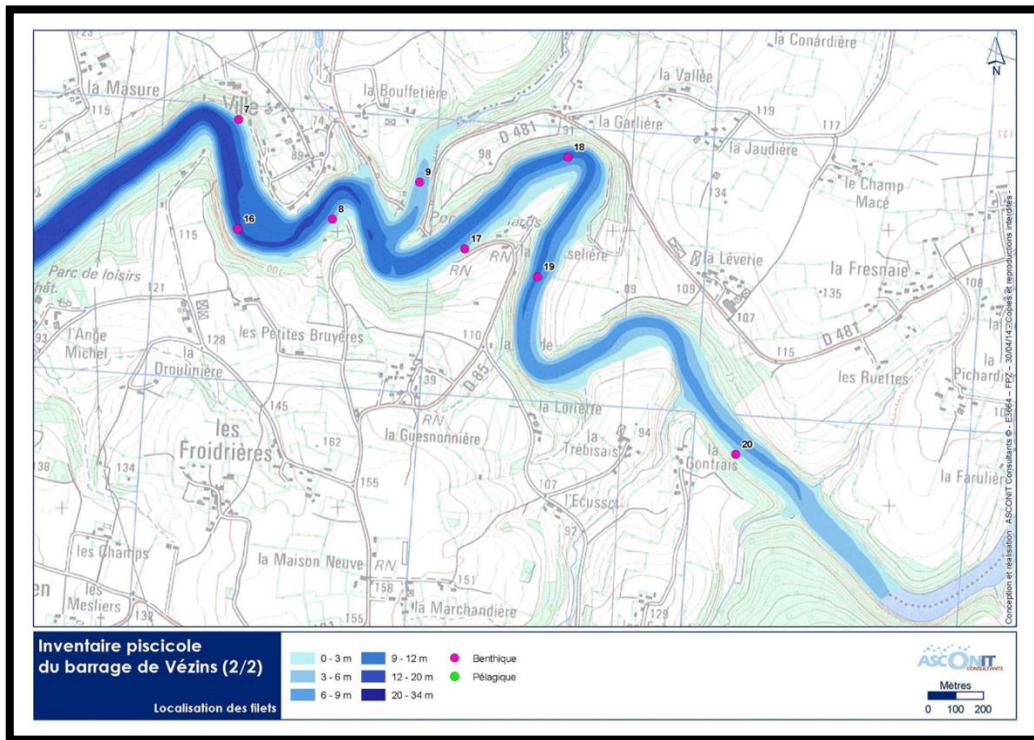


Figure 76 : Localisation des filets

2.1.2.3 - Sélectivité des filets maillants

La méthode d'inventaire proposée dans le cadre de cette étude repose sur le principe d'un échantillonnage des peuplements en place. Elle présente donc certains biais dans la caractérisation des peuplements : les principaux sont rappelés ci-après.

La méthode d'échantillonnage fournit uniquement des estimations d'abondance pour les poissons présentant une longueur totale supérieure à 50 mm environ.

Lors de l'utilisation d'engins passifs d'échantillonnage (filets maillants benthiques), le résultat de l'échantillonnage dépend du mouvement des poissons et des propriétés mécaniques de l'équipement lors de la capture et de la rétention des poissons. Pour un engin passif, la sélectivité est dépendante de :

- (1) la probabilité de rencontre,
- (2) la probabilité de capture dans la maille et
- (3) la probabilité de rétention dans le filet maillant après la capture.

Suivant cela, certaines espèces peuvent être sous représentées. Il s'agit notamment de l'anguille (*Anguilla anguilla*), la lotte (*Lota lota*), les chabots (*Cottus sp.*), le brochet (*Esox lucius*) et la carpe (*Cyprinus carpio*), ainsi que les alevins de l'année.

2.1.2.4 - Démaillage et biométrie



Les poissons capturés sont démaillés en prenant soin de noter pour chacun d'entre eux le numéro de filet et le diamètre de la maille dans laquelle ils s'étaient pris. Pour chaque poisson, nous mesurons la masse et la longueur comprise entre l'extrémité du museau et la partie postérieure des lobes de la nageoire caudale (LT). Au-delà de 30 poissons de la même espèce par maille, les autres individus sont dénombrés et font l'objet d'une pesée globale. Les poissons trop petits pour une pesée individuelle sont regroupés par lot de 4 ou 5 pour dépasser le poids minimum de pesée de la balance. Les longueurs sont mesurées au millimètre près et les poids au gramme près.

Figure 77 : Démaillage et biométrie (photo : ASCONIT C.)

Certains spécimens ont été remis à l'INRA pour analyse toxicologique des tissus (cf. 2.2 - Caractérisation toxicologique des poissons de la retenue de Vezins)

2.1.2.5 - Traitement des données

Les pêches d'inventaire en plan d'eau permettent de caractériser l'état des peuplements ichthyaires selon les descripteurs suivants :

- **La composition spécifique du peuplement** : l'effort de pêche est défini de telle sorte que l'essentiel des principales espèces présentes soient identifiées, quelque soit leur habitat à la période de l'échantillonnage. L'abondance relative d'une espèce est définie comme étant la proportion de cette espèce dans les captures. Elle peut être exprimée en rapport de la biomasse ou en rapport de l'effectif. L'abondance relative d'une espèce est estimée pour l'ensemble des filets posés dans le plan d'eau
- **Les Captures Par Unité d'Effort de pêche** : l'utilisation des CPUE est destinée à corriger les résultats des échantillonnages en fonction des efforts de pêche qui ont été déployés pour obtenir un échantillon. L'hypothèse sous-jacente, approximativement vérifiée tant que le filet n'est pas saturé, est que les captures sont proportionnelles à la surface de l'engin et à son temps de pose. Les unités utilisées pour les calculs de rendement sont le nombre d'individus capturés pour 100 m² de filets (NPUE) et la biomasse pour 100 m² de filets (PPUE). Les CPUE sont souvent utilisées pour caractériser la densité du peuplement
- **Les distributions en classe de taille** : pour les espèces les plus abondantes dans les échantillons, les poissons capturés sont distribués par classe de taille. Celles-ci constituent une approche relativement fiable des distributions en classes d'âge et moins coûteuse que la scalimétrie.

Une base de données poissons est renseignée pour le stockage et le traitement des données. Cette base sert également à l'ensemble des contrôles des données.

2.1.3 - Résultats

2.1.3.1 - Conditions environnementales et mesures in situ

- Caractéristiques du plan d'eau

Date de l'opération : 14/04/2014 au 16/04/2014 (2 nuits de pose)

Surface totale du plan d'eau : 150ha

Niveau de remplissage de la retenue : cote normale (+/- 0,5m)

Altitude du plan d'eau : env. 59mNGF

Profondeur maximale dans la zone échantillonnable : 28,5m

Transparence (disque de Secchi) : 2 m

- Physico-chimie

Des mesures physico-chimiques ont été effectuées sur le terrain le 15 avril 2014 par une équipe de l'INRA et du CNRS OSU de Rennes afin d'obtenir des profils verticaux de température, pH (NF T 90-008), d'oxygène dissous (NF T 90-106 - ISO 5814), de conductivité (NF EN 27888 - ISO 7888) et de situer la thermocline, si existante. Les mesures ont été réalisées au moyen d'une sonde multiparamètres (Hydronaut) sur l'ensemble de la colonne d'eau.

La figure ci-après présente les profils de la colonne d'eau correspondants.

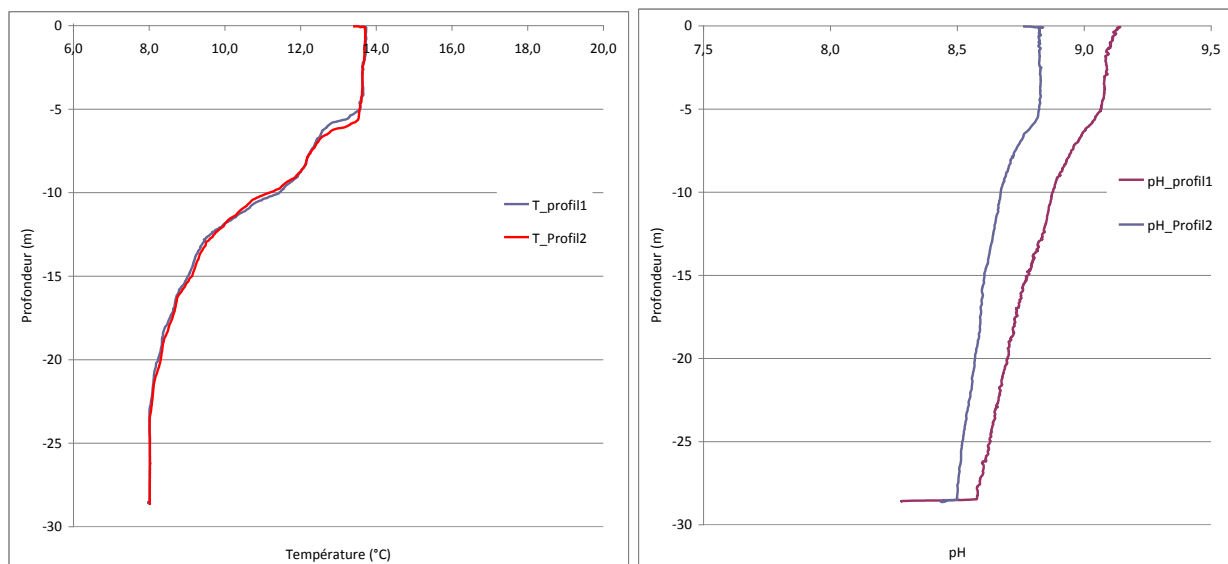


Figure 78 : Profils de température et de pH de la colonne d'eau de la retenue de Vezins réalisés le 15/04/2014 entre 9h00 et 9h15

Une légère thermocline est visible à 6m de profondeur. La température descend ensuite régulièrement jusqu'à 22m de profondeur. La stratification thermique ne s'est donc pas encore totalement mise en place.

Le pH est relativement élevé et homogène sur l'ensemble de la colonne d'eau.

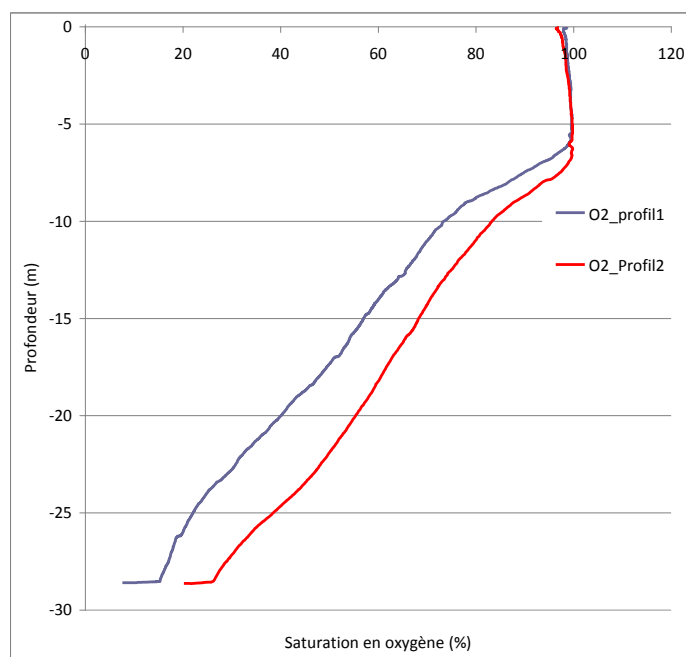


Figure 79 : Profils de saturation en Oxygène (%) de la colonne d'eau de la retenue de Vezins réalisés le 15/04/2014 entre 9h00 et 9h15

La saturation en oxygène est stable sur les 6 premiers mètres en dessous la surface (proche de 100% de saturation) puis diminue progressivement jusqu'au fond. Aucune zone d'anoxie n'est visible même si l'on relève une nette hypoxie près du fond (saturation <40%). Toute la colonne d'eau est donc potentiellement colonisable par l'ichtyofaune, bien que la couche la plus profonde soit sans doute peu favorable vis-à-vis des espèces les plus oxyphiles.

➤ Données brutes

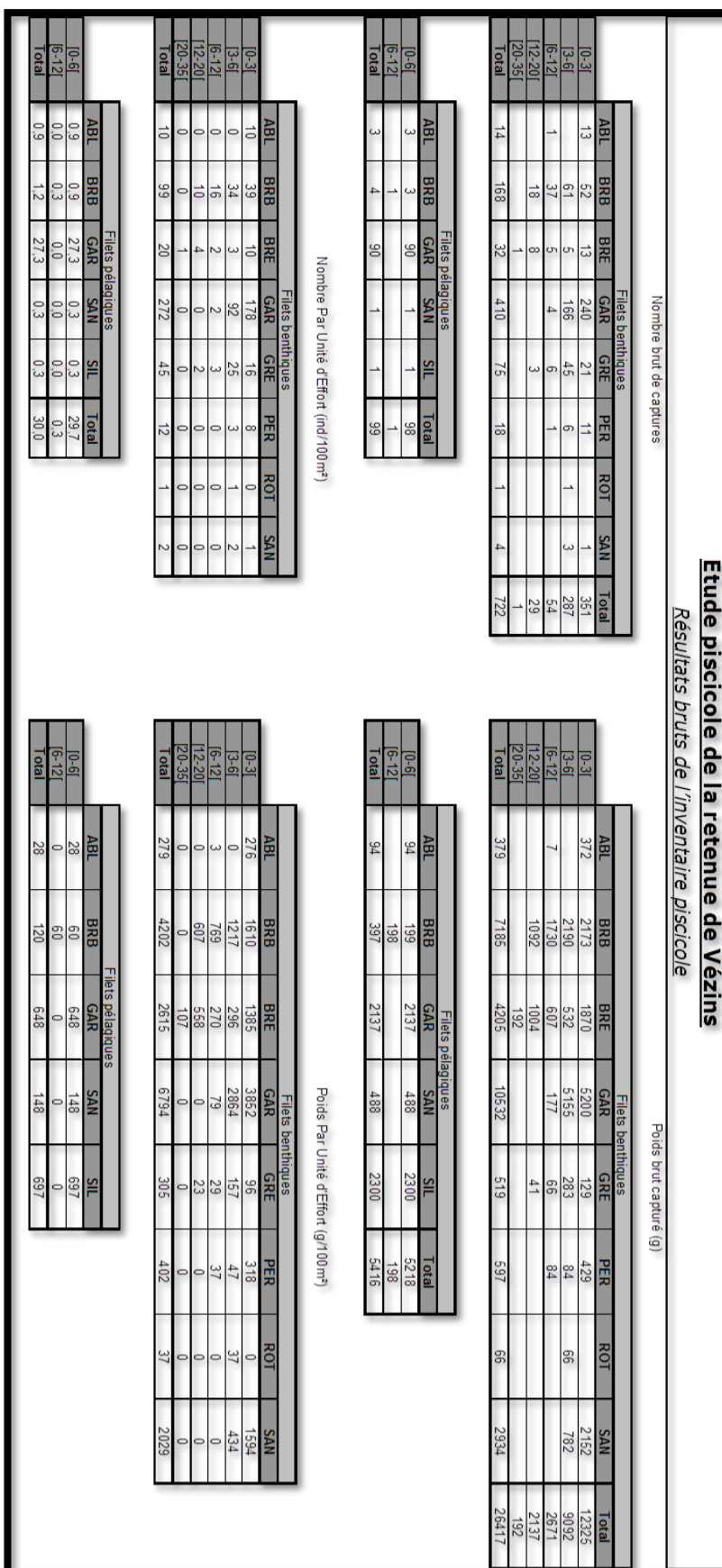


Figure 80 : Résultats de l'inventaire piscicole de la retenue de Vézins (données brutes)

➤ Données traitées

En ce qui concerne la distinction entre la brème commune (*Abramis brama*) et la brème bordelière (*Blicca bjoerkna*), celle-ci repose sur une identification visuelle de l'ensemble des individus capturés au cours de la deuxième nuit de pose. La distinction au sein des individus capturés lors de la première nuit repose sur une répartition équivalente par rapport à cet échantillon ; répartition réalisée a posteriori.

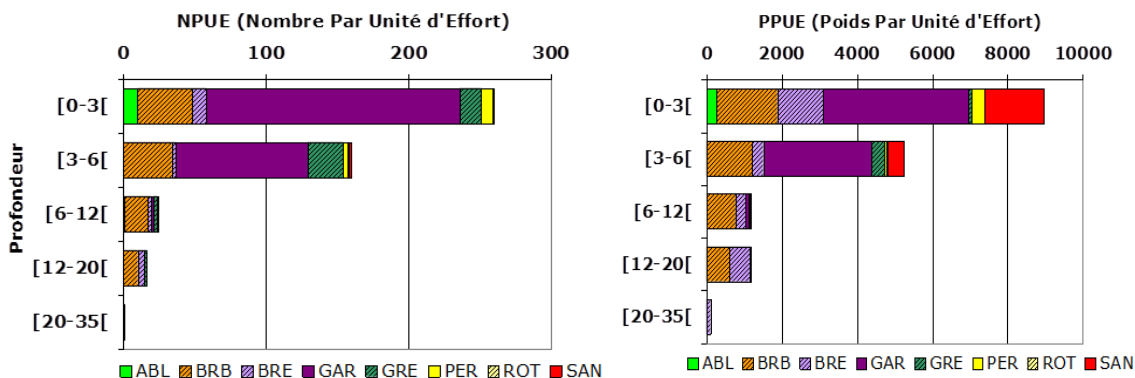
Ces données permettent d'estimer le peuplement piscicole du plan d'eau à partir des caractéristiques de l'échantillon capturé dans les limites de la méthode (cf. 2.1. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Figure 81 : Résultats de l'inventaire piscicole de la retenue de Vezins (données brutes)

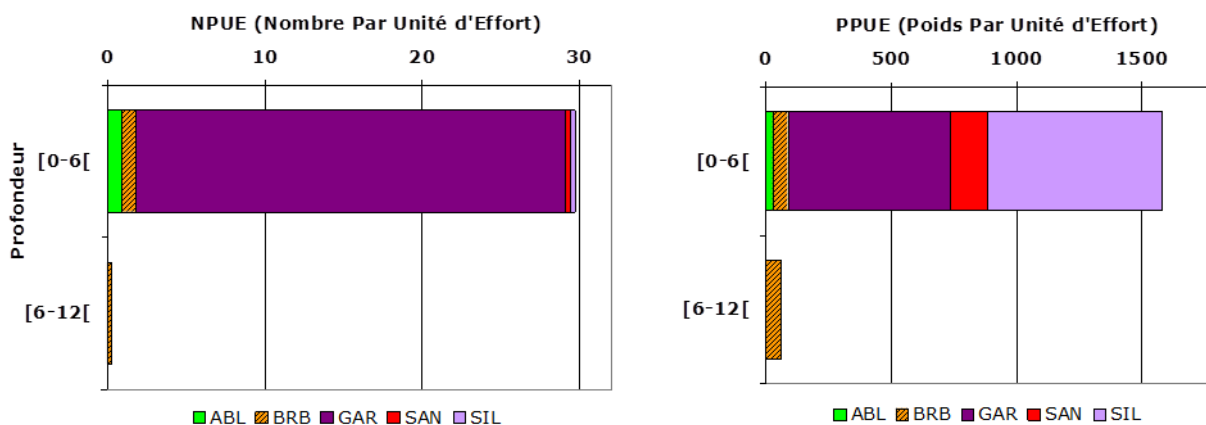
Inventaire piscicole

Nom	Nom Latin	Code	Effectifs capturés		Biomasse (gr)		Taille (mm)	
			nombre	%	masse pêchée (gr)	%	Lt (min)	Lt (max)
Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	ABL	17	2,1	473	1,5	132	187
Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i>	BRB	172	21,0	7582	23,8	60	315
Brème	<i>Abramis brama</i>	BRE	32	3,9	4205	13,2	71	337
Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	GAR	500	60,9	12669	39,8	58	266
Grémille	<i>Gymnocephalus cernua</i>	GRE	75	9,1	519	1,6	47	127
Perche	<i>Perca fluviatilis</i>	PER	18	2,2	597	1,9	93	286
Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	ROT	1	0,1	66	0,2	185	185
Sandre	<i>Sander lucioperca</i>	SAN	5	0,6	3422	10,7	230	592
Silure glane	<i>Silurus glanis</i>	SIL	1	0,1	2300	7,2	740	740
9 espèces			821	100	31833	100		

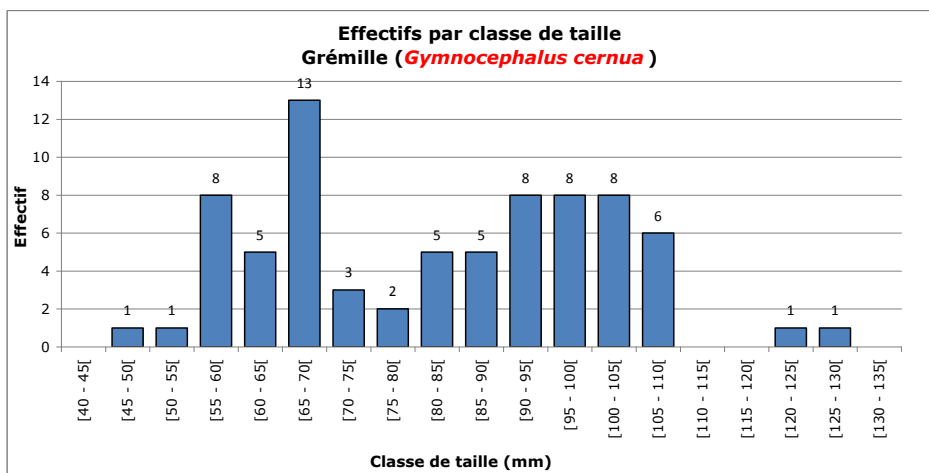
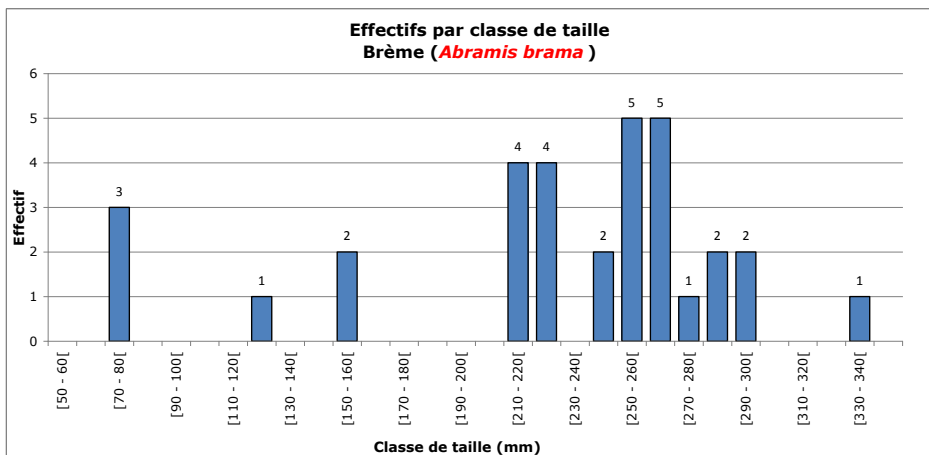
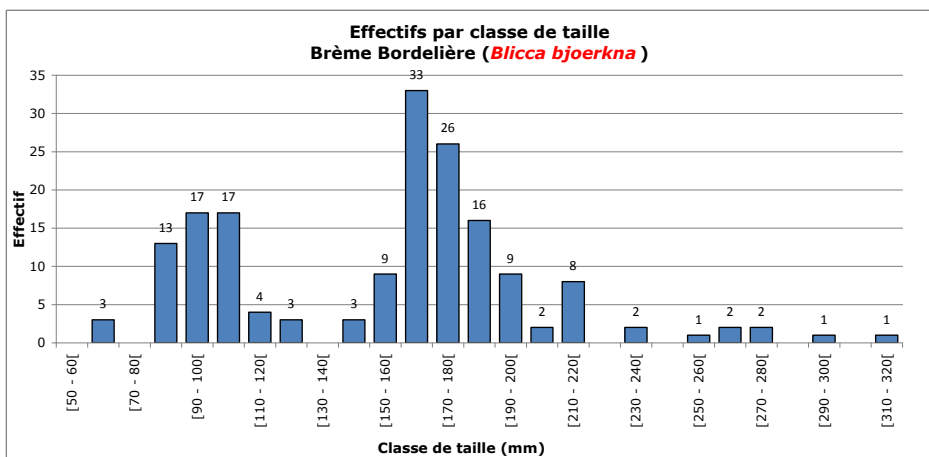
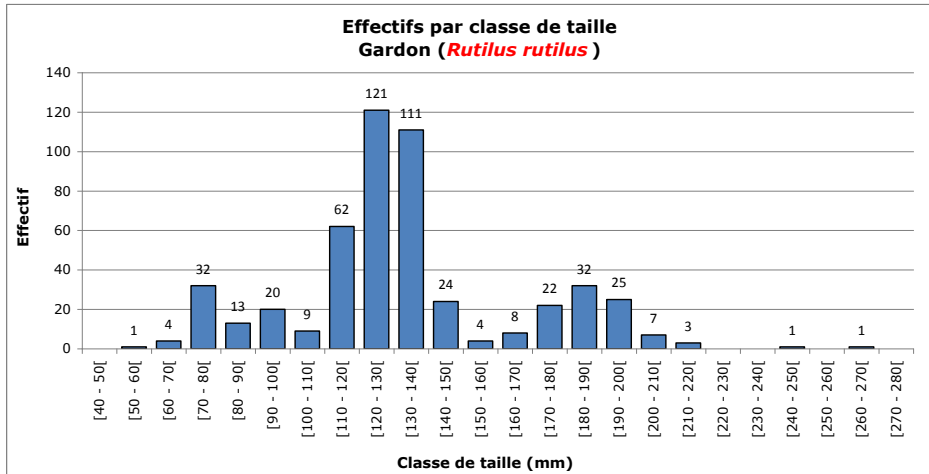
CPUE (Captures par unité d'effort) des filets benthiques



CPUE (Captures par unité d'effort) du filet pélagique



Distribution par classe de taille des espèces majoritaires



2.1.4 - Interprétation

Le nombre de poissons capturés (821 individus) et le poids (32kg) est relativement faible comparativement au nombre de filets posés et à d'autres plans d'eau du même type. La richesse spécifique est moyenne (9 espèces) avec une ichthyofaune dominée en nombre par le gardon (*Rutilus rutilus*), la brème bordelière (*Blicca bjoerkna*) et la grémille (*Gymnocephalus cernua*). Ces trois espèces représentent 91% des effectifs capturés. Les autres espèces échantillonnées sont la brème (*Abramis brama*), la perche (*Perca fluviatilis*), l'ablette (*Alburnus alburnus*), le sandre (*Sander lucioperca*), le rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*) et le silure glane (*Silurus glanis*).

Le gardon et la brème bordelière sont dominants en terme pondéral (respectivement 40 et 24% du poids total capturé). Ils sont suivis de la brème et du sandre en raison de la capture de spécimens de grande taille (jusqu'à 59cm pour 2,2kg pour le sandre notamment).

Il peut être souligné la capture d'un silure. On note aussi l'absence, dans les captures, du brochet et de la carpe ce qui, sans remettre en cause une réalité écologique (faible densité de ces deux espèces au sein de la retenue), peut également être due à la méthode d'échantillonnage, peu efficace vis-à-vis de ces deux espèces, comme explicité dans les paragraphes précédents.

➤ Les Captures Par Unité d'Effort de Pêche (CPUE) et répartition verticale

Le rendement numérique pour 100m² de filet est faible avec 53 individus pour 100m² tous taxons confondus pour un rendement pondéral de 2 041 g/100m².

Pour un plan d'eau de ce type, les captures sont peu importantes. Cela peut être expliqué par la période de l'année qui n'est pas optimale pour cette méthode d'échantillonnage : la norme stipule que l'inventaire doit être réalisé en fin de période estivale lorsque la température en surface dépasse les 15°C. La température de l'eau étant faible en avril, l'activité piscicole en est réduite d'autant. Le procédé de capture étant passif, l'activité des poissons contribue largement à l'efficacité de l'échantillonnage.

La répartition verticale de l'ichthyofaune est cohérente avec le profil de saturation en oxygène. La plus grande quantité de poissons a été retrouvée près de la surface puis diminue avec la profondeur que ce soit dans les filets benthiques ou dans le filet pélagique.

Les gardons sont largement dominants en nombre et en poids jusqu'à 6m de profondeur dans les filets benthiques. Leur quantité diminue drastiquement à partir de cette profondeur et les brèmes bordelières deviennent dominantes.

Peu de poissons ont été retrouvés dans le filet pélagique (une seule brème bordelière entre 6 et 12m). En raison de son poids important, le silure glane est dominant en terme de poids entre 0 et 6m alors que les gardons dominent en terme de nombre.

➤ Distribution par classe de taille des espèces majoritaires

Dans le cas d'un inventaire piscicole par filet, l'analyse de distribution par classe de taille est à considérer au regard des limites de cette méthode : notamment le risque de sous-représentations des alevins et de tout individu de petite taille (généralement pas de capture de poissons de moins de 50mm). Il sera juste remarqué la présence/absence d'individus de moins de 100mm sans prendre en compte leur quantité. Il convient également de rappeler qu'à la date d'intervention (avril 2014) la plupart des espèces ne se sont pas (encore) reproduites, ce qui ne permet pas d'avoir accès à la cohorte de l'année, généralement la plus nombreuse.

Gardon (*Rutilus rutilus*)

De nombreuses classes de tailles de gardons sont représentés et notamment des reproducteurs et des jeunes individus. Le peuplement semble donc bien équilibré avec une reproduction annuelle visible. Les classes de taille dominantes sont celles qui vont de 11 à 14 cm, correspondant à des individus de deux voire trois étés (classiquement notés 1+ et 2+).

Brème bordelière (*Blicca bjoerkna*)

De nombreux individus arrivés à maturité sexuelle ont été capturés mais peu d'individus âgés sont présents, même si la Brème bordelière reste une espèce de petite taille comparativement à la Brème commune. De jeunes individus ont été capturés ce qui montre la présence d'un recrutement, au moins en 2013. A la date de l'inventaire, l'espèce ne s'étant très probablement pas encore reproduite, la cohorte 2014 n'est donc pas présente. Les gammes de taille les plus nombreuses sont celles correspondant aux individus dont la taille est comprise :

- ✓ entre 15 et 20 cm, individus appartenant probablement à la classe d'âge 2+ (poissons approchant de leur troisième été, nés en 2012) ;
- ✓ entre 8 et 12 cm, poissons d'âge probable 1+ (cohorte 2013).

Brème (*Abramis brama*)

De nombreuses classes de tailles ont été inventoriées mais le faible nombre d'individus capturés ne permet pas de conclure sur l'équilibre du peuplement. On notera en particulier la rareté des individus de petite taille (< 16 cm), ce qui laisse à penser que cette espèce a du mal à se reproduire régulièrement au sein de la retenue.

Grémille (*Gymnocephalus cernua*)

Des individus de 1 à plus de 4 ans ont été capturés. La reproduction de la grémille semble donc avoir lieu régulièrement dans la retenue de Vezins.

2.1.5 - Conclusions

Les densités piscicoles dans la retenue de Vezins retrouvées lors de cet inventaire sont apparues très faibles. Cela pourrait indiquer que le plan d'eau a un caractère peu productif en comparaison avec des retenues du même « type ». Mais il ne pas être exclu que la période à laquelle a été réalisé l'échantillonnage constitue un biais important. En effet, lors d'une intervention réalisée au printemps, l'activité piscicole est relativement faible (en comparaison de celle rencontrée en fin d'été) en raison des basses températures de l'eau et de l'air. La pêche aux filets maillants étant une méthode passive, son efficacité est dépendante de l'activité des poissons.

Un peuplement typique de plans d'eau de 2ème catégorie a été retrouvé avec une majorité de gardons et brèmes bordelières. Aucun salmonidé n'a été inventorié lors de cet inventaire, conséquence probable de conditions habitationnelles peu favorables (milieu lentique, température de l'eau trop élevée au moins à certaines périodes de l'année, désoxygénation du fond), associé au caractère infranchissable des deux barrages.

2.2 - Caractérisation toxicologique de la population de poissons de la retenue de Veziins

2.2.1 - Introduction

Depuis la mise en place des barrages, il y a eu un phénomène important d'envasement de la vallée due à la diminution de la vitesse d'écoulement de l'eau et la mise en culture des terres agricoles du bassin versant. Les dernières estimations du volume de sédiments présents sont de 1,4 million de m³ pour la retenue de Veziins. Une partie de ces sédiments a été identifiée comme contaminée par des cyanures et des métaux lourds. Cette contamination est localisée à la confluence de l'Yvrande avec la Sélune. La source de la pollution a été identifiée comme provenant de la société ELECTROPOLY, une entreprise spécialisée dans le traitement electro-chimique des surfaces.

L'étude réalisée vise à déterminer si les poissons capturés au confluent de l'Yvrande et sur le reste du lac sont eux-mêmes touchés par cette contamination.

2.2.2 - Méthodes

Un total de 18 poissons et 4 espèces ont été prélevés au cours des pêches du lac de Veziins pour l'analyse toxicologique : silure glane (1 individu), perche fluviatile (1 individu), sandre (3 individus) et Brème (13 individus)

Tous les poissons ont été disséqués pour récupérer les branchies, les reins, le cerveau, le foie et cinq grammes de muscle.

Douze métaux ont été analysés : le mercure, l'argent, l'arsenic, le cadmium, le cobalt, le chrome, le cuivre, le manganèse, le nickel, le plomb, le vanadium et le zinc. Les analyses de mercure total ont été effectuées sur un spectrophotomètre à absorption atomique (AMA 254). Toutes les autres analyses ont été effectuées par spectrométrie optique (ICP OES).

2.2.3 - Résultats

2.2.3.1 - Origine de la bioaccumulation

Dans un premier temps, nous avons réalisé des analyses multivariées de type ACP afin de détecter s'il y a un effet origine (lieu de pêche), espèce et/ou organe sur la bioaccumulation des métaux testés.

Aucun effet de la provenance des poissons (Figure 82) n'est observé entre les poissons pêchés sur l'Yvrande et ceux pêchés sur le lac.

En revanche, il existe un effet organe très prononcé pour la bioaccumulation des métaux (Figure 83). Afin de confirmer ce résultat, nous avons réalisé des modèles linéaires généralisés prenant en compte les effets métaux, organe et espèce sur les valeurs bio-accumulées (Tableau 14).

L'interaction métaux x espèces n'est pas significative, suggérant l'absence de relation métal bio-accumulé -espèce. En revanche, les résultats mettent en évidence un effet significatif du type de métaux ainsi qu'une interaction métaux x organes significative, suggérant que l'accumulation d'un type de métal varie selon l'organe considéré.

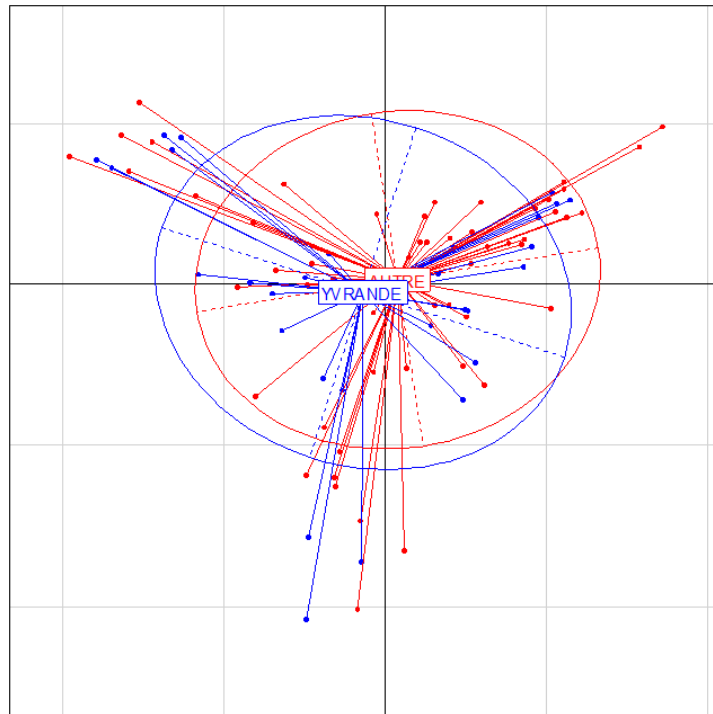


Figure 82 : Analyse factoriel présentant les différents échantillonnages en fonction de l'origine de capture des espèces (Yvrande ou reste du lac de Vezins).

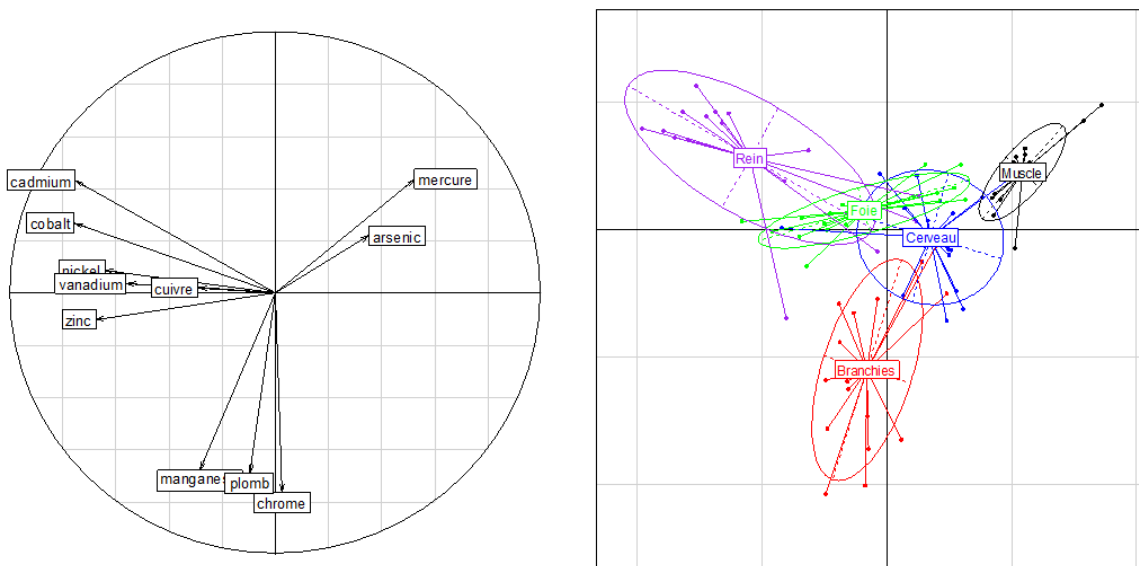


Figure 83 : Analyse factorielle présentant les différentes contaminations par métaux lourd pour chaque organes étudiés.

Tableau 14 : Résultats des modèles mixtes testant l'effet des métaux, de l'espèce et de l'organe sur les concentrations observées

Effet	p-value
Métaux	<0.001
Espèce	ns
Organes	<0.001
Métaux * Espèce	ns
Métaux*Organes	<0.001

Les analyses intra-groupes mettent en évidence un effet espèce uniquement significatif pour le mercure, le cobalt et le chrome. L'effet « organes » est quant à lui observé pour tous les métaux excepté l'arsenic (Tableau 15).

Tableau 15 : Résultats des modèles mixtes testant l'effet de l'organe et de l'espèce pour chaque métal. Les colonnes organe et espèce cibles correspondent aux résultats des comparaisons multiples

Métal	Organe	Espèce	Organe cible	Espèce cible
Mercure	<0.001	0.002	Muscle	Silure
Argent				
Arsenic	ns	ns		
Cadmium	<0.001	0.003	Rein	Silure
Cobalt	<0.001	0.002	Rein	Silure
Chrome	<0.001	ns	Cerveau	
Cuivre	0.009	ns	Foie	
Manganèse	<0.001	ns	Branchies	
Nickel	<0.001	ns	Rein	
Plomb	<0.001	ns	Branchies	
Vanadium	<0.001	ns	Rein	
Zinc	0.01	ns	Rein	

Ces relations métal-organe sont les suivantes :

- **Foie** : Cuivre
- **Muscle** : Mercure
- **Branchies** : Plomb, Chrome, Manganèse
- **Rein** : Cadmium, Cobalt, Nickel, Vanadium, Zinc
- **Cerveau** : Chrome

L'analyse para GLM fait apparaître chez le Silure une bioaccumulation plus importante pour le mercure, le cadmium et le cobalt.

2.2.3.2 - Bioaccumulation et valeurs seuils

Le tableau 16 regroupe l'ensemble des valeurs de bio-accumulation observées sur les poissons échantillonnés et une interprétation par rapports aux valeurs de références recommandées pour la protection alimentaire.

Quatre métaux présentent des valeurs supérieures aux seuils de références : le chrome, l'arsenic, le cuivre et le manganèse.

Tableau 16 : Concentrations moyennes et erreurs types par espèce et par toxique(en mg / kg de poids sec), ainsi que les organes dans lesquels le toxique est majoritaire (organe cible ; « corps » signifie que l'ensemble des organes sont touchés) et la comparaison entre les valeurs observées et les valeurs de référence (Interprétation). Les colonnes grisées représentent les métaux pour lesquelles les valeurs observées chez la majorité des espèces sont supérieures aux normes alimentaires.

Toxiques		Mercur	Argent	Arsenic	Cadmium	Cobalt	Chrome
Concentration moyenne / espèce dans la chair (mg / kg ps)	Sandre	0.55+/-0.09	0	0.45 +/-0.22	0	0	0.38 +/-0.09
	Silure	1.87	0	0	0	0.11	0.50
	Brème	0.66+/- 0.10	0	0.46 +/-0.08	0	0.07 +/-0.02	0.34 +/- 0.06
	Perche	0.87	0	0.63	0	0	0.51
Valeur de référence dans la chair (mg / kg ps)		1.5	-	0.3	0.4	1.5-2	0.3
Référence		Codex	-	Agence eau Seine Normandie	Codex	Ikem&Egiebor 2005	Ikem & Egiebor 2005 (Norme Brésil)
Organe cible		Muscle	Foie	Corps	Rein	Rein	Branchies/ Cerveau
Concentration moyenne / espèce dans l'organe cible (mg / kg ps)	Sandre		0	0.50	0.08+/-0.08	0	0.67+/-0.09 0.30+/- 0.16
	Silure		0	0	9.50	3.58	1.14 0.76
	Brème		0.22	0.27	5.36 +/-0.62	3.03 +/-0.32	0.76+/-0.03 0.66 +/- 0.11
	Perche		0	0.29	0.78	0	1.72 1.20

Toxiques	Espèce	Cuivre	Manganese	Nickel	Plomb	Vanadium	Zinc
Concentration moyenne chair (mg / kg ps)	Sandre	0.69 +/-0.22	0.37 +/-0.05	0	0	0	13.87
	Silure	0.37	0.53	0	0	0	12.16
	Breme	0.44 +/-0.13	1.43+/-0.25	0.02 +/-0.02	0	0	16.19
	Perche	0.88	0.51	0	0	0	16.67
Valeur référence chair (mg / kg ps)		0.3	1	0.3	0.8	-	<300
Référence		Ikem & Egiebor 2005 (Ministry of agriculture, fisheries and food)	Fao/Who	Ikem & Egiebor 2005 (Ministry of agriculture, fisheries and food)	Codex	-	Ikem & Egiebor 2005 (Ministry of agriculture, fisheries and food)
Organe cible		Foie	Branchies	Rein	Branchies	Rein	Corps
Concentration moyenne organe cible (mg / kg ps)	Sandre	14.49+/-8.01	6.68+/- 3.20	1.16+/- 0.72	0	0.02+/- 0.02	162.18+/- 4.32
	Silure	17.05	10.53	1.12	1.07	1.12	94.92
	Brème	36.03+/- 7.03	23.68+/- 2.54	2.55+/- 0.33	0.47+/- 0.17	1.02+/- 0.29	95.13+/- 5.55
	Perche	5.31	18.19	0	0.69	0	186.96

2.2.4 - Discussion

Un récent rapport sur la pollution des sédiments de la retenue de Vezin, réalisé par IDRA Environnement (Proulhac et al., 2012), a mis en évidence un dépassement des seuils réglementaires pour le cadmium, le chrome, le zinc, cuivre, plomb et le nickel.

Nos poissons sont contaminés par l'arsenic, le chrome, le cuivre et le manganèse. Seuls deux de ces métaux étaient mentionnés comme contaminant des sédiments. Il se pourrait donc qu'il y ait un transfert à travers la chaîne alimentaire et ce jusqu'au poisson, pour le cuivre et le chrome. Cependant, des études supplémentaires notamment l'analyse d'invertébrés et de mollusques seraient nécessaires pour caractériser ce transfert à partir des sédiments pollués.

Pour l'arsenic et le manganèse, nous ne sommes pas en mesure d'identifier précisément l'origine de ces contaminations.

Ces résultats ne sont que préliminaires et ne peuvent être considérés comme suffisants pour une interprétation précise de la situation dans le lac. Les limites de cette étude viennent principalement du faible échantillonnage (4 espèces dont 2 espèces avec un seul individu). Pour pouvoir réaliser une étude complète sur la bioaccumulation dans le lac de Vezin, il faudrait un plus grand nombre d'individus par espèce et également étudier l'ensemble du réseau trophique du lac.

Dynamique fluviale : Références bibliographiques

- Aubert A., 2013. Analyse des motifs temporels d'une chronique décennale haute-fréquence de qualité de l'eau dans un observatoire agro-hydrologique : Méthodologies, typologies et processus. Thèse de doctorat, Agrocampus Ouest, 198 p.
- Balakrishna K., Probst JL., 2005. Organic carbon transport and C/N ratio variations in a large tropical river : Godavari as a case study, India. *Biogeochemistry*, Volume 73 : 457-473.
- Bohlin HS., Morth M Carl., Holm G N., 2006. Point source influences on the carbon and nitrogen geochemistry of sediments in the Stockholm inner archipelago, Sweden. *The Science of the Total Environment*, Volume 366 : 337-349
- Le Gonidec C., Grimaldi C., Crave A., 2013. Géomorphologie, flux (sédimentaires, hydriques et chimiques) et relation avec les habitats. Rapport d'étape annuel : programme Sélune-Phase pré arasement-. 51p
- Gippel CJ., 1989. The use of turbidimeters in suspended sediment research. *Hydrobiologia*, Volume 176 : 465-480.
- Grimaldi C., Viaud V., Massa F., 2004. Stream nitrate variations explained by ground water head fluctuations in a pyrite-bearing aquifer. *Journal of environmental quality*, Volume 33, Issue 3 : 994-1001.
- Hedges JL., Keil RG., and Benner R., 1997. What happens to terrestrial organic matter in the ocean ?. *Organic Geochemistry*. Volume 27, n°5/6 : 195-212.
- Kondolf GM., 1997. Hungry water : effects of dams and gravel mining on river channel. *Environmental Management*, Volume 21 (4) : 533-551.
- Lassetre N., Piégay H., Dufour S., Rollet AJ., 2007. Temporal changes in wood distribution and frequency in a free meandering river, the Ain River, France. *Earth Surface Processes and Landforms*, Wiley-Blackwell, : 1098-1111.
- Moatar F., Meybeck M., Raymond S., Birgand F., Curie F., 2013. River flux uncertainties predicted by hydrological variability and riverine material behaviour. *Hydrol. Process* 27 : 3535 -3546.
- Mamoudou M., 2008. Dynamique de transfert des matières organiques et inorganiques le long du continuum fluvial de la Garonne : impact de la retenue de Malause. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 195 p.
- Mirloup M., 2014. Etude géomorphologique préliminaire à l'arasement de deux barrages sur la Sélune : caractérisation de l'état initial et rôle des barrages dans le fonctionnement actuel. Mémoire de Master 1, Université de Rennes 1. 26 p.
- Petts GE., Gurnell AM., 2005. Dams and geomorphology : research progress and future directions. *Geomorphology*, Volume 71 : 27-47
- Rollet A.J., Macvicar B., Piégay H., Roy A., 2007. L'utilisation de transpondeurs passifs pour l'estimation du transport sédimentaire : premiers retours d'expérience. Colloque d'hydrotechnique Transports solides et gestion des sédiments en milieux naturels et urbain, 187ème session du comité scientifique et technique, Lyon, France.
- Vanmaercke M., Poesen J., Verstraeten G., de Vente J., Ocakoglu F., 2011. Sediment yield in Europe: Spatial patterns and scale dependency. *GEOMORPHOLOGY*, Volume 130, Issue: 3-4 : 142-161.
- Vongvixay A., 2012. Mesure et analyse de la dynamique temporelle des flux solides dans les petits bassins versants. Thèse de doctorat, INSA de Rennes, 185 p.
- Williams GP., Wolman GP., 1984. Downstream effects of dams on alluvial rivers. *USGS circular* 781, 48 p.
- Wolman MG., 1954. A method of sampling coarse river bed material. *Transactions of the American Geophysical Union*, Volume 35 (6) : 951-956.

Biocénoses aquatiques : Références bibliographiques

- Baglinière J.L., Elie P., 2000. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.): Ecobiologie et variabilité des populations. CEMAGREF-INRA, Paris, 275 p.
- Baglinière J.L., Ombredane D., 2013. Le saumon atlantique et la truite commune dans le Massif armoricain : éléments d'écologie et de fonctionnement des populations. *Pen Ar Bed*, 215, 9-14.
- Baglinière J.L., Porcher J.P., 1994. Caractéristiques des stocks de reproducteurs et comportement lors de la migration génésique. 101-122 in "Le saumon atlantique : Biologie et gestion de la ressource", J. C. Gueguen et P. Prouzet (Eds), IFREMER, Brest,
- 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. 187-192.
- Cassou-Leins J.J., Cassou-Leins F., Boisneau P. et Baglinière J.L., 2000. La reproduction 73-92 in: Baglinière J.L., Elie, P., *editors*. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.): Ecobiologie et variabilité des populations. Paris: Inra-Cemagref.
- Caudron, A. 2006. Première évaluation de la contamination par les métaux lourds chez la truite commune (*Salmo trutta*) sur le bassin de l'Arve. Fédération de haute Savoie pour la pêche et la protection du milieu aquatique.
- FAO (Food and Agriculture Organization), FAO fishery circular, 1983, 464: 5-100.
- 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*, . 313-342.
- Gregory, J. and Clabum, P., 2003. Avoidance behaviour of *Alosa fallax fallax* to pulsed ultrasound and its potential as a technique for monitoring clupeid spawning migration in a shallow river. *Aquatic Living Resources* 16, 313–316.
- 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.
- Ikem A. & Egiebor N.O. 2005. Evaluation des éléments traces dans des conserves de poissons (maquereaux, thon, saumon, sardines et harengs), commercialisées en Géorgie et en Alabama (Etats-Unis). *Journal of Food Composition and Analysis* 18 : 771-787.
- Karr, J.R., 1991. Biological integrity : a long-neglected aspect of water resource management. *Ecol. Appl.* 1, 66-84.
- Lakshmanasenthil S., Vinothkumar T., Ajithkumar T., Marudhupandi T., Veetil D., Ganeshamurthy R., Ghosh S., Balasubramanian, T. 2013. Harmful metals concentration in sediments and fishes of biologically important estuary, Bay of Bengal. *J Environ HealthSci Eng.* 11:33
- Martignac, F., Daroux, A., Baglinière, J.L., Ombredane, D., Guillard, J., 2014. The use of acoustic cameras in shallow waters: new hydroacoustic tools for monitoring migratory fish population. A review of DIDSON technology. *Fish and Fisheries*, doi: 10.1111/faf.12071.
- Martignac F., Le Gonidec C., Daroux A., Guillard J., Baglinière J.L., Grimaldi C., Crave A., 2014. Rapport d'étape annuel - Programme Sélune Phase pré-arasement. UMR INRA-Agrocampus Ouest Ecologie et Santé des Ecosystèmes, Rennes ; Asconit Consultants ; UMR INRA Sol, Agriculture, Spatialisation, Rennes ; Geosciences, Université de Rennes 1 ; UMR INRA Centre Alpin de Recherche sur les Réseaux Trophiques et les Ecosystèmes Lacustres, Thonon-les-Bains. Agence de l'Eau Seine Normandie. Janvier 2014. 50 p.
- 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.
- Mennesson-Boisneau C., Aprahamian M.W., Sabatié M-R., Cassou-Leins J.J., 2000. Remontée migratoire des adultes. 55-72 in: Baglinière J.L., Elie, P., *editors*. Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.): Ecobiologie et variabilité des populations. Paris: Inra-Cemagref;
- Proulhac N., Fauconnier N., Marrec A. 2012. Effacement des barrages de la Sélune, gestion des sédiments contaminés et plan de gestion – Phase 1 : Synthèse des données et état des lieux du site. IDRA Environnement, Pôle ingénierie.

- Rose, K.A., 2000. Why are quantitative relationships between environmental quality and fish populations so elusive? *Ecol. Appl.* 10, 367-385.
- Trenkel, V.M., Ressler, P.H., Jech, M., Giannoulaki, M., Taylor, C., 2011. Underwater acoustics for ecosystem-based management: state of the science and proposals for ecosystem indicators. *Marine Ecology Progress Series* 442, 285-301.
- Waine, M.W., 2010. Assessing Spawning Runs of Anadromous Fishes Using a Bayesian Analysis of Split-beam and DIDSON Count Data, *Fisheries, Wildlife, and Conservation Biology*. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, p. 83.

Sites web :

Agence de l'eau Seine Normandie,

http://.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Expert/Etudes_et_Syntheses/etude_2008/Guide_toxique/Guide_metalloides.pdf

Codex alimentarius,

<http://www.codexalimentarius.org/codex-home/fr/>