

Effets des arasements sur les communautés animales et végétales de la Sélune : avancement des travaux en 2016

C. Piscart, Alexandrine Pannard, Laura Pellan, Caroline Gorzerino, Danièle Vassaux, Julie Coudreuse, Dominique D. Barloy, Guillaume Bouger, Christophe Petton

▶ **To cite this version:**

C. Piscart, Alexandrine Pannard, Laura Pellan, Caroline Gorzerino, Danièle Vassaux, et al.. Effets des arasements sur les communautés animales et végétales de la Sélune : avancement des travaux en 2016. [Rapport de recherche] Agence de l'Eau Seine-Normandie. 2017, pp.27. hal-03378460

HAL Id: hal-03378460
https://hal.inrae.fr/hal-03378460

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

Février 2017

Effets des arasements sur les communautés animales et végétales de la Sélune

Avancement des travaux en 2016

Christophe Piscart, Alexandrine Pannard, Laura Pellan
UMR ECOBIO Ecosystèmes, Biodiversité, Evolution (CNRS/Université Rennes 1)

Caroline Gorzerino, Danièle Vassaux, Julie Coudreuse, Dominique Barloy
UMR ESE Ecologie et Santé des Ecosystèmes (INRA / Agrocampus-Ouest à Rennes)

Guillaume Bouger & Christophe Petton
Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes (CNRS)

Préambule : contexte et rappel des objectifs (2014-2018)

Le projet « monitoring » a pour principal objectif de réaliser un état de référence de la qualité biologique de la Sélune en différents points de son cours principal grâce aux indices biologiques sur 5 stations pilotes à l'amont et à l'aval des deux barrages ainsi que dans les retenues de Vezins (2 stations) et de la Roche qui Boit (1 station). Dans ce contexte, la phase pré-arasement, initiée à l'automne 2014, doit servir à décrire les évolutions saisonnières des communautés (phytoplancton et périphyton, invertébrés et macrophytes) en lien avec la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval des barrages et d'identifier les risques écotoxicologiques (exposition chronique) liés aux vases accumulées sur 3 stations au niveau de la confluence avec l'Yvrande (dans l'Yvrande, dans la Sélune à l'amont et à l'aval immédiat de la confluence).

En parallèle, ce projet a également pour objectif d'identifier les risques (exposition aigüe) pendant les travaux de fixation des boues contaminées de l'Yvrande qui doivent être réalisés en 2017 (entre mars et aout 2017) et de caractériser les taux de transfert de ces contaminants dans les compartiments biologiques (micro-algues et invertébrés).

D'un point de vue strictement administratif, cette phase initiale des travaux s'appuie sur deux conventions. La convention AESN-CNRS n°1053864-1 « Biocénoses aquatique » qui se termine le 17/02/2017 et la convention AESN-CNRS n°1066447-1 « Effets sur les biocénoses du lac de Vezins » qui a débuté le 27/10/2016 pour une durée de 12 mois. Bien que reposant sur deux conventions différentes, les objectifs scientifiques de ces deux conventions sont complémentaires et le présent rapport regroupe les résultats partiels issus de ces deux conventions. Le rapport définitif de ces deux projets sera remis au terme de la seconde convention, c'est-à-dire pour le 27 Octobre 2017.

2. Opérations prévues durant la phase de pré-arasement

3.1 Rappel des tâches prévues initialement

Le déroulement des opérations de terrain et des travaux en laboratoire prévus initialement de 2014 à 2018 (Tableau I).

Tableau I. Interventions sur le terrain et travaux en laboratoire. Pour chaque année, les colonnes H, P, E, A correspondent aux saisons (H : Hiver ; P : Printemps ; E : Eté ; A : Automne).

	2014				2015				2016				2017				2018			
5 stations pilote sur la Sélune	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**
Caractérisation des communautés d'invertébrés				x		x		x		x		x		x		x		x		x
Caractérisation des communautés de microalgues				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Caractérisation des communautés de macrophytes				x		x		x				x				x		x		x
Confluence de l'Yvrande (3 stations)	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**
Caractérisation des biocénoses en place									avant et après curage											
Doser le taux de métaux lourds des organismes									avant et après curage											
Exposition *in situ* des organismes sentinels									pendant le curage											
Travaux de laboratoire	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**	**H**	**P**	**E**	**A**
Mise au point de biomarqueurs de stress Cadmium					x	x	x													
Taux de bioaccumulation dans les organismes									x	x	x									
Taux de transfert entre organismes													x	x	x					

3.2 Opérations réalisées depuis septembre 2014

L'ensemble des échantillonnages prévus de 2014 à 2016 (voir tableau I) a pu être réalisé à l'exception de la caractérisation des macrophytes à l'automne 2014 (faute de l'arrivée des financements en Février 2015) et des échantillonnages de macroinvertébrés à l'automne 2016 à cause de la rupture de financement (sans garanties de reprise) entre Aout et Décembre 2017 qui n'a pas permis la réalisation de cette campagne.
En parallèle, les travaux de laboratoire visant à développer des biomarqueurs de stress prévus ont été initiés en 2015 avec les travaux de Master 2 de Youn HENRY avec des résultats très encourageants ont été poursuivis avec la publication en Mars 2017 d'un premier article (Youn et al. 2017) sur ce thème.

3. Partenaires scientifiques impliqués et évolution

Le projet regroupe actuellement 6 personnes de deux Unités Mixtes de Recherche : Ecobio (CNRS-Université de Rennes 1) et Ecologie et Santé des Ecosystèmes (INRA-Agrocampus Ouest à Rennes) auxquels s'ajoutent Guillaume Bouger et Christophe Petton de l'Observatoire des Science de l'Univers de Rennes (OSUR). Ce projet a débuté de manière effective au troisième trimestre 2014 même si la convention n'a été accordée qu'en février 2015. De septembre 2015 à Aout 2016, Laura Pellan a été recrutée sur un poste d'assistante ingénieur avec pour missions de gérer les campagnes d'échantillonnage sur le terrain, l'archivage des données, le traitement des échantillons d'invertébrés aquatiques (tri et détermination), et de contribuer au rendu des résultats. Stéphanie Massé, une jeune collègue venant du Canada nous a également apporté bénévolement son aide sur l'année 2016 pour la partie phytoplancton.
Toutefois et faute du report de la nouvelle convention d'aide financière dont l'examen par la commission d'attribution n'a eu lieu que fin octobre 2016, nous n'avons pu prolonger le

contrat de Laura Pellan et de nouvelles personnes sont actuellement recherchées pour la poursuite du projet en 2017.

4. Les résultats obtenus depuis 2014

4.1 Caractéristiques physico-chimiques des stations de la Sélune

Les conditions physico-chimiques du milieu ont été caractérisées mensuellement à chaque station en termes de température, conductivité, pH, oxygène dissous et turbidité, grâce à une sonde multiparamétrique. Des prélèvements d'eau ont également été effectués afin d'analyser les concentrations en nitrates, silicates, azote total et phosphore total dissous et particulaires. L'ensemble des sorties entre Septembre 2014 et Octobre 2016 a permis de réaliser 125 profils physico-chimiques.

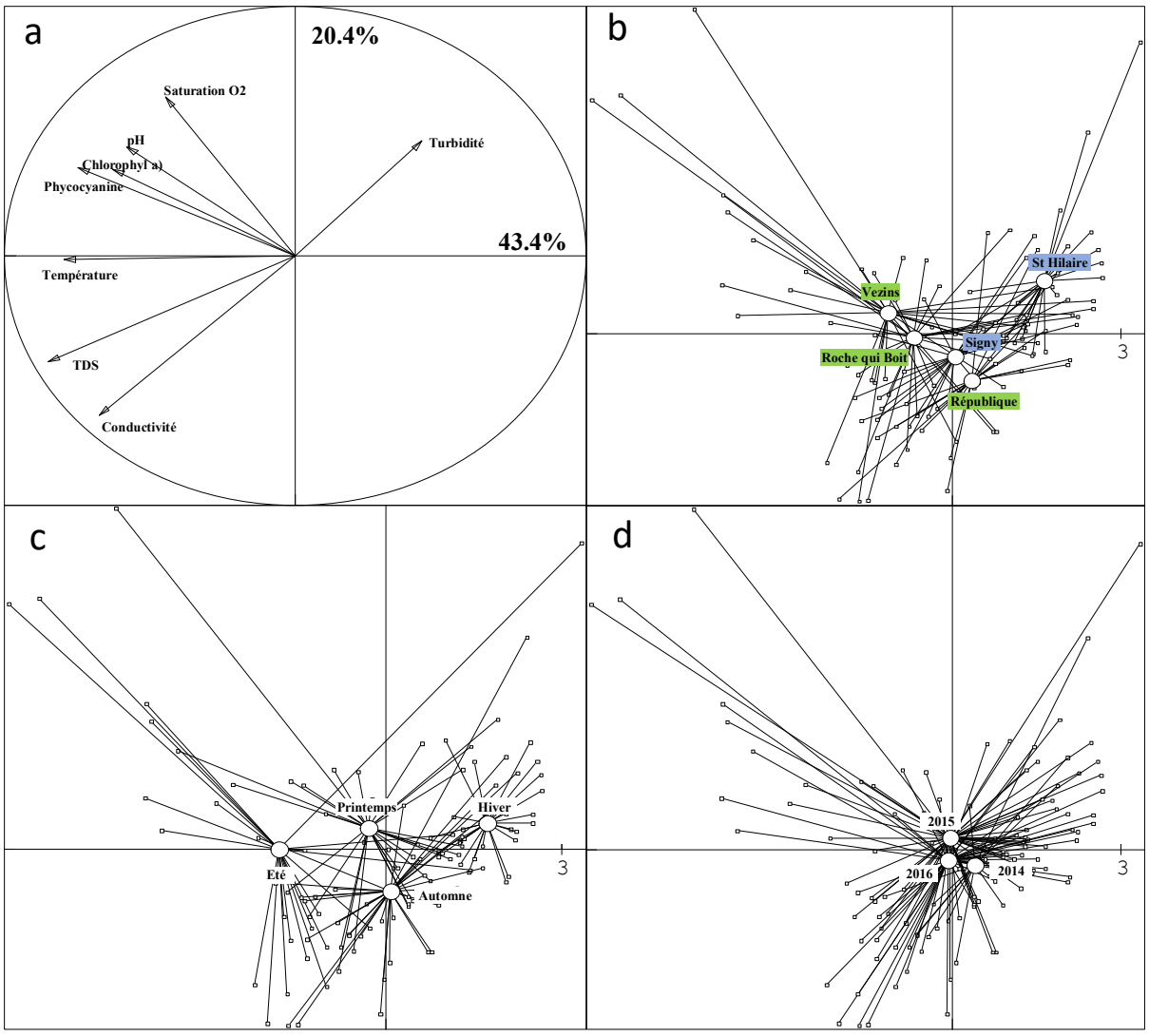


Figure 1. Résultats de l'analyse en composante principale des valeurs moyennes mensuelles de paramètres physico-chimiques dans les 50 premiers centimètres de la lame d'eau entre Septembre 2014 et Octobre 2016. a) Cercle des corrélations issu des deux premiers axes (PC1 et PC2). b) Position moyenne des 5 sites de la Sélune dans le plan factoriel. c) Position moyenne des 4 saisons dans le plan factoriel. d) Position moyenne des 3 années dans le plan factoriel.

Les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenus par la sonde multiparamétrique mettent en évidence de fortes différences dans les données physico-chimiques entre les sites (Figure 1b). La physicochimie à l'amont des retenues (St Hilaire) diffère fortement des sites à proximité des barrages (Vezins et la Roche qui Boit) par la température, la Chlorophylle *a* et,

dans une moindre mesure la conductivité (Figure 1a). Le site de St Hilaire est également marqué par une forte valeur de turbidité. Le site localisé à l'amont de la retenu de Vezins (République) possède des valeurs intermédiaires à celles du site amont et des sites des barrages. Le site aval (Signy) se rapproche en termes de physico-chimie des sites amont (St Hilaire et République) mais reste très proche des valeurs de la Roche qui Boit, traduisant ainsi une forte influence des barrages sur les paramètres physico-chimiques, même à l'aval des barrages. Les paramètres physico-chimiques varient également entre les deux sites des barrages avec une température et une teneur en Chlorophylle *a* plus importante à Vezins qui s'explique probablement par un temps de résidence plus long dans cette retenue.

Les variations saisonnières (figure 1c) sont assez fortement corrélées au gradient entre les sites d'eau courante et les sites des retenues, traduisant un lien fort entre l'effet des barrages et les variations saisonnières, ces dernières étant amplifiées par le temps de résidence plus important de l'eau dans les retenues.

Nous n'observons pas de profonde modification entre les 3 années d'échantillonnage, ce qui tend à démontrer une certaine stabilité des conditions physico-chimiques au cours de cette période.

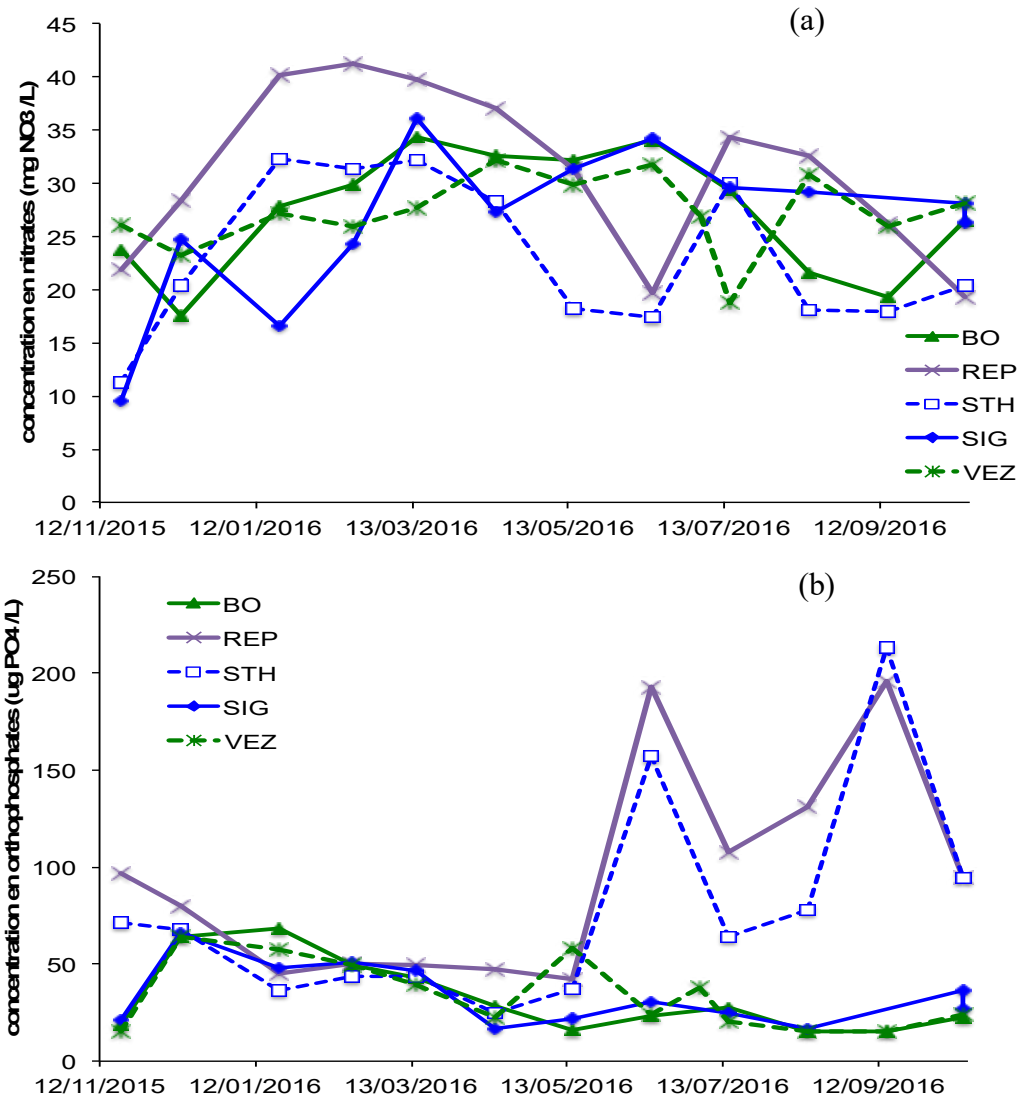


Figure 2 : Valeurs moyennes en nitrate (a) et en orthophosphates (b) mesurées sur les 5 stations entre Novembre 2015 et Octobre 2016.

De même qu'avec les paramètres mesurés mensuellement *in situ*, les concentrations en nutriments mesurées en 2016 sont similaires à celles de 2015 et de 2014, hormis pour les nitrates mesurés à l'aval (Signy) qui tendent à augmenter de 3.6 mg N-NO3/L à 6.4 mg N-NO3/L mais restent relativement faibles du point de vue de la qualité de l'eau.

Les concentrations en orthophosphates sont également faibles au regard des normes de qualité de l'eau et tendent à diminuer au cours de l'année 2016, en particulier pendant la saison de croissance du phytoplancton (d'avril à septembre), alors qu'aucune tendance n'est observée pour les nitrates à l'exception d'une légère augmentation en période hivernale qui pourrait s'expliquer par une plus faible rétention des nitrates par la végétation à cette période de l'année (Fig. 2). De plus, des pics de concentration en orthophosphates ont été observées de juin à octobre à l'amont des 2 barrages (stations de Saint-Hilaire et au pont de la République), avec un fort abattement dans les stations aval (Fig. 2b). Cet abattement n'est pas retrouvé pour les nitrates (Fig. 2a).

4.2 Caractérisation des communautés de phytoplancton et biofilm

En 2016, les deux barrages ont montré une stratification thermique saisonnière équivalente à 2015, avec un mélange complet en février (Fig. 3). La distribution verticale de la biomasse de phytoplancton montre à nouveau un maximum en surface, dans l'épilimnion (Fig. 3).

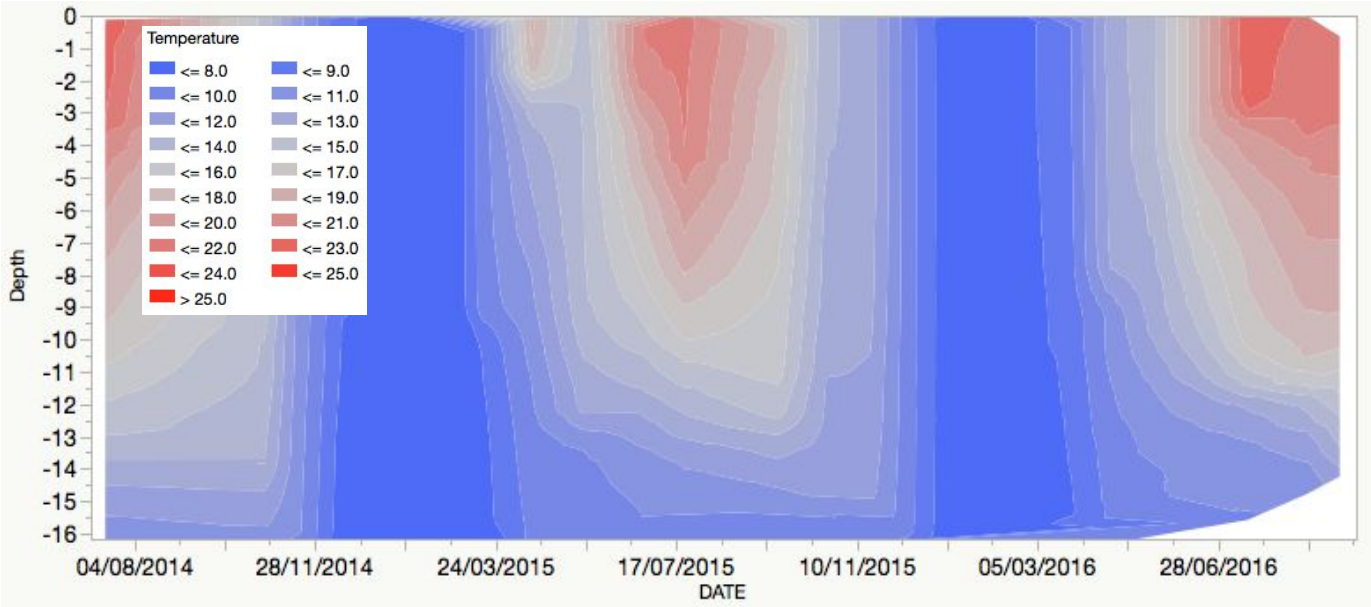


Figure 3 : Isoclines de température, en fonction de la profondeur et du temps dans le barrage de Vezins, de fin 2014 à octobre 2016.

Au cours des deux années, les fluorescences maximales ont été observées fin avril, ce qui correspond au premier développement de phytoplancton, avec des diatomées et des Chrysophycées (Fig. 4). Ce premier pic est suivi de la phase d'eau claire, avec le contrôle de la biomasse de phytoplancton par le zooplancton phytoplanctonophage.

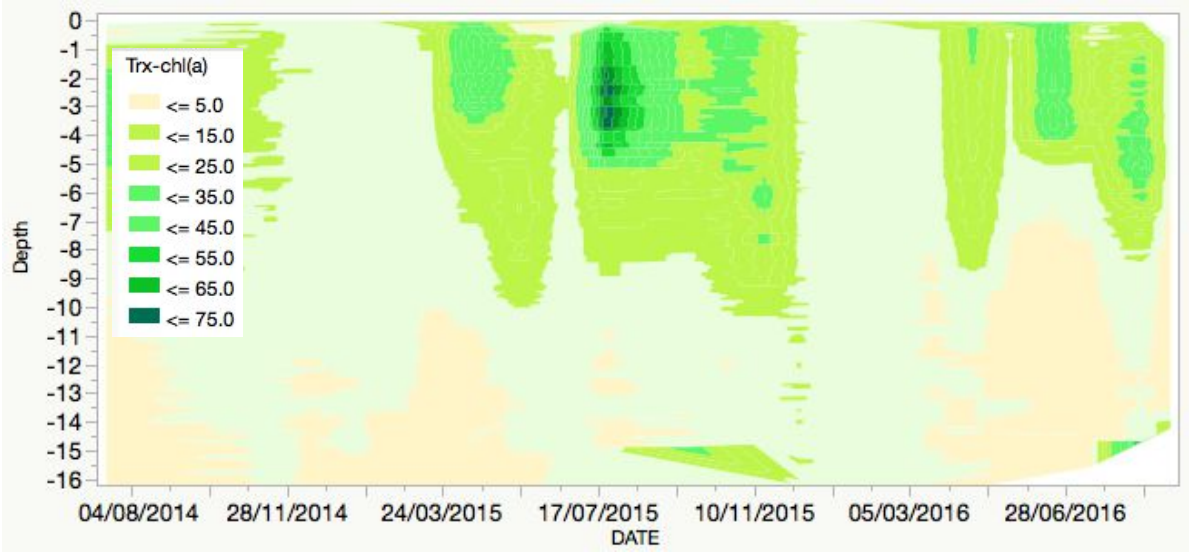


Figure 4 : Isoclines de fluorescence, en fonction de la profondeur et du temps dans le barrage de Vezins, de fin 2014 à octobre 2016. La coloration vert foncé indique une biomasse élevée de phytoplancton.

Un second pic est observé entre la fin du mois de juin et le début du mois de juillet, ce qui correspond à un premier développement de cyanobactéries (*Planktothrix* sp.), suivi d'un troisième pic en octobre 2016 (analyse en cours). Les deux premiers pics sont observés de manière simultanée dans les 2 barrages (Fig. 5). Comme en 2015, on voit une augmentation de la concentration en chlorophylle *a* à l'aval des barrages (station de Signy), avec une concentration en chlorophylle dans les stations lotiques multipliée par 4 en moyenne par la présence des barrages (Fig. 5).

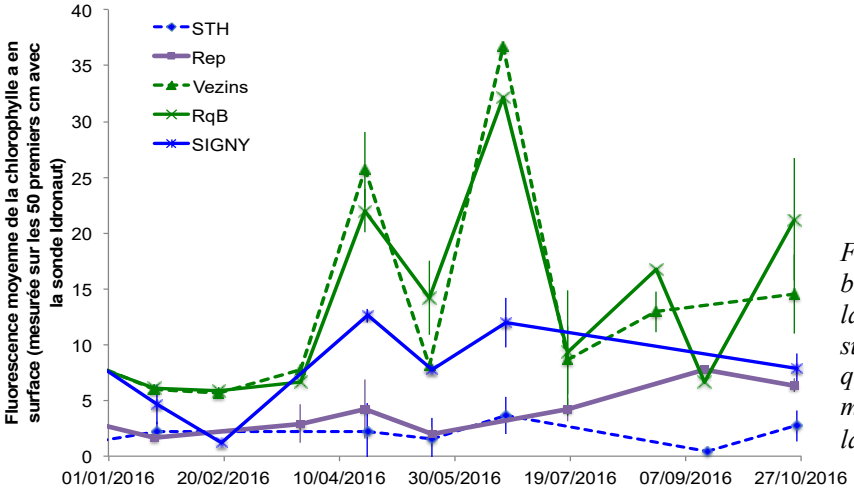


Figure 5 : Effet des barrages sur la biomasse (fluorescence associée à la chlorophylle a mesurée in situ sur les 50 premiers cm). A noter qu'un fort ensoleillement lors de la mesure peut fortement sous-estimer la biomasse (Quenching)

L'analyse phyto-PAM du phytoplancton montre une dominance de la communauté par les diatomées (Fig. 5). Hormis la période hivernale (janvier à mars), les diatomées sont présentes à toutes les stations toute l'année, avec des biomasses plus fortes dans les barrages (Fig. 6). Les chlorophycées sont également présentes toute l'année avec une dynamique similaire à celle des diatomées. Leur abondance est par contre plus importante à la station République, qui correspond à la zone de transition lotique-lentique (Fig. 6). Un pic important de cyanobactéries correspondant à *Planktothrix agardhii* a été observé en juillet dans les barrages et à la station aval de Signy (Fig. 6). Bien que les cyanobactéries soient toujours présentes en août et septembre, avec notamment le genre *Microcystis*, les concentrations mesurées au phytoPAM sont beaucoup plus faibles pendant et en fin d'été.

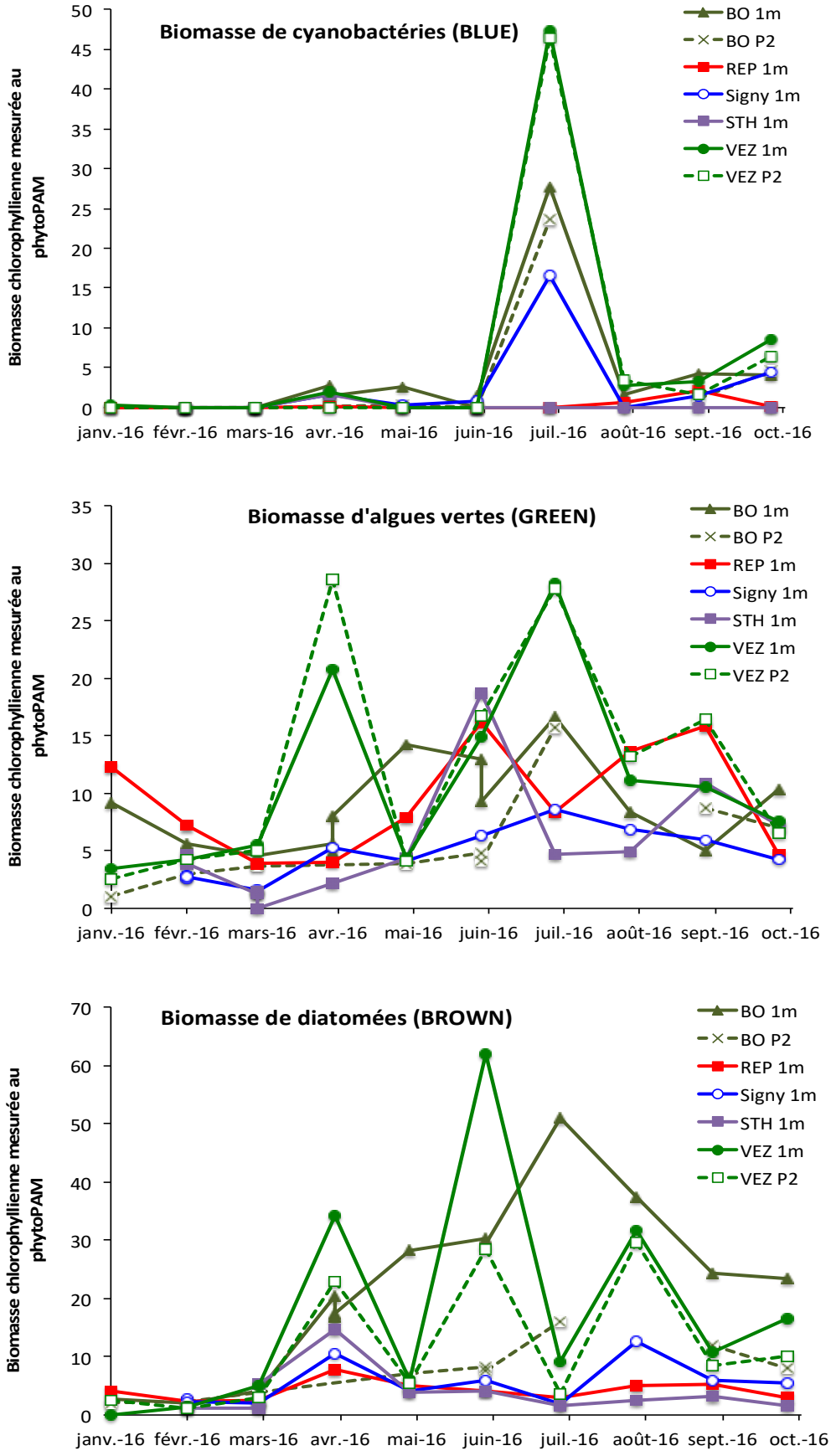


Figure 6 : évolution saisonnière de la biomasse des 3 groupes spectraux (cyanobactéries, algues vertes et diatomées) présentent dans le phytoplancton et mesurées par le phytoPAM pour les différentes stations d'études.

La biomasse de biofilm photosynthétique a été suivie sur substrat artificiel (lame de verre) grâce au système des cagettes, avec le même protocole que 2015. En 2016, comme en 2015, le biofilm est dominé par la matière minérale dans les stations lotiques et à République, alors que le biofilm organique prédomine dans les deux barrages (Fig. 7 gauche). La station République (station 2), qui est intermédiaire entre le lotique et le lentique, montre donc une plus grande similitude avec les stations lotiques que lentiques.

En termes de biomasse chlorophyllienne, la biomasse est aussi plus forte dans les stations lentiques que dans les stations lotiques (Fig 7 au milieu). La station de République se comporte également comme les stations lotiques amont et aval, c'est-à-dire avec une biomasse plus faible. Des dynamiques saisonnières ont été observées de façon prépondérante au niveau des barrages de Vezins et de La Roche qui Boit (station Bel-Orient) ; en effet, le biofilm y connaît un fort accroissement au printemps avec une apogée en été (juillet 2015 et 2016) pour diminuer en automne, suivant le rayonnement global saisonnier (Fig. 7 au milieu). Les stations lotiques suivent une dynamique similaire mais dans de plus faibles proportions. Pour les stations Vezins et Bel-Orient, les cagettes positionnées à 2m sous la surface montrent généralement des biomasses plus faibles qu'à moins 1m que ce soit en terme de biomasse totale ou photosynthétique (données non montrées). Cela s'explique par une rapide limitation de la lumière avec la profondeur.

L'analyse phyto-PAM du périphyton montre également un biofilm plus riche en biomasse dans les barrages que dans les stations lotiques et la station de République (Fig. 7 à droite). En aout 2016, la biomasse à la station de République est plus élevée que dans les barrages. La biomasse dans les barrages est également plus diversifiée avec la présence des trois groupes taxonomiques (Fig. 7 à droite). Tout comme en 2015, la biomasse de cyanobactéries dans le biofilm augmente dans les barrages. A la station aval (station de Signy), il n'a pas été observé via le phytoPAM de cyanobactéries dans le biofilm (Fig. 7 à droite).

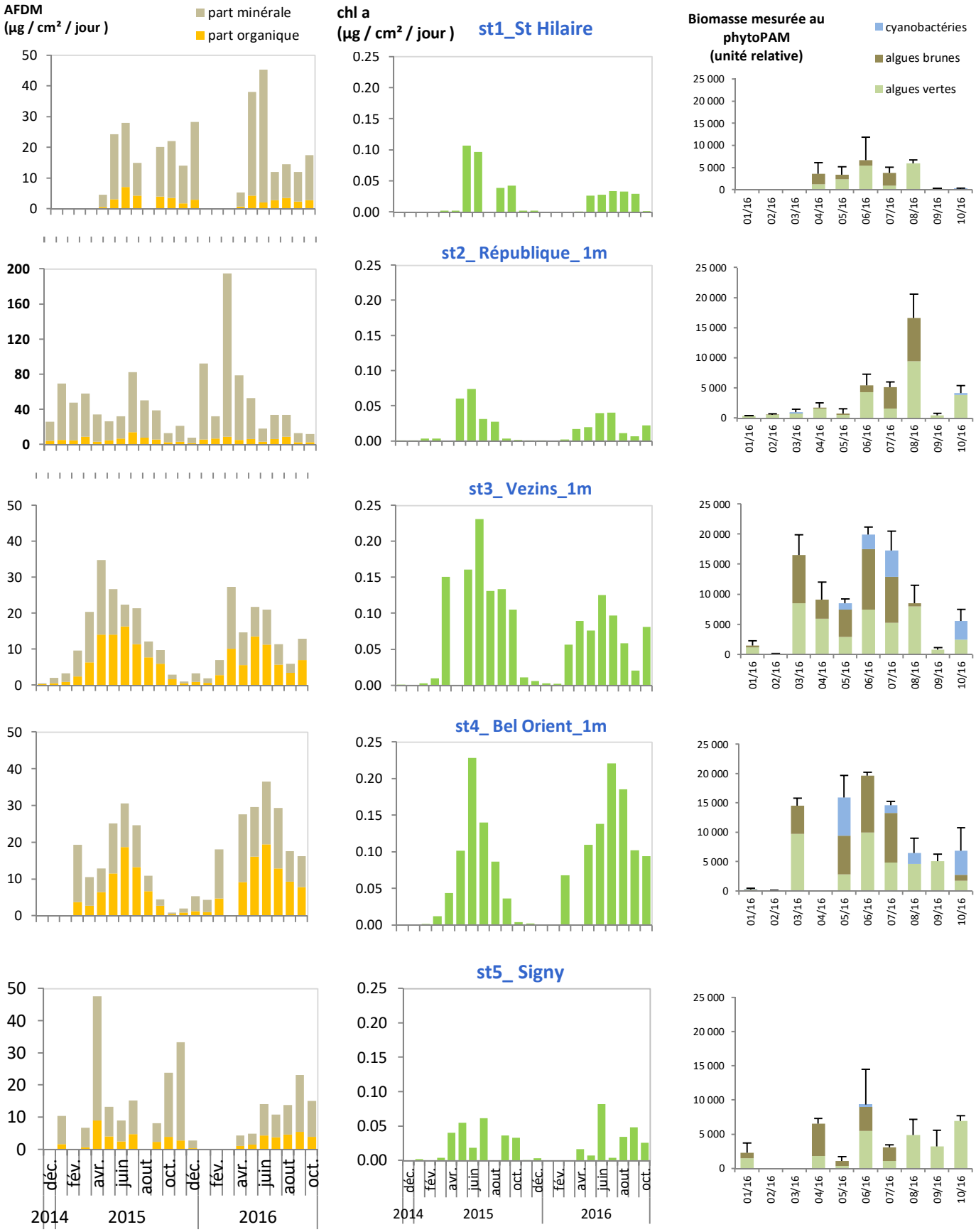


Figure 7 : évolution saisonnière en 2015 et 2016 de la biomasse de biofilm photosynthétique mesurée à 1m sous la surface, avec (à gauche) les masses organique (Poids Sec Sans Cendre ou Ash-Free Dry Mass) et inorganique de biofilm et (au milieu) les mesures de chlorophylle a (D. Vassaux). (à droite) L'évolution saisonnière en 2016 de la biomasse des 3 groupes spectraux (cyanobactéries, algues vertes et diatomées) mesurées par le phytoPAM pour les différentes stations d'études.

4.3 Caractérisation des communautés de macrophytes

En 1996, 14 stations (linéaire de cours d'eau de 50m) (voir localisation en

Figure) ont été étudiées selon le protocole Milieu Et Végétaux (MEV), lors de deux campagnes (printemps et fin d'été). En fin d'été 2015 (aout), l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR, NF T 90-395 (AFNOR, octobre 2003) adapté (longueur de la station d'étude de 50 m) a été appliqué sur ces mêmes stations, permettant l'établissement de données floristiques comparables (recensement et évaluation de l'abondance spécifique de la végétation aquatique visible à l'œil nu présente dans le cours d'eau). L'évolution de la composition floristique des différentes stations peut ainsi être comparée sur 20 ans et être mise en regard des différentes sources de perturbations présentes sur le linéaire. La qualité trophique de l'eau, évaluée par le calcul de l'indice IBMR, pourra également être comparée entre 1996 et 2015.

L'état des lieux réalisé en 1996 (Hérissé, 1996) indique une qualité d'eau médiocre dès les premiers kilomètres (PO4 : 0.215 mg/l ; NO3 : 32.3 mg/l ; NO2 : 0.175 mg/l ; NH4 : 0.05 mg/l), mise en relation avec un bassin versant très anthropisé et dominé par des activités agricoles intensives et industrielles. La biodiversité végétale y est ordinaire : 180 taxons différents ont été recensés sur la Sélune, en absence d'espèces patrimoniales du département, mais avec la présence d'une invasive terrestre (*Impatiens glandulifera*). Les barrages y présentent une influence localisée avec une amélioration de la qualité de l'eau sur une dizaine de kilomètres en aval (fixation par le phytoplancton, oxygénation) et environ un tiers des espèces sont communes entre l'amont et l'aval de la zone ennoyée (31% d'espèces rivulaires et 25% d'espèces aquatiques).

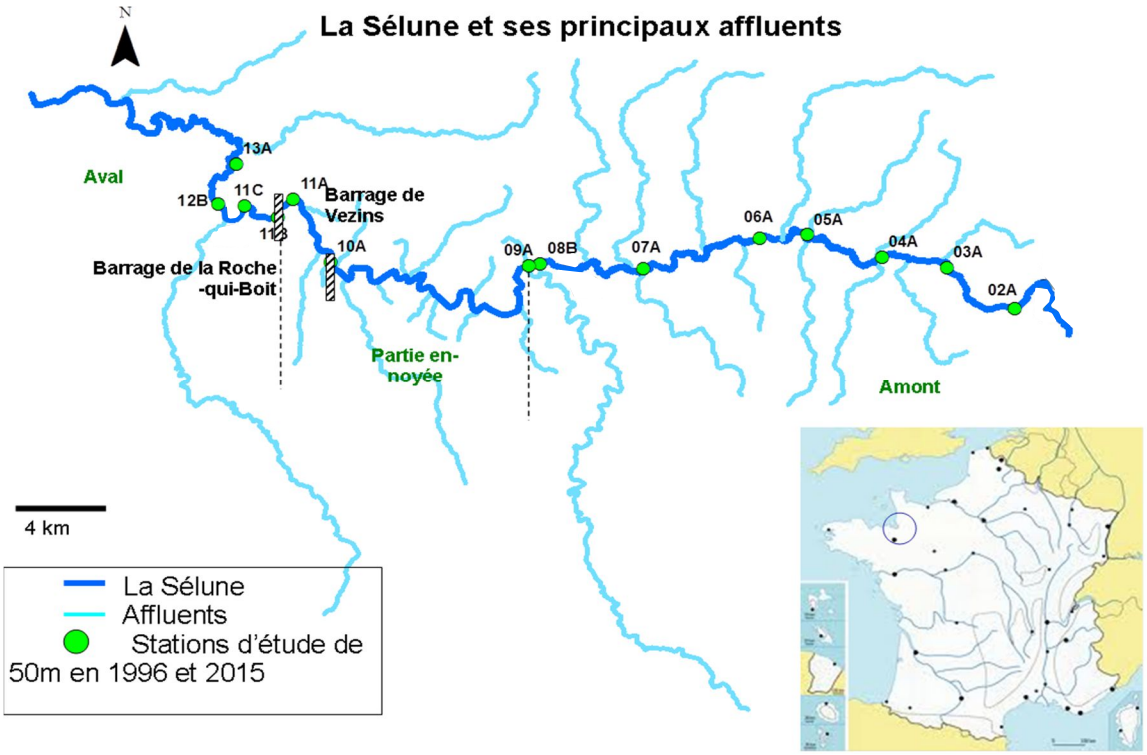


Figure 8 : La Sélune et ses principaux affluents : positionnement des stations de mesure historiques (1996 et 2015)

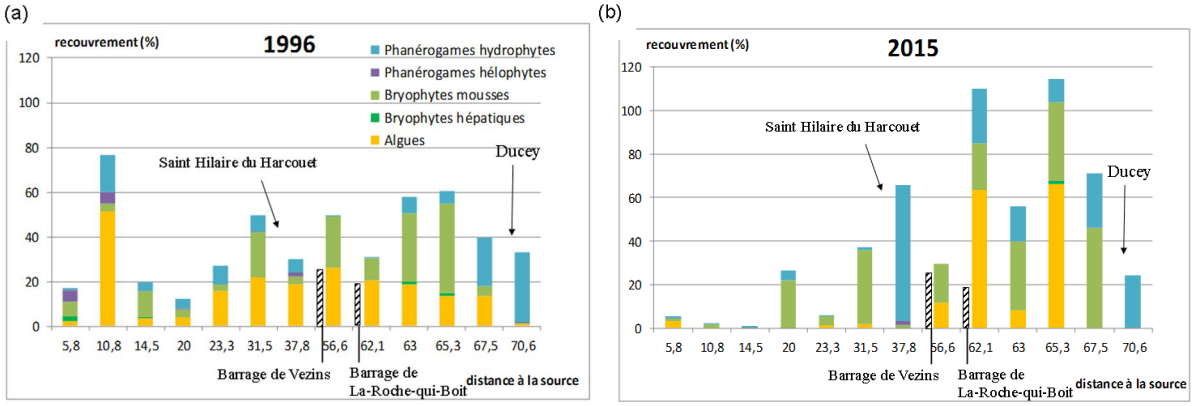


Figure 9 : Abondance des groupes taxonomiques et fonctionnels sur le cours principal de la Sélune en 1996 (a) et 2015 (b).

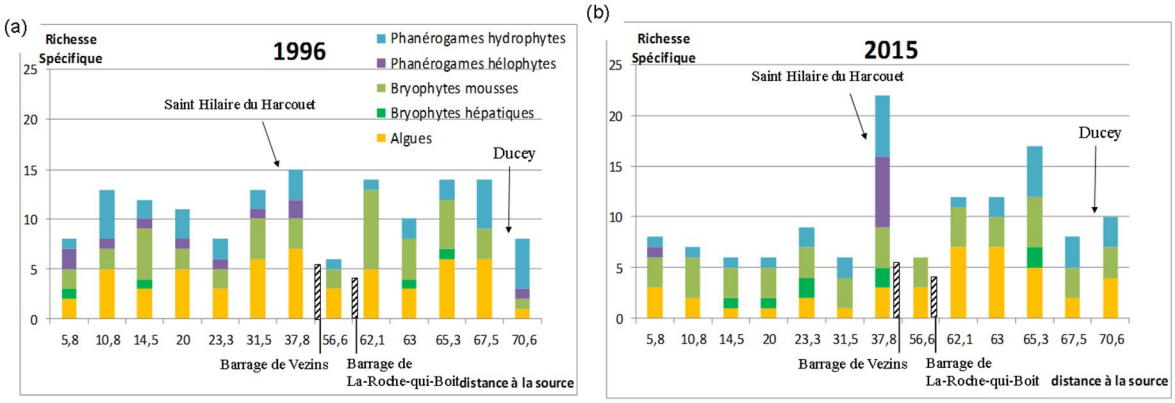


Figure 10 : Richesses spécifiques par groupes taxonomiques et fonctionnels sur le cours principal de la Sélune en 1996 (a) et 2015 (b).

En amont de la zone ennoyée, la Sélune se présente sous la forme d'un petit cours d'eau de moins de 10 m de large. En 1996, la végétation aquatique y est dominée par les algues et phanérogames (hydrophytes et hélophytes) en terme d'abondance (Figure a) et équilibrée en terme de représentativité des différents groupes taxonomiques et fonctionnels dans la diversité floristique (10a). On y retrouve les espèces caractéristiques des têtes de bassin versant : *Callitriche obtusangula*, *C. platycarpa*, *Riccardia sinuata*.

En aval, suite à l'élargissement du cours d'eau, l'influence relative de la ripisylve diminue, le courant ralentit, permettant le développement des phanérogames potamophiles (*Ranunculus penicillatus*, *Potamogeton alpinus*, *Elodea canadensis*). Sous l'influence des barrages, les bryophytes, groupe pionnier, deviennent relativement abondants (Figure 9b), notamment pour les espèces supportant de fortes variations hydrologiques (*Fontinalis antipyretica* et *Octodiceras fontanum*). Ces changements dans l'abondance des groupes fonctionnels n'entrainent pas de variation de la diversité floristique par rapport à l'amont (Figure 10b).

19 ans plus tard, sur la partie amont de la zone ennoyée, les groupes les plus héliophiles (algues et phanérogames) ont fortement régressé au profit des bryophytes, de manière encore plus marquée sur le paramètre d'abondance (Figure 9b) que sur le paramètre diversité (Figure 10b). L'évolution de la ripisylve sur ces secteurs de petits cours d'eau amont

semble être le principal facteur déterminant de ces changements, les bryophytes étant un groupe se développant facilement des conditions ombragées.

En aval, la largeur moyenne du cours d'eau étant importante (près de 20m), l'impact de la ripisylve sur la végétation aquatique, et par voie de conséquence son évolution en 19 ans, est moindre.

La diversité globale des végétaux aquatiques de la Sélune a peu évolué en cette vingtaine d'années : 40 taxons ont été recensés en 2015 pour 38 en 1996. En 1996, seuls 17% de la flore aquatique étaient commune à l'amont et l'aval des barrages (***Figure***). Cet effet barrage physique semble s'être amoindri en 2015 et la flore s'est homogénéisée (plus de 60% de taxons communs).

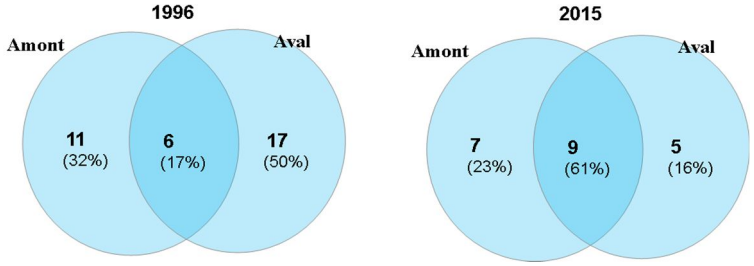


Figure 11: Espèces aquatiques communes entre l'amont et l'aval des barrages

La disparition du premier des deux macrophytes invasifs (*Elodea canadensis* et *Potamogeton crispus*) identifiés sur la Sélune en 1996 ainsi que l'apparition d'une bryophyte atlantique (*Porella pinnata*) assez rare en France en 2015 (Tableau 1) semblent indiquer un maintien de la qualité du milieu. Toutefois, plusieurs espèces de bryophytes caractéristiques des eaux vives de bonne qualité (*Brachythecium rivulare*, *Fontinalis squamosa*) et une characée (*Nitella sp.*), taxon pionnier d'eaux stagnantes ou faiblement courantes oligo-mésotrophes sensible à la trophie et aux pollutions n'ont pas été retrouvés en 2015. Ce dernier résultat est plutôt indicateur d'une dégradation de la qualité des eaux.

Tableau 1 : Taxons spécifiques par année d'étude

Types biologiques	Spécifiques en 1996	Spécifiques en 2015
Algues	*Mougeotia sp.* Agardh. *Nitella sp.* Agardh.	*Lemanea sp.* Bory de St Vincent *Microspora sp.* Thuret
Bryophytes	*Brachythecium rivulare* Schimp. *Fontinalis squamosa* Hedw.	*Porella pinnata* L.
Phanérogames hydrophytes	*Elodea canadensis* Michx.	*Helosciadium nodiflorum* (L.) W.D.J.Koch

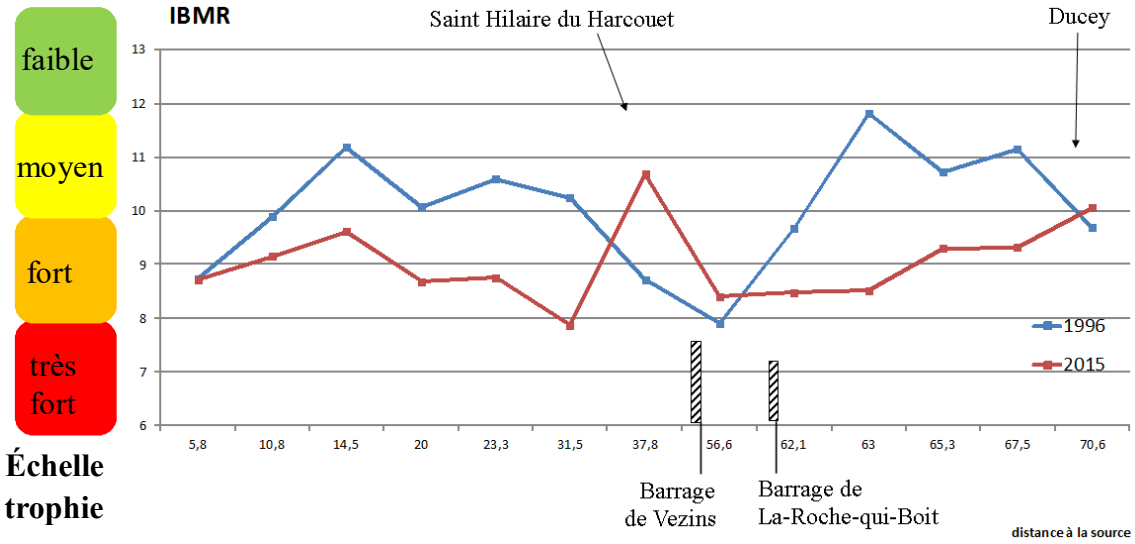


Figure 12 : Evolution de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR) sur la Sélune en 1996 et 2015

En 1996, la qualité de l'eau était médiocre avec une évaluation selon l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière d'un niveau trophique moyen à fort (Figure). Les agglomérations de Ducey et Saint Hilaire du Harcoüet induisent une diminution de l'indice d'1.5 pt. L'influence du barrage de Vezins est très forte avec une chute de la diversité floristique dans tous les groupes taxonomiques. Seules les espèces ubiquistes et/ou supportant les fortes variations hydrologiques (*Fontinalis antipyretica* et *Octodiceras fontanum*) y sont retrouvées en association avec des algues (*Rhizoclonium sp.* et *Oedogonium sp.*) indicatrices de dégradation trophique et probablement échappées de la retenue. Toutefois, l'influence du barrage est localisée et la récupération du système est réalisée sur 6 km en aval (effet filtre, oxygénation).

En 2015, la note IBMR est abaissée d'1 pt en moyenne par rapport à 1996, attribuant un degré de trophie de l'eau fort sur quasiment l'ensemble du longitudinal. Si cette diminution pourrait être en partie explicative de l'amélioration de la note en aval direct de Ducey (une très faible variation de l'indice est observée sur cette station en 20 ans), ce n'est pas le cas de la station en aval de Saint Hilaire du Harcouet. Pour cette dernière agglomération, la note de la station de mesure est augmentée de 2.5 points en aval en 2015, soit une amélioration de près de 2 points en 20 ans.

En 2015, l'influence du barrage de Vezins présente le même schéma de réponse de la végétation. Toutefois, la dégradation trophique indiquée par l'indice IBMR est plus importante (diminution de 2 points) suite à l'amélioration constatée en amont pour la ville de Saint Hilaire du Harcoüet. En excluant ce point particulier, l'influence des barrages est quasi nulle d'un point de vue de la trophie révélée par les macrophytes. La récupération du système est réalisée de manière plus graduelle sur une zone d'influence agrandie (plus de 10 km en aval).

La flore macrophytique recensée sur la Sélune est typique des cours d'eau acides à Renoncules (*Ranunuculo-Callitrechetum hamulatae*) de moyenne qualité. On y retrouve quelques végétaux invasifs : *Potamogeton crispus* (et historiquement *Elodea canadensis*) pour la partie aquatique et *Impatiens glandulosa* pour la partie terrestre de berge.

En 19 ans, la structure physique du milieu (mésologie) a peu évolué, développement de la ripisylve sur la zone amont mis à part. La réponse de la végétation à cette évolution de la ripisylve est très nette avec une régression des taxons héliophiles au profit des sciaphiles (bryophytes). La perte de diversité engendrée contribue à la diminution de l'indice IBMR sans indications fortes de la dégradation trophique par la végétation. Ceci illustre (i) l'influence primordiale des conditions physiques sur la structure des communautés, la qualité chimique des eaux étant un facteur secondaire et (ii) les limites d'application de l'indice (secteurs à faible diversité végétale).

Sur la partie aval du longitudinal, l'évolution de la végétation peut être directement mise en lien avec l'évolution de la qualité de l'eau. L'étude des macrophytes révèle une dégradation de la trophie de l'eau en 20 ans, suite à l'intensification de l'anthropisation, malgré une amélioration au niveau des agglomérations (évolution du traitement des rejets).
En excluant le point de mesure à l'aval de Saint Hilaire du Harcouet, l'influence des barrages reste présente (développement d'une flore caractéristique de régimes contrastés en aval) mais amoindrie (homogénéisation de la flore aquatique sur le longitudinal, faible dégradation de la qualité trophique du milieu, récupération du système plus graduelle) en 2015, comme le montre les concentrations en nitrates mesurées à Signy en 2015 et 2016 (Fig. 2a).

4.4 Caractérisation des communautés de macroinvertébrés benthiques

De prélèvements d'invertébrés ont été réalisés à l'automne 2014, au printemps et à l'automne 2015 et enfin au printemps 2016. Pour chaque date et chaque site de la Sélune, 12 prélèvements Surber ont été réalisés (8 prélèvements dans les substrats dominants et 4 dans les substrats accessoires) en sélectionnant les substrats en suivant les recommandations du protocole d'évaluation de la qualité des eaux de surfaces tel que pratiqué dans le cadre du réseau de contrôle et de surveillance des DREAL.

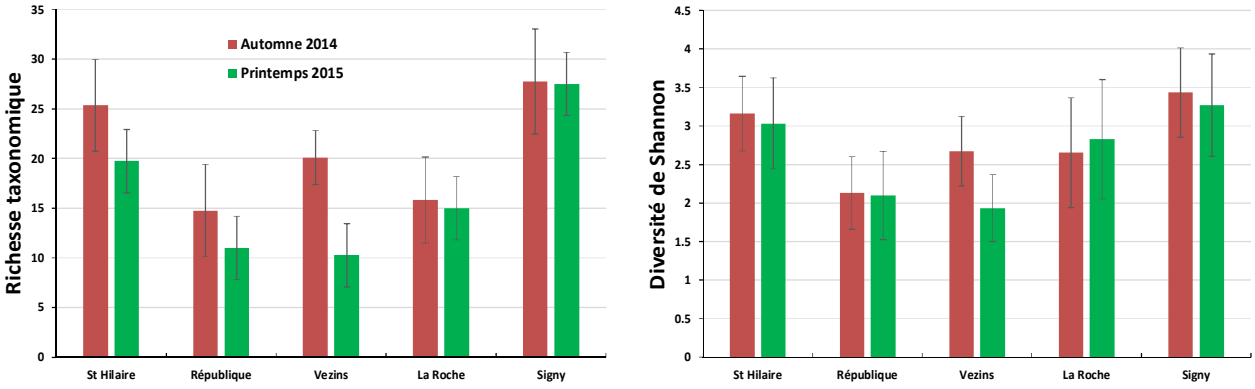


Figure 13. Richesse taxonomiques et diversité de Shannon moyennes (± écartype) obtenues par la campagne d'échantillonnage au filet Surber en automne 2014 et printemps 2015.

Pour chaque site, nous avons également utilisé quatre substrats artificiels constitués par 5L de galets pour déterminer la structure des communautés d'invertébrés. Cette méthode a été retenue afin de limiter l'effet substrat dans la comparaison inter-site.
Les résultats des prélèvements Surber des campagnes d'octobre 2014 et d'Avril 2015 montrent que la structure des communautés d'invertébrés de la Sélune varie significativement entre les sites avec une baisse très importante de la richesse taxonomique (atteignant -40% en 2014 et -50% en 2015) et de la diversité de Shannon (Fig. 13) dans les retenues (de république

à La Roche) par rapport aux sites amont (St Hilaire) et aval (Signy). Les profils de diversités sont identiques entre 2014 et 2015 bien que les taxons invertébrés présents évoluent fortement entre les saisons.

Afin de comparer l'évolution de la structure des communautés d'invertébrés en fonction des sites et de l'année d'échantillonnage, nous avons réalisé une analyse factorielle des correspondances (AFC) (Fig. 14). Cette analyse a permis de montrer que la structure des communautés d'invertébrés est très nettement impactée par la présence des barrages avec un gradient de structure allant de St Hilaire à Vezins sur le plan factoriel F1 et un retour à une structure similaire à celle de l'amont sur le site de Signy situé en aval des barrages (Figure 14a). La position de ce gradient sur le premier plan factoriel (F1) montre également que l'effet barrage est le principal facteur structurant les communautés d'invertébrés.

La composition des communautés évolue entre l'amont des barrages (St Hilaire) et les retenues, le site de Vezins étant le plus différent du site amont. La composition des communautés à l'aval des barrages (Signy) tend à redevenir comparable à la composition du site amont (Figure 14a), et donc qu'il n'y aurait pas de gradient amont/aval naturel dans la structuration des communautés entre St Hilaire et Signy. Ce résultat est identique aux résultats préliminaires de la campagne 2014, ce qui confirme que l'évolution des communautés de macroinvertébrés se fait bien uniquement sous l'effet des barrages. Si l'on regarde plus en détails les invertébrés présents, on remarque que les espèces caractéristiques des sites de Vezins et de la Roche qui Boit sont d'une part les crustacés planctoniques (Cladocères, Copépodes), des insectes hétéroptères qui aiment les eaux stagnantes (*Micronecta* sp.).

De plus, l'AFC confirme que la structure des communautés est très différente en fonction de la date d'échantillonnage (automne 2014 et printemps 2015, Fig. 14b). Toutefois, la position de l'effet date sur le plan factoriel F2, indique que cet effet est indépendant de l'effet barrage qui est représenté sur le plan factoriel F1. Il y a donc un effet date, qui s'explique par les variations saisonnières des communautés d'invertébrés, mais celui-ci n'interfère pas avec l'effet barrage.

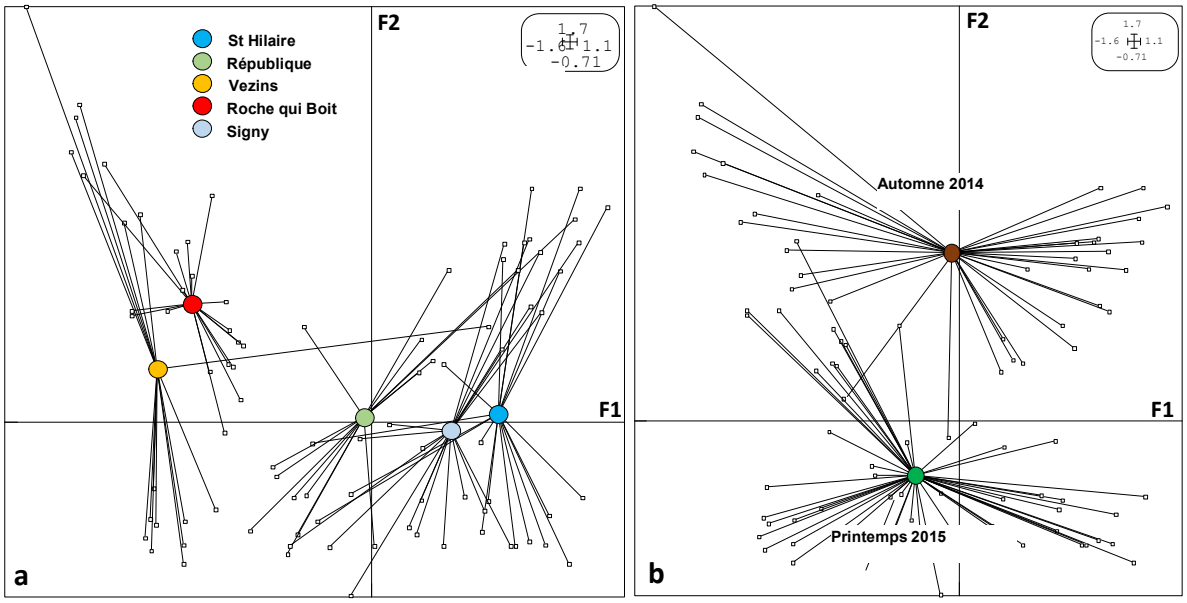


Figure 14. Plan factoriel des sites (a) et des dates d'échantillonnages (b). Les carrés blancs correspondent aux 89 échantillons d'invertébrés effectués et les cercle de couleurs correspondent au centre de gravité de tous les échantillons d'un même site (a) ou d'une même date (b).

5. Bilan des tâches restantes

Une partie des analyses n'ont pu être terminées en 2016 et devront être poursuivies dans le cadre la nouvelle convention en 2017 (Tableau III).

Tableau III : synthèse des sorties réalisées en 2015 et 2016 et des paramètres mesurés (ou en cours d'analyse)

	Paramètres	2014	2015	2016
paramètres physico-chimiques	profil multiparamétrique	Fait	Fait	Fait
	dosages des nutriments	Fait	Fait	Fait
Macrophyte	Recouvrement et richesse		Fait sur les 5 sites de la Sélune	Les 14 sites suivis en 1996
phytoplancton	activité photosynthétique	Fait	Fait	Fait
	biomasse (chlorophylle a)	Fait	Fait	Fait
	composition et abondance	Fait	Fait Janvier à Septembre	A faire
périphyton	activité photosynthétique	Fait	Fait	Fait
	biomasse (chlorophylle a)	Fait	Fait	Fait
	biomasse (poids sec sans cendre)	Fait	Fait	Fait
	composition et abondance	Fait	Fait Janvier à Juin	A faire
zooplancton	composition et abondance	Fait	Fait Janvier à Septembre	A faire
Macroinvertébrés	Tri et détermination	Fait	Mars terminé Automne trié uniquement	Mars partiellement trié
	Développement de bioindicateurs pour des stress aigus		La méthode a été développée en conditions de laboratoire	Validation et publication des résultats

6. Conclusions sur les résultats obtenus depuis 2014

Le projet « monitoring » avait pour principal objectif de réaliser un état de référence de la qualité biologique (phytoplancton et périphyton, invertébrés et macrophytes) de la Sélune à l'amont et à l'aval des deux barrages ainsi que dans les retenues de Vezins (2 stations) et de la Roche qui Boit (1 station).

Dans ce contexte, les suivis initiés à l'automne 2014, devaient servir à décrire les évolutions saisonnières des communautés biologiques en lien avec la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval des barrages. Nos résultats (2014,2015 et 2016), même partiels, montrent clairement que le système est à l'équilibre avec des dynamiques saisonnières qui semblent stables d'une année sur l'autre, même si les variations hydrologiques inter-annuelles ont pu perturber les communautés d'invertébrés durant l'hiver. Pour tous les types d'organismes suivis et pour les paramètres physico-chimiques mesurés, nous avons pu vérifier une très forte cohérence dans leurs réponses à la présence des barrages, cette cohérence se faisant dans l'espace (de l'amont vers l'aval) mais aussi dans le temps (de 2014 à 2016).

Le principale objectif visant à établir un état de référence de cette partie de la Sélune semble donc atteint, malgré une exploitation des données encore incomplète et un suivi dans des conditions administratives difficiles. Les dernières données recueillies en 2017 devraient confirmer cette tendance.

En parallèle, les travaux préparatoires pour l'évaluation des risques écotoxicologiques pendant les travaux de fixation des boues contaminées de l'Yvrande sont également terminés et nous allons pouvoir mettre en place les expériences d'encagement *in situ* lors des travaux qui doivent être réalisés à partir du mois de mars 2017. En parallèle, des expériences en laboratoires seront mises en place cet été pour étudier les mécanismes de bio-accumulations des métaux lourds le long de la chaine trophique.

Annexe 1. Liste des macrophytes de la Sélune observés en 2015

Groupe	code	Taxon	St Hilaire	Signy
ALGUE	BATSPX	*Batrachospermum sp.*	x	
ALGUE	CLA.SPX	*Cladophora sp.*		x
ALGUE	HILSPX	*Hildenbrandia sp.*		x
ALGUE	LEASPX	*Lemanea sp.*	X	x
ALGUE	MELSPX	*Melosira sp.*	X	
ALGUE	OEDSPX	*Oedogonium sp.*		x
ALGUE	PHOSPX	*Phormidium sp.*		x
BRYOPHYTE	AMBRIP	*Amblystegium riparium*	X	x
BRYOPHYTE	CHIPOL	*Chiloscyphus polyanthos*	X	
BRYOPHYTE	FONANT	*Fontinalis antipyretica*	X	x
BRYOPHYTE	OCTFON	*Octodiceras fontanum*	X	x
BRYOPHYTE	RHYRIP	*Rhynchostegium riparioides*	X	X
BRYOPHYTE	RICSIN	*Riccardia chamaedryfolia*	X	X
PHANEROGAME Hélophyte	AGRSTO	*Agrostis stolonifera*	X	
PHANEROGAME Hydrophytes	APINOD	*Apium nodiflorum*	X	X
PHANEROGAME Hydrophytes	CALHAM	*Callitriche hamulata*	X	X
PHANEROGAME Hydrophytes	CALOBT	*Callitriche obtusangula*	X	
PHANEROGAME Hélophyte	CARSPX	*Carex sp.*	X	
PHANEROGAME Hélophyte	GLYFLU	*Glyceria fluitans*	X	
PHANEROGAME Hydrophytes	LEMMIN	*Lemna minor*	X	
PHANEROGAME Hélophyte	LYCEUR	*Lycopus europaeus*	X	
PHANEROGAME Hélophyte	MENAQU	*Mentha aquatica*	X	
PHANEROGAME Hydrophytes	MYRALT	*Myriophyllum alterniflorum*	X	X
PHANEROGAME Hélophyte	PHAARU	*Phalaris arundinacea*	X	
PHANEROGAME Hélophyte	POLHYD	*Polygonum hydropiper*	X	
PHANEROGAME Hydrophytes	POTcfCRI	*Potamogeton* cf. *crispus*		X
PHANEROGAME Hydrophytes	RANPEN	*Ranunculus penicillatus*	X	X
PHANEROGAME Hélophyte	RANREP	*Ranunculus repens*	X	
PHANEROGAME Hélophyte	SOADUL	*Solanum dulcamara*	X	

Annexe 2. Liste des micro-algues de la Sélune

Groupes floristiques	*Taxon*	Saint-Hilaire	République	Vezins	La Roche qui Boit	Signy
CYANOBACTERIES	*Aphanizomenon flos aquae*			x		
	Aphanizomenon sp			x	x	x
	Dolichospermum crassum			x	x	
	Dolichospermum ellipsoides			x		
	Dolichospermum sp	x	x			
	Raphidiopsis mediterranea				x	
	Aphanocapsa sp				x	X
	Coelomoron pusillum			x	x	X
	Microcystis aeruginosa	x	x			
	Microcystis viridis	x	x	x		
	Microcystis sp	x		x	x	
	Snowella sp		x	x	x	X
	Woronichinia sp		x	x		
	Limnothrix redekei	x	x	x	x	X
	Oscillatoria sp					X
	Planktothrix agardhii	x	x	x	x	X
	Planktothrix sp	x		x	x	X
	Pseudanabaena catenata	x	x	x	x	
	Spirulina sp	x	x	x	x	
CHLOROPHYCEES	*Actinastrum sp*			x	x	
	Acutodesmus sp	x	x	x	x	X
	Ankistrodesmus falcatus	x				
	Ankistrodesmus sp	x			x	X
	Ankyra sp	x	x	x	x	
	Chlamydomonas sp	x	x	x	x	X
	Chlorella sp	x	x	x	x	X
	Coelastrum sp	x	x	x	x	X
	Crucigenia sp	x	x	x	x	X
	Crucigeniella sp	x			x	
	Desmodesmus subspiratus		x			
	Desmodesmus bicaudatus	x	x	x	x	X
	Desmodesmus magnus	x	x	x	x	X
	Desmodesmus denticulatus		x	x	x	X
	Desmodesmus abundans	x	x	x	x	X
	Desmodesmus communis	x	x	x	x	X
	Desmodesmus flavescens	x	x	x	x	
	Desmodesmus opoliensis	x	x	x	x	X
	Desmodesmus sp	x	x	x	x	X
	Dictyosphaerium sp	x		x	x	X
	Didymocystis sp	x	x		x	X

	Elakatothrix sp	x				
	Eudorina sp	x	x	x	x	
	Golenkinia sp	x	x	x	x	
	Kirchneriella sp	x		x	x	X
	Micractinium sp	x			x	
	Monoraphidium sp	x	x	x	x	X
	Oocystis sp	x	x	x	x	X
	Pandorina morum				x	
	Pandorina sp		x	x		
	Pedistrum duplex			x	x	X
	Pediastrum simplex		x	x	x	
	Pedistrum boryanum		x	x	x	X
	Pediastrum tetras	x	x	x	x	X
	Pediastrum sp	x	x	x	x	
	Quadrigula sp			x		
	Scenedesmus ellipticus	x	x	x	x	X
	Scenedesmus sp	x	x	x	x	X
	Schroedaria sp				x	
	Selenastrum sp			x	x	X
	Sphaerocystis sp	x	x	x	x	X
	Tetraedron sp	x	x	x	x	
	Chlorotetraedron sp				x	
	Tetrastrum sp	x	x	x	x	X
	Tetrastrum komarekii			x		
	Volvox sp				x	
ZYGOPHYCEES	*Closterium aciculare*	x	x	x	x	X
	Closterium cornu			x		
	Closterium acutum				x	
	Closterium sp	x		x	x	
	Cosmarium sp			x		
	Spondylosium sp				x	X
	Staurastrum teliferum					X
	Staurastrum validus	x				
	Staurastrum sp	x	x	x	x	X
	Staurodesmus sp			x		
DIATOMEES	*Aulacoseira granulata*	x	x	x	x	X
	Aulacoseira spiralis	x	x	x	x	X
	Aulacoseira sp	x	x	x	x	X
	Cyclotella sp	x	x	x	x	X
	Gyrosigma sp	x	x	x	x	
	Melosira varians	x			x	
	Pseudostephanodiscus sp		x	x	x	X
	Stephanodiscus sp	x	x	x	x	X
	Asterionella sp	x	x	x	x	X

	Cocconeis sp	x	x	x	x	X
	Craticula sp			x		
	Cymbella sp	x	x	x		
	Diatoma sp		x	x	x	
	Eunotia sp	x	x		x	X
	Fragilaria capucina	x	x	x	x	X
	Fragilaria crotonensis	x	x	x	x	X
	Fragilaria sp	x	x	x	x	X
	Gomphoneis sp	x	x	x	x	
	Gomphonema sp	x	x	x	x	
	Navicula sp	x	x	x	x	X
	Nitzschia fruticosa	x	x	x	x	X
	Nitzschia sp	x	x	x	x	X
	Nitzschia aciculare	x	x	x	x	X
	Pinnularia sp	x	x		x	
	Synedra sp	x	x	x	x	X
	Surirella sp	x				
	Ulharia sp	x	x	x	x	X
	Tabellaria sp	x	x	x	x	
	Autres pennees indeterminees	x		x	x	X
	Dinobryon sp	x	x	x	x	X
	Kephyrion sp	x	x	x	x	
	Mallomonas sp	x	x	x	x	X
	Synura sp	x	x	x	x	X
XANTHOPHYCEES	*Goniochloris sp*				x	
	Tribonema sp				x	X
DINOPHYCEES	*Peridinium sp*	x	x	x	x	X
CRYPTOPHYCEES	*Cryptomonas sp*	x	x	x	x	X
	Pteromonas sp		x			
EUGLENOPHYCEES	*Euglena sp*	x	x	x	x	X
	Phacus sp			x	x	
	Trachelomonas sp	x	x	x	x	X

Annexe 3. Liste des invertébrés zooplanctoniques de la Sélune

	Saint-Hilaire	République	Vezins	La Roche qui Boit	Signy
ROTIFERES					
Keratella cochlearis		x	x	x	x
Keratella quadrata			x	x	x
Asplanchna sp.			x	x	x
Ascomorpha sp.	x	x	x		
Synchaeta sp.				x	
Brachionus sp.	x	x	x	x	x
Brachionus bidentatus			x	x	
Brachionus patulus			x		
Brachionus plicatilis			x		
Brachuionus calyciflorus			x		
Brachionus angularis			x		
Polyarthra sp.	x	x	x	x	x
Lecane lecane			x		
Lecane monostyla			x		
Filinia sp.			x		
Kelicottia longispina		x	x	x	x
COPEPODES					
Copepodes sp.		x	x		
Diaptonidae				x	
Cyclopoida			x	x	
CLADOCERES					
Bosmina sp			x	x	x
Daphnia sp			x		

Annexe 4. Liste des macroinvertébrés benthiques de la Sélune

Groupes	Taxon	St Hilaire	République	Vezins	La Roche	Signy
Hydrozoaires	*Hydra sp*	x	x	x	x	x
Hydracariens		x	x	x	x	x
Achètes	*Piscicola geometra*		x			x
	Batracobdella sp		x		x	x
	Haementeria costata					x
	Erpobdella sp	x	x	x	x	x
	Helobdella stagnalis	x	x			x
	Glossiphonia sp		x	x	x	x
	Hemiclepsis sp					x
	Alboglossiphonia heteroclita				x	
	Alboglossiphonia hyalina				x	
	Branchiobdella sp	x				
Oligochètes		x	x	x	x	x
Nématodes		x			x	x
Plathelminthes	*Dugesia sp*	x	x	x	x	x
	Polycelis nigra					x
Mollusques	*Pisidium sp*	x		x	x	x
	Pseudanodonta complanata	x	x			x
	Bithynia tentaculata	x	x		x	x
	Bithynella sp					
	Potamopyrgus antipodarum				x	
	Ancylus fluviatis	x	x	x	x	x
	Planorbarius sp	x	x		x	
	Physella acuta	x	x			x
	Gyraulus sp	x		x	x	x
	Hippeutis complanatus					
	Lymnaeidae spp				x	
	Stagnicola sp					x
	Radix sp					x
	Menetus dilatatus				x	x
Crustacés	*Gammarus pulex*	x	x	x	x	x
	Echinogammarus berilloni	x	x	x		x
	Asellus aquaticus	x	x	x	x	x
	Proasellus meridianus	x	x	x	x	x
Odonates	*Calopteryx sp.*	x	x			x
	Platycnemis pennipes		x			
	Cordulegaster sp.					x
	Somatochlora pro parte				x	
	Gomphus vulgatissimus					x
	Boyeria irene				x	
Coléoptères	*Esolus sp*	x	x		x	x
	Oulimnius sp	x	x		x	x
	Dupophilus sp	x	x			x
	Limnius sp	x	x	x	x	x
	Elmis sp	x	x	x	x	x

	Stenelmis sp	x			x	x
	Riolus sp	x	x			x
	Normandia sp					x
	Hydraena sp	x			x	
	Pomatinus sp					x
	Orectochilus villosus	x	x	x		x
	Platambus sp	x				
Hémiptères	*Aphelocheirus aestivalis*	x	x		x	x
	Micronecta sp	x	x	x	x	x
	Corixinae sp		x			
	Sigara sp		x			
	Microvelia sp	x	x		x	
	Velia sp		x			
	Mesovelia sp	x	x			
Mégaloptères	*Sialis sp*	x	x			
Ephémèroptères	*Caenis sp*	x	x	x	x	x
	Acentrella sp	x	x			x
	Baetis sp	x	x			x
	Potamanthus luteus	x	x			x
	Heptagenia flava	x				x
	Electrogena sp	x				x
	Rhitrogena sp	x				
	Habrophlebidae sp	x				x
	Paraleptophlebia sp	x	x		x	x
	Serratella ignita	x				x
	Epeorus sp	x				x
	Ephemera sp	x			x	x
	Ecdyonurus sp	x				
	Centroptilum sp	x				x
Plécoptères	*Isoperla grammatica*	x	x			x
	Nemoura sp	x				
	Euleuctra geniculata					x
	Brachyptera sp	x				
	Taeniopteryx sp	x	x			x
Diptères	*Tanypodinae sp*	x	x	x	x	x
	Orthocladiinae sp	x	x	x	x	x
	Chironomiini sp	x	x	x	x	x
	Tanytarsini sp	x	x	x	X	x
	Clinocerinae sp	x				x
	Limnophora sp	x			x	
	Ceratopogonidae spp	x	x			x
	Simuliini sp	x	x		x	x
	Limoniini sp	x		x	x	x
	Tipulidae spp	x			x	
	Ptychopteridae spp					x
	Hexatomiini spp	x				
	Pediciini spp	x				

	Athricops crassipes					x
	Atherix sp	x				x
	Dixa sp					x
	Tabanidae spp		x			
	Sciomyzidae spp	x				
Trichoptères	*Oecetis testacea*	x				x
	Oecetis notata				x	x
	Oecetis furva		x			x
	Oecetis ochracea					x
	Oecetis sp	x	x	x	x	x
	Ceraclea furva	x				x
	Athripsodes sp	x	x	x	x	x
	Brachycentrus subnubilus			x	x	x
	Brachycentrus montanus	x				
	Phryganea grandis				x	
	Lepidostoma hirtum				x	x
	Limnephilus flavicornis	x		x	x	x
	Ecnomus tenellus	x		x		
	Philopotamus montanus	x		x		x
	Psychomia pusilla	x	x	x	x	x
	Plectrocnemia geniculata	x	x	x		x
	Holocentropus picicornis	x	x	x		x
	Polycentropus flavomaculatus	x	x	x	x	x
	Cyrnus trimaculatus	x	x	x	x	
	Cheumatopsyche lepida					x
	Diplectrona felix				x	
	Hydropsychae pellucidula	x				x
	Hydropsychae siltalai	x				
	Hydropsychae incognita	x		x		x
	Hydropsychae contubernalis		x			x
	Hydropsychae angustipennis	x				x
	Rhyacophila pubescens	x				
	Pararhyacophila intermedia	x				
	Hyporhyacophila	x				
	Rhyacophila dorsalis	x				x
	Rhyacophila hirticornis	x				
	Sericostoma sp					x
	Hydroptila sp					x
	Ithytrichia lamellaris	x	x			x
	Mystacides azurea	x	x	x	x	x
	Odontocerum albicorne				x	