

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

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

▶ **To cite this version:**

C. Piscart, Alexandrine Pannard, Laura Pellan, Caroline Gorzerino, Julie Coudreuse, et al.. Effets des arasements sur les communautés animales et végétales de la Sélune : Rapport final. [Rapport de recherche] Agence de l'Eau Seine-Normandie. 2018, pp.60. hal-03378503

HAL Id: hal-03378503
https://hal.inrae.fr/hal-03378503

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

15/02/2018

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

Rapport final

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

Caroline Gorzerino, 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)

SOMMAIRE

1. Introduction 1

1.1. Contexte et enjeux 1
1.2. Objectifs pour la phase pré-arasement (2014-2017) 2
1.3. Organisation des opérations 3
1.4. Partenaires scientifiques impliqués 3

2. Présentation des sites de suivi sur le bassin versant de la Sélune 4

2.1. Description des stations de suivi sélectionnées 4
2.1.1. Les stations « rivières » dites de référence 5
2.1.2. Les stations de retenue 6
2.1.3. Station intermédiaire 7
2.2. Suivi des conditions physico-chimiques des sites de la Sélune 8
2.2.1. Méthodologie de suivi des conditions physico- chimiques 8
2.2.2. Caractéristiques physico-chimiques des sites de la Sélune de 2014 à 2017 8

3. Caractérisation des communautés de macrophytes 12

3.1. Méthodologie de suivi des communautés de macrophytes 12
3.2. Résultats 14
3.2.1. Caractérisation de la structure des biocénoses aquatiques végétales 14
3.2.2. Evaluation de la qualité trophique le long de la Sélune 18

4. Caractérisation des communautés d'invertébrés 21

4.1. Méthodologie de suivi des communautés d'invertébrés 21
4.2. Résultats 22

5. Caractérisation des communautés de phyto- et zoo-plancton 27

5.1. Méthodologie de suivi des communautés de phyto- et zoo-plancton 27
5.2. Résultats 28

6. Caractérisation du biofilm dans la Sélune 34

6.1. Méthodologie de suivi du biofilm sur la Sélune 34
6.2. Résultats 35

7. Conclusion sur les résultats obtenus lors de la phase pré-arasement du projet « Bio-monitoring » 39

8. Productions et communication scientifiques lors du projet 40

9. Référence bibliographiques 41

Figures et Annexe du rapport

Annexe 1. Synthèse des sorties réalisées durant la phase pré-arasement.....42
Annexe 2. Liste floristique des macrophytes de la Sélune 44
Annexe 3. Liste faunistique des macro-invertébrés aquatiques de la Sélune.....46
Annexe 4. Liste faunistique des invertébrés zooplanctoniques de la Sélune 51
Annexe 5. Liste floristique des micro-algues pélagiques de la Sélune 52
Annexe 6. Liste floristique des micro-algues benthiques de la Sélune.....55

1. Introduction

1.1. Contexte et enjeux

Les cours d'eau sont caractérisés par un flux d'eau et de matière associée, et par une faune et une flore spécifiques. Les flux s'écoulent d'amont en aval et modèlent la géomorphologie du cours d'eau. Des zonations longitudinales résultant de ces contraintes ont été établies et décrivent les attendus pour la faune d'invertébrés. Cette faune se distribue principalement en fonction de la vitesse du courant, du substrat, de la distance aux sources ou encore à partir de la nourriture disponible. Toutefois, les cours d'eau peuvent être jalonnés de plans d'eau qui résultent d'une topographie spécifique, souvent une rupture de pente et/ou un verrou géologique ou de l'activité anthropique telle que la création de barrages hydro-électriques. Dans ces plans d'eau, la faune et la flore qui se développent sont très différentes de celles colonisant les cours d'eau, avec, notamment, le développement massif de phyto- et zoo-plancton, et la disparition des espèces rhéophiles.

L'érection des barrages sur la Sélune a créé des obstacles à l'écoulement du flux d'eau et de matière et généré deux évènements qui ont eu des conséquences directes sur les biocénoses aquatiques :

- la rupture de la continuité écologique qui a bloqué la plupart des échanges dans le sens aval/amont,
- le changement complet du régime hydraulique sur une partie non-négligeable de son cours moyen.

A cela vient s'ajouter l'accumulation de vase au fond de la retenue, atteignant plus de 2m au niveau du barrage de Vezins. Cette vase est susceptible de contenir divers polluants comme au niveau de la confluence avec l'Yvrande, contaminée par le Zinc et le Cadmium.
L'ensemble de ces événements a profondément modifié les communautés biocénotiques de la Sélune et l'effacement des barrages de la Sélune aura pour conséquences de rétablir la continuité écologique et un régime hydraulique courant sur la zone anciennement ennoyée.

C'est dans ce contexte que notre projet « Bio-monitoring » s'inscrit au sein du groupe thématique Biocénoses Aquatiques du programme scientifique « Arasement des barrages de la Sélune », avec pour objectif d'évaluer l'impact de l'arasement des barrages sur les communautés d'invertébrés et de producteurs primaires (phytoplancton, périphyton, macrophytes) à travers le suivi de leurs évolutions (richesse spécifique et analyse quantitative) avant et après effacement des barrages (Tableau I).

Tableau I. Les acteurs scientifiques et les groupes thématiques du programme scientifique « Arasement des barrages de la Sélune ». En gras, le volet abordé dans ce projet.

Groupes thématiques	Volets d'études	Acteurs scientifiques impliqués
1- Dynamique fluviale	• Flux hydriques, sédimentaires et chimiques • Géomorphologie • Habitats aquatiques	UMR SAS Rennes ; UMR GEOSCIENCES Rennes; (OSUR) ; UMR GEOPHEN Caen; BRGM ; EDF (DER et DPIH)
2- Biocénoses aquatiques	• **Bio-monitoring et qualité biologique** • Dispersion-recolonisation • Réseaux trophiques	**UMR ESE Rennes** ; U3E Rennes ; UMR ECOBIOP St Pée/Nivelle ; UMR CARRTEL Thonon ; **UMR ECOBIO Rennes (OSUR)** ; UMR BOREA-CRESCO; Dinard, EDF (DER) ; Asconit Consultants

3- Paysage et ripisylve	• Biodiversité végétale aquatique et rivulaire • Transformations du paysage	UMR ESE Rennes ; UR SAD Rennes ; UMR COSTEL Rennes (OSUR)
4- Sociogéographie	• Paysages • Usages • Représentations	UMR LAVUE Paris Ouest Nanterre, UMR Environnement Ville Société Lyon, Ethnozi (bureau d'études).

Questions posées et méthodes employées

Les recherches développées dans le cadre de ce projet devront apporter des réponses aux questions suivantes :

- comment l'écosystème lotique se restaure-t-il après disparition d'un lac de barrage, et quels nouveaux équilibres écologiques en résultent ?
- quels seront les effets des travaux d'arasement sur la qualité des milieux et leurs conséquences sur les biocénoses qui s'y développent ?

Pour répondre à ces questions, les travaux porteront sur l'évolution des communautés animales (zooplancton, macroinvertébrés) et végétales (phytoplancton, périphyton, macrophytes) en lien avec la qualité de l'eau (indices biologiques I2M2, IBMR) de l'amont vers l'aval et ceci, avant et après arasement. Pour cela, la caractérisation des communautés *via* des prélèvements sera réalisée *in situ* sur les communautés en place. De plus des substrats artificiels seront mis en place sur chaque station afin de standardiser les habitats et les substrats de l'amont vers l'aval et ainsi faciliter la comparaison inter-sites.

En parallèle, l'identification des risques écotoxicologiques sera particulièrement suivie au niveau de la confluence de l'Yvrande par l'exposition *in situ* d'organismes sentinelles encagés (bryophytes, microalgues et invertébrés) et l'étude de la bioaccumulation des métaux lourds (en particulier du Cadmium) dans les différents compartiments biologiques. Des expériences sur les risques de contamination liées aux travaux de curage de l'Yvrande seront également mises en place pendant les travaux de curage.

1.2. Objectifs pour la phase pré-arasement (2014-2018)

Le projet « Bio-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, devait 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 avait 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'est appuyée sur deux conventions. La convention AESN-CNRS n°1053864-1 « Biocénoses aquatiques » 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.

1.3. Organisation des opérations planifiées durant la phase de pré-arasement

Le déroulement des opérations de terrain et des travaux en laboratoire est développé dans le Tableau II, par année.

Tableau II. 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			
5 stations pilote sur la Sélune	**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		
Caractérisation des communautés de microalgues				x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	
Caractérisation des communautés de macrophytes				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**
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**
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	

Résultats attendus pour la phase pré-arasement

Cette première phase de recherche avant l'arasement des barrages devait permettre de faire un état des lieux de la structure des biocénoses aquatiques et de l'état de santé des écosystèmes sur le cours principal de la Sélune, incluant un inventaire des invertébrés et de producteurs primaires (phytoplancton, périphyton, macrophytes) qui s'y trouvent. L'abaissement du niveau d'eau du lac de Vezins, initialement prévu en 2016 devait permettre de commencer à suivre les conséquences du passage d'un milieu lentique à un milieu lotique sur la station la plus amont de la retenue de Vezins. Malheureusement les travaux ont été repoussés à 2017 et nous n'avons pas pu réaliser ce suivi. Plusieurs bioindicateurs permettant de prendre en compte les réponses aux stress aigus ont toutefois pu être mis au point afin de mesurer les risques écotoxicologiques liés aux travaux de curage des boues contaminés de la confluence entre l'Yvrande et la Sélune en 2017.

1.4. Partenaires scientifiques impliqués lors de cette phase de pré-arasement

Le projet « Bio-monitoring » regroupe 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 quatrième trimestre 2014 même si la convention n'a été accordée qu'en février 2015. De septembre 2015 à août 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.

2. Présentation des sites de suivi sur le bassin versant de la Sélune

2.1. Description des stations de suivi sélectionnées

Le suivi des biocénoses aquatiques s'est effectué sur 5 stations pilotes réparties de l'amont à l'aval des barrages hydroélectriques le long de la Sélune (Figure 1).

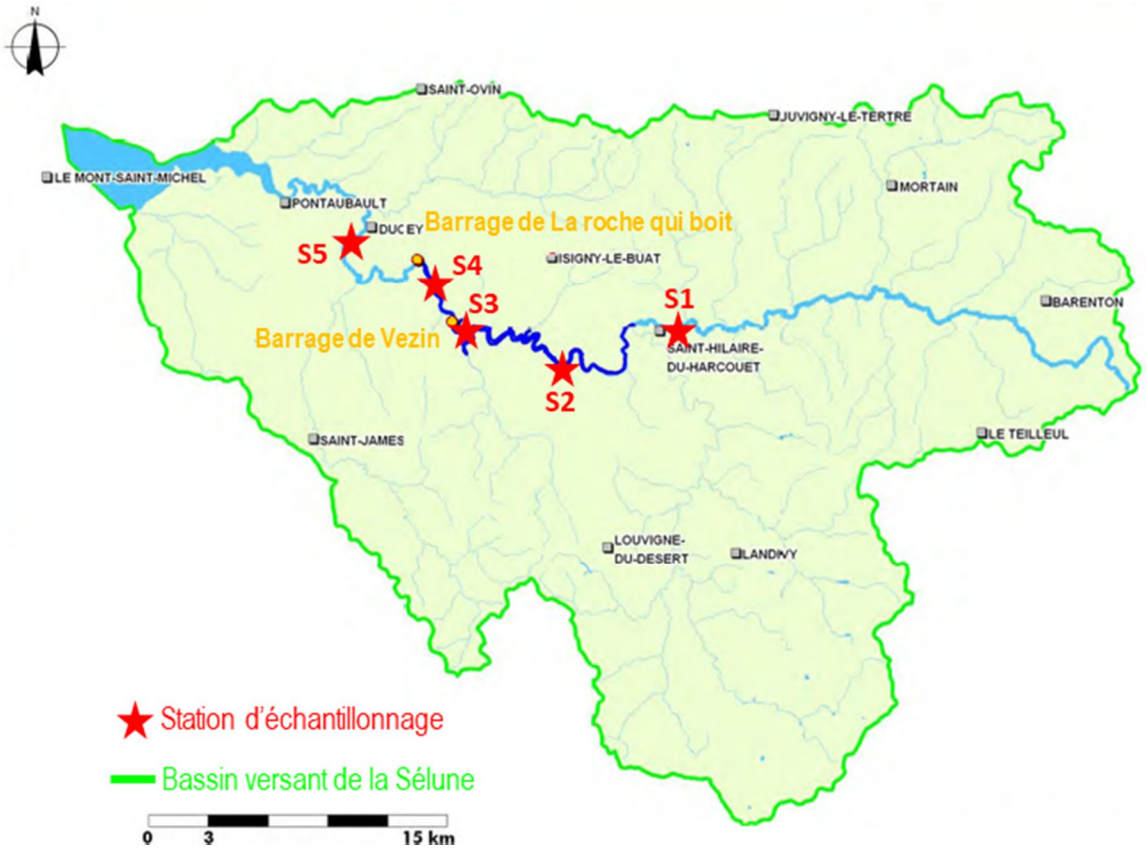


Figure 1. Localisation des stations pilotes de suivi sur la Sélune

2.1.1. Les stations « rivières » dites de référence

- *Station 1 : Saint-Hilaire-du-Harcouët*

Une première station de suivi (nommée S1) est située à l'amont des barrages de Vezins et de la Roche qui boit et constitue ainsi une première station de référence (Figure 2). Elle est localisée à Saint-Hilaire-du-Harcouët (48°34'55.896"N ; 1°5'43.122"O). Cette station est caractérisée par une diversité d'habitats allant des substrats de type organique (macrophyte, litière, racine) aux substrats de type minéral (bloc, galet, gravier, sable).



Figure 2. Photographie de la station S1 à Saint-Hilaire-du-Harcouët

- *Station 5 : Pont de Signy*

Une deuxième station de référence (nommée S5) est située, cette fois-ci, en aval des barrages (Figure 3). Elle est localisée au niveau du pont de Signy (48°35'45.846"N ; 1°17'35.184"O) et se caractérise également par une structure diversifiée des habitats proche de celle de la station S1 même si la largeur du lit de la Sélune est plus importante qu'à Saint-Hilaire-du-Harcouët et qu'elle est moins ombragée.



Figure 3. Photographie de la station S5 au pont de Signy

2.1.2. *Station intermédiaire*

Une station (nommée S2) est située entre la station de référence S1 à l'amont et la première station retenue S3 (Figure 4). Elle constitue donc un intermédiaire entre une station de type « rivière » et une station de type « retenue ». Cette dernière est localisée au niveau du pont de la République (48°34'10.116"N ; 48°34'10.116"O) et se caractérise par des habitats peu diversifiés, essentiellement dominés par des substrats de type galet et gravier.



Figure 4. Photographie de la station S2 au pont de la République

2.1.3. *Les stations de retenue*

- *Station 3 : Retenue de Vezins*

Cette station (nommée S3) se situe au niveau de la retenue du barrage de Vezins (48°34'39.684"N ; 48°34'39.684"O) (Figure 5). Elle constitue une première station « retenue » et se caractérise par des habitats peu diversifiés, essentiellement dominés par des substrats minéraux de type bloc et galet.



Figure 5. Photographie de la station S3 sur la retenue du barrage de Vezins

- *Station 4 : Retenue de la Roche qui Boit*

Enfin, la dernière station sélectionnée (nommée S4) est localisée plus en aval sur la retenue de la Roche qui Boit au niveau du lieu-dit Bel Orient (48°35'58.794"N ; 48°35'58.794"O) et constitue une deuxième station « retenue » (Figure 6). Comme S3, elle est caractérisée par des habitats peu diversifiés, essentiellement dominés par des substrats minéraux de types bloc et galet, avec la présence de quelques substrats organique, principalement des litières.



Figure 6. Photographie de la station S4 sur la retenue du barrage de Roche-qui-boit

2.2. Suivi des conditions physico-chimiques des sites de la Sélune

2.2.1. Méthodologie de suivi des conditions physico- chimiques sur la Sélune

Depuis Septembre 2014, les conditions physico-chimiques du milieu ont été caractérisées à chaque station par des suivis mensuels de température, conductivité, pH, oxygène dissous et turbidité, grâce à une sonde multiparamétrique (Idronaut, OceanSeven 316Plus). L'ensemble des sorties de 2014 à 2017 (Annexe 1) a permis de réaliser 134 profils verticaux des paramètres physico-chimiques. Pour chaque station des retenues, la transparence de l'eau a également été mesurée à l'aide d'un disque de Secchi.

Des prélèvements d'eau (2L) ont été effectués entre 0 et 1 m de profondeur dans toutes les stations, et des prélèvements supplémentaires dans la colonne d'eau (à la limite de la zone euphotique) et à 1 m du fond dans les retenues (stations S3 et S4). De retour au laboratoire, l'eau a été congelée jusqu'à son analyse. Pour chaque prélèvement, des dosages de la concentration en nitrates, silicates, azote total et phosphore total dissous et particulaires ont été réalisées au laboratoire par des dosages colorimétriques.

2.2.2. Caractéristiques physico-chimiques de la Sélune de 2014 à 2017

Les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenues par la sonde multiparamétrique mettent en évidence de fortes différences entre les sites (Figure 7). Les conditions physico-chimiques en amont des retenues à Saint-Hilaire-du-Harcouët (S1) diffèrent 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 7). Le site de S1 est également marqué par une forte valeur de turbidité. Le site S2, localisé à l'amont de la retenue de Vezins (Pont de la République) a des valeurs intermédiaires à celles du site S1 et celles des sites des retenues (S3 et S4). Le site en aval à Pont de Signy (S5) se rapproche en termes de physico-chimie des sites amont (S1 et S2) mais reste très proche des valeurs de la Roche qui Boit, traduisant ainsi une forte influence des barrages sur les paramètres physico-chimiques, même en aval

des barrages. Les paramètres physico-chimiques varient également entre les deux sites des barrages (S3 et S4) par une température et une teneur en Chlorophylle *a* plus importante à Vezins par rapport à la Roche qui Boit. Cette différence s'explique probablement par le temps de résidence plus long dans la retenue de Vezins.

Les données physico-chimiques récoltées au cours de ces 3 années de suivis mettent également en évidence de fortes variations saisonnières (Figure 8), qui sont assez fortement corrélées au gradient physico-chimique entre les sites d'eau courante (Saint-Hilaire-du-Harcouët et Signy) et les sites des retenues (Vezins et la Roche qui boit). Ceci traduit un lien fort entre l'effet des barrages (par exemple l'augmentation de la température) et les variations saisonnières. Ces dernières étant amplifiées par le temps de résidence plus important de l'eau dans les retenues qui entraine des variations des conditions physico-chimiques saisonnières plus contrastées.

Aucune modification profonde entre les 3 années d'échantillonnage n'a été observée, ce qui tend à démontrer une certaine stabilité des conditions physico-chimiques au cours de ces 3 années de suivi pré-arasement.

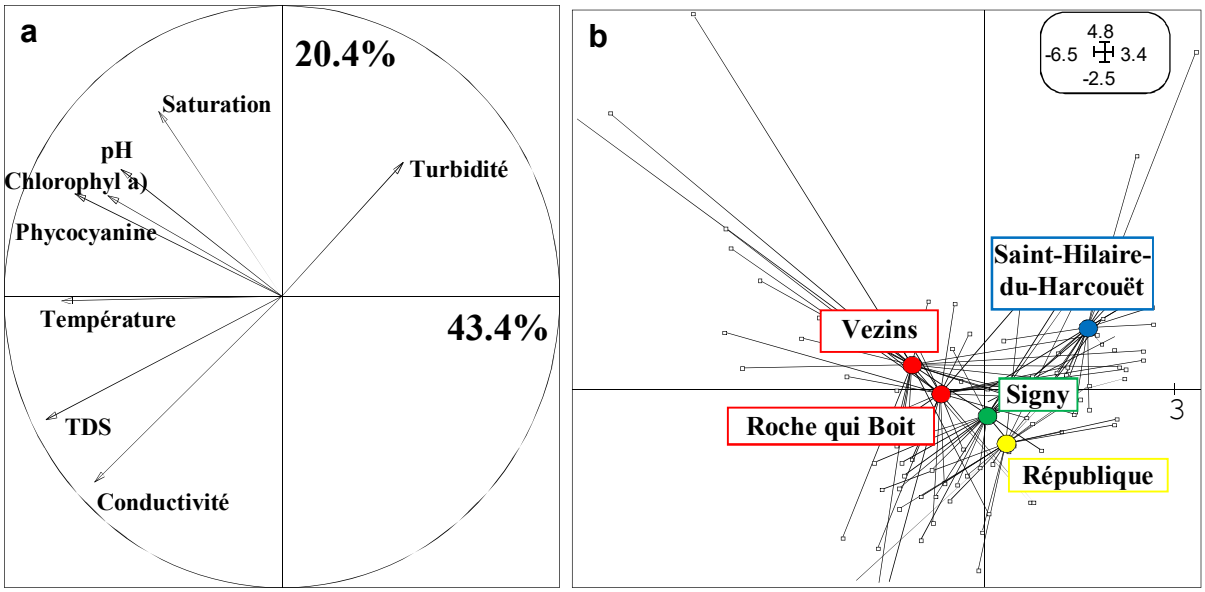


Figure 7. Résultats de l'analyse en composante principale des valeurs moyennes mensuelles de paramètres physico-chimiques dans les 50 premiers centimètres de la lame d'eau entre Septembre 2014 et Septembre 2017. a) Cercle des corrélations issu des deux premiers axes (PC1 et PC2). b) Position moyenne des 5 sites de la Sélune dans le plan factoriel.

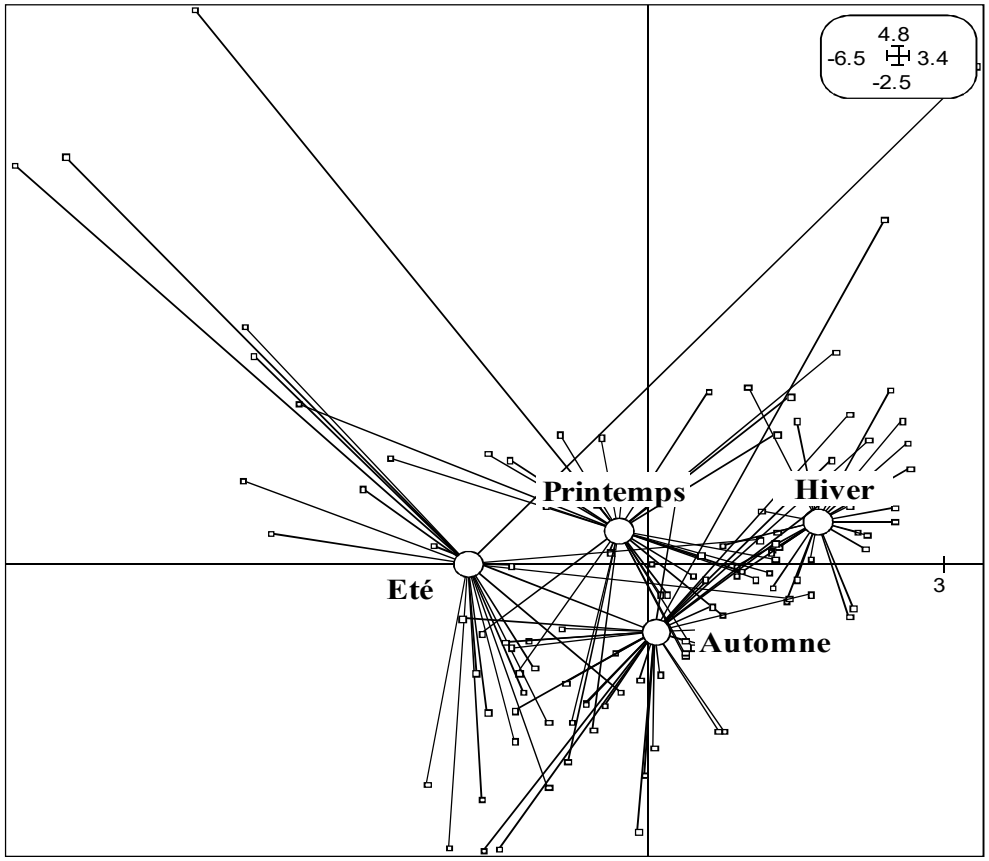


Figure 8. Résultats de l'analyse en composante principale des valeurs moyennes mensuelles de paramètres physico-chimiques dans les 50 premiers centimètres de la lame d'eau entre Septembre 2014 et Septembre 2017. Les cercles représentent les centres de gravité des 5 stations en fonction des saisons.

La température semble être un des principaux facteurs caractérisant les différences entre les stations. L'étude des profils thermiques obtenus par les enregistrements des températures horaires au cours des années 2015 et 2016 met en évidence des modifications de conditions thermiques le long de la Sélune (Figure 9). Les retenues de Vezins et de la Roche qui Boit sont plus chaudes en été (+4°C en moyenne) et plus froides en hiver. De plus, la température au niveau des stations en amont des barrages (Saint-Hilaire-du-Harcouët et Pont de la République) est assez variable au cours du temps tandis que les variations journalières sont plus tamponnées dans les retenues et en aval (Signy).

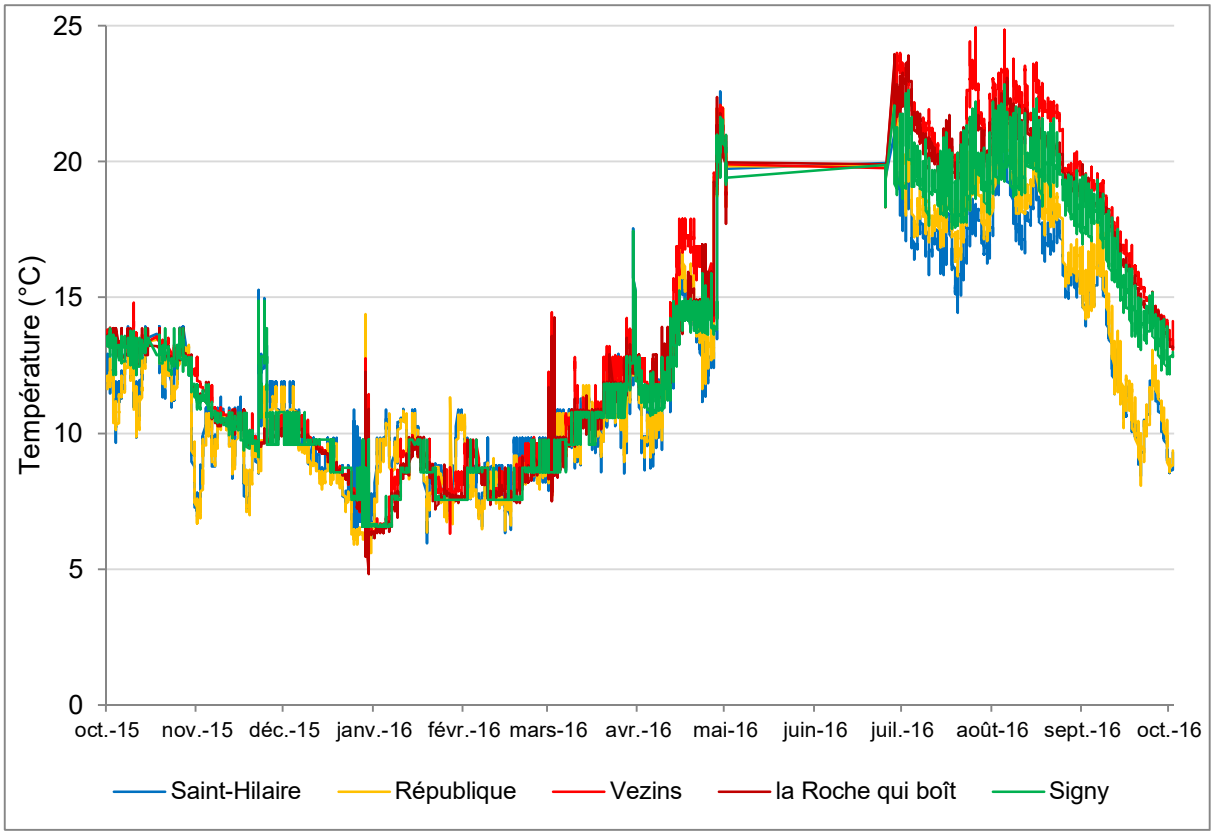


Figure 9. Evolution de la température moyenne de l'eau mesurée à l'aide de capteur de température sur chacune des stations de suivi d'Octobre 2015 à Octobre 2016. Aucune donnée de température n'a pu être récoltée au cours du mois de juin 2016 ce qui explique l'absence de données observée sur le graphique.

Les concentrations en nitrates et orthophosphates ont été mesurées à partir des prélèvements d'eau et sont représentées sur la Figure 10.

De manière générale, une diminution des orthophosphates est observée entre décembre et septembre l'année suivante dans les retenues et à l'aval. Les stations en amont (Saint-Hilaire-du-Harcouët et République) présentent quant à elles des concentrations plus élevées que celles des retenues, particulièrement au printemps et en été (Figure 10). Les barrages ont donc entraîné, sur les deux années, un abattement des concentrations d'orthophosphates, qui ont probablement sédimentés dans le fond des retenues après avoir été fixé par le phytoplancton, en accord avec la littérature.

Aucune tendance n'est pas observée pour les concentrations en nitrates (Figure 10), qui restent très variables d'une station à l'autre et dans le temps. Les concentrations sont globalement plus élevées à République qu'à Saint-Hilaire-du-Harcouët. Cette augmentation du taux de nitrates au niveau de la station de République est probablement liée à un apport par l'Airon, affluent de la Sélune en aval de Saint-Hilaire-du-Harcouët.

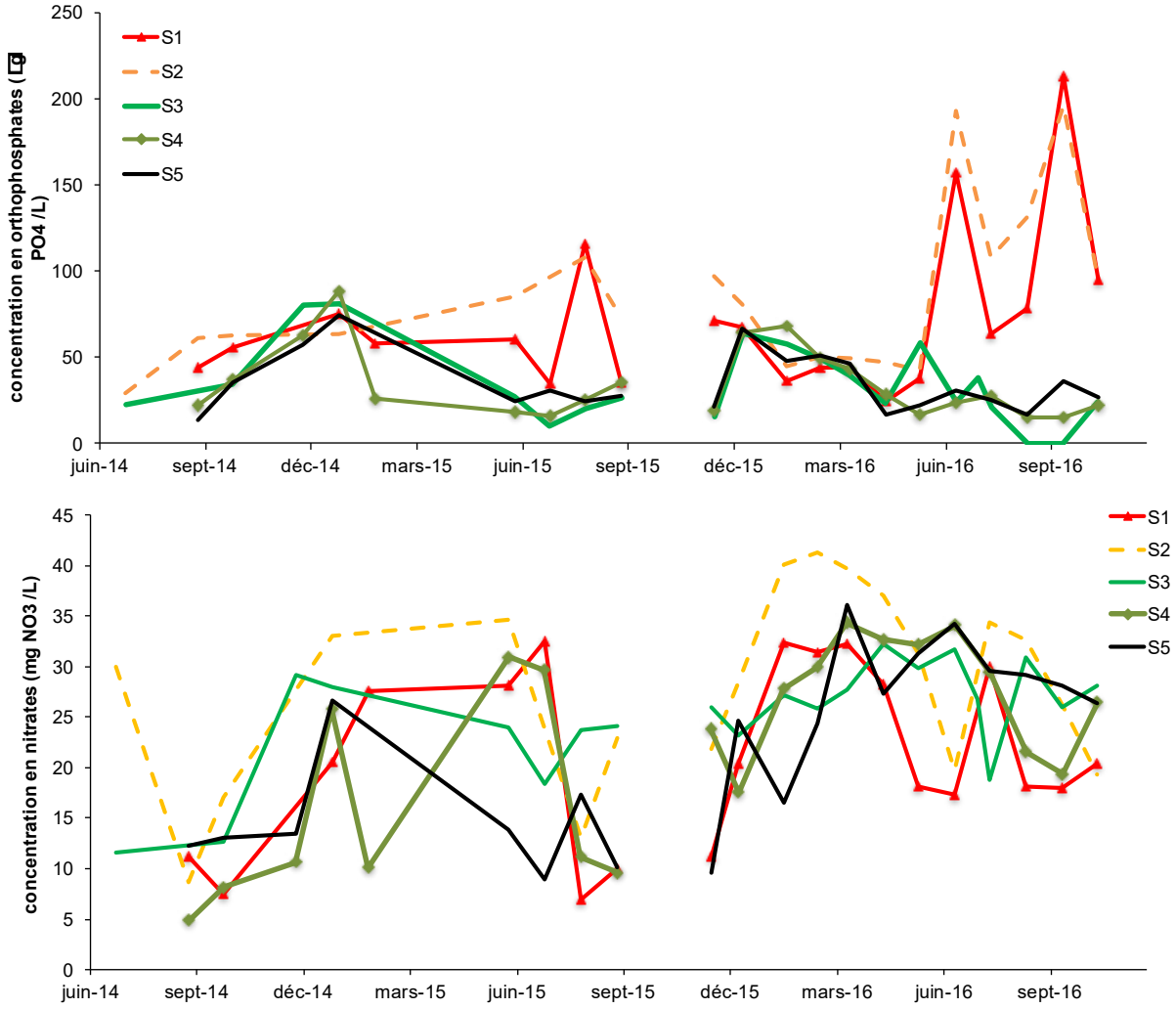


Figure 10. Concentration en nitrates et en orthophosphates sur les cinq stations (S1 : Saint-Hilaire ; S2 : pont de la République ; S3 : amont du barrage de Vezins ; S4 : partie intermédiaire du barrage de Roche-qui-Boit ; S5 : station Signy).

3. Caractérisation des communautés de macrophytes le long de la Sélune

3.1. Méthodologie de suivi des communautés de macrophytes et indice IBMR

Lors de cette étude, nous nous sommes attachés à caractériser la végétation sur les 5 stations de suivi le long de la Sélune, dans la zone d'influence des barrages

En 1996, 14 stations (linéaire de cours d'eau de 50m) (Figure 11) ont été étudiées selon le protocole Milieu Et Végétaux (MEV) lors de deux campagnes (printemps et fin été). En Juillet 2015 et Octobre 2017, les biocénoses aquatiques végétales en place ont été caractérisées sur ces mêmes stations en termes de structure de communautés et d'évaluation de la qualité trophique du milieu via l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière adapté, permettant ainsi 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).Cet indice normalisé (NF T90-395, Octobre 2003) permet d'évaluer la qualité trophique d'un milieu en fonction de la végétation (selon les taxons retrouvés et leur abondance) *via* une note comprise entre 0/20 (degré trophique maximal) et 20/20 (degré trophique minimal). La végétation sur les sites étant suffisamment abondante (recouvrement total > 5% du lit en eau), et l'étude de suivi historique ayant été réalisée sur des tronçons de cette taille, les stations de relevés ont correspondu à des tronçons de 50m linéaire, positionnés de manière à maximiser la diversité macrophytique (secteurs lotiques, en partie éclairés). Les 3 sites à l'intérieur des retenues (Vezins et La Roche qui boit) ont été prospectés sur un linéaire de berge de 50m, jusqu'à une profondeur d'1.20 m. Sur chacun de ces points de relevés, tout macrophyte (colonie d'algue, de lichen, bryophyte ou phanérogame visible a l'œil nu, immergés lors du relevé) a été caractérisé en terme de taxonomie et d'abondance sur la station.

L'évolution de la composition floristique des différentes stations a ainsi pu être comparée sur 20 ans et être mise en regard des différentes sources de perturbations présentes sur le linéaire. Une comparaison de la qualité trophique de l'eau entre 1996, 2015 et 2017, évaluée par le calcul de l'indice IBMR, a également être réalisée.

Lors de la campagne de 2017, les inventaires de terrain (relevés de végétation) ont été réalisés hors épisodes hydrologiques pouvant influencer le développement de la végétation. Les identifications taxonomiques ont été vérifiées en laboratoire *via* des observations microscopiques pour les taxons difficiles (systématiquement pour les algues, bryophytes, callitriches, renoncules et potamots).

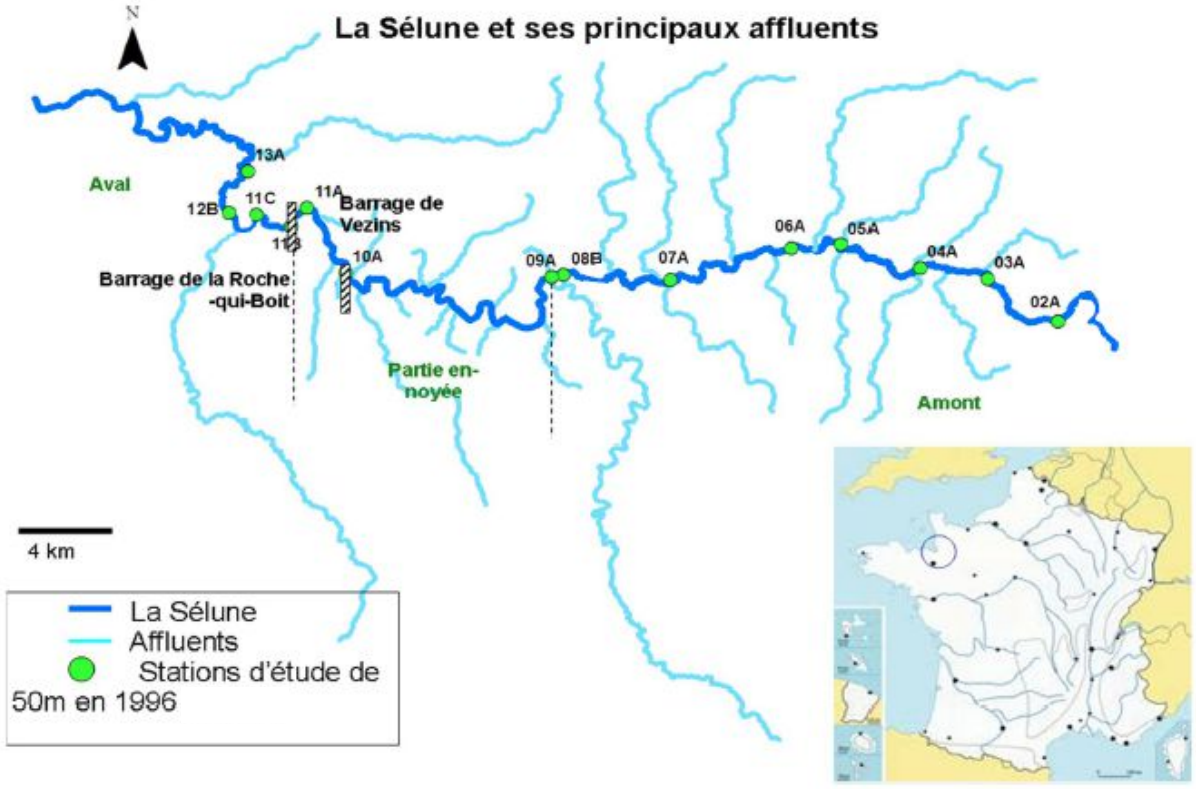


Figure 11. La Sélune et ses principaux affluents : positionnement des stations de mesure historiques (1996)

3.2. Résultats

3.2.1. *Caractérisation de la structure des biocénoses aquatiques végétales sur les 5 stations pilotes*

- **Evolution des biocénoses végétales de 1996 à 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).

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 (Figure12a) et équilibrée en terme de représentativité des différents groupes taxonomiques et fonctionnels dans la diversité floristique (Figure13a). On y retrouve les espèces caractéristiques des têtes de bassin versant : *Callitriche obtusangula*, *C. platycarpa*, *Riccardiasinuata*.

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 12b), 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 (Figure13b).

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 12b) que sur le paramètre diversité (Figure 13b). 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.

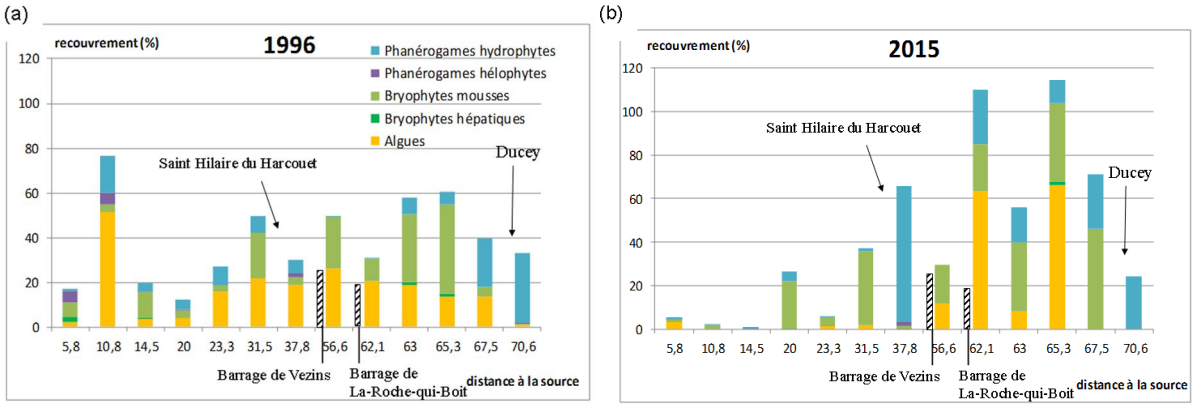


Figure 12. Abondance des groupes taxonomiques et fonctionnels sur le cours principal de la Sélune en 1996 (a) et 2015 (b).

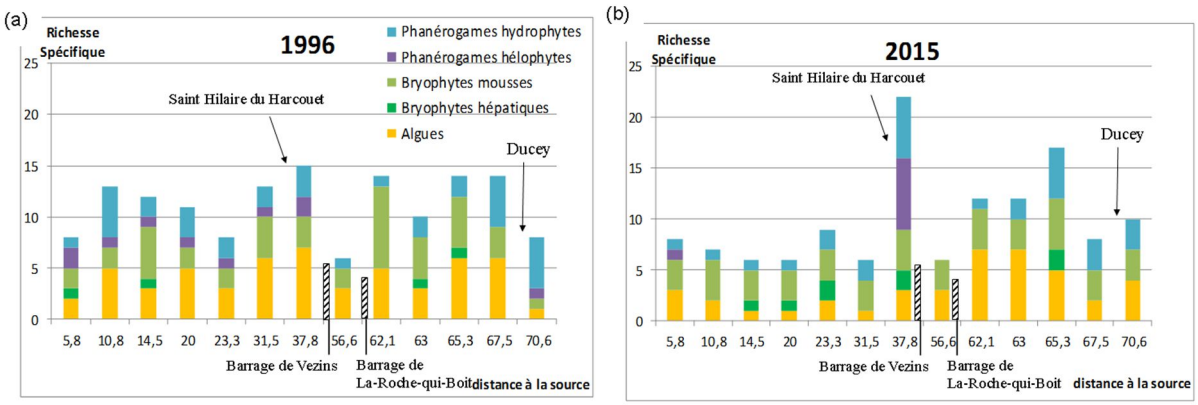


Figure 13. Richesses spécifiques par groupes taxonomiques et fonctionnels sur le cours principal de la Sélune en 1996 (a) et 2015 (b).

La diversité globale des végétaux aquatiques de la Sélune a peu évolué au cours des 20 dernières 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 14**Figure**). Cet effet barrage physique semble s'être amoindri en 2015 et la flore s'est homogénéisée (plus de 60% de taxons communs).

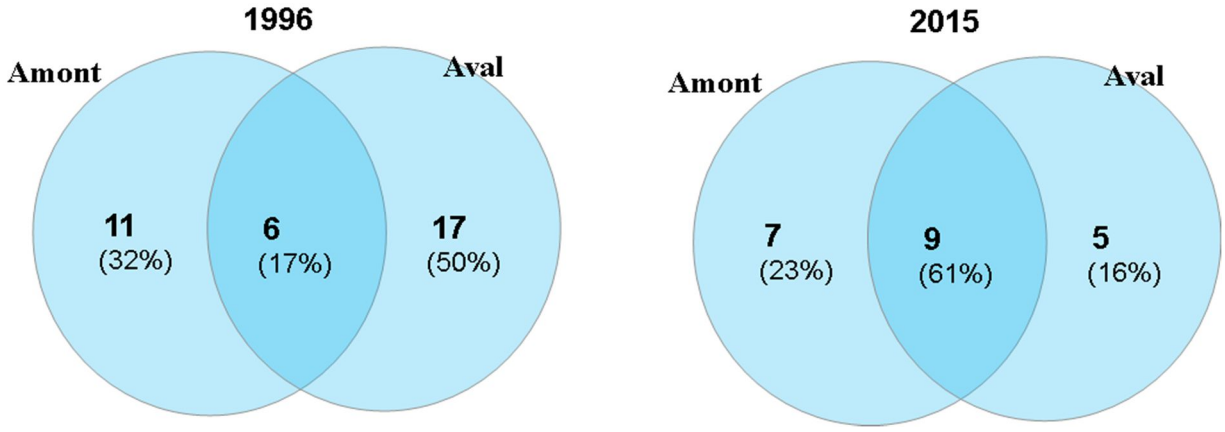


Figure 14. Espèces aquatiques communes entre l'amont et l'aval des barrages

La disparition du premier des deux macrophytes invasifs (*Elodeacanadensis*et *Potamogetoncrispus*) identifiés sur la Sélune en 1996 ainsi que l'apparition d'une bryophyte atlantique

(*Porellapinnata*) assez rare en France en 2015 (Tableau III) semblent indiquer un maintien de la qualité du milieu. Toutefois, plusieurs espèces de bryophytes caractéristiques des eaux vives de bonne qualité (*Brachytheciumrivulare*, *Fontinalissquamosa*) et une characée (*Nitellasp.*), 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 III. Taxons spécifiques par année d'étude

Types biologiques	Spécifiques en 1996	Spécifiques en 2015
Algues	*Mougeotia sp.* Agardh. *Nitella sp.* Agardh.	*Lemaneasp.* Bory de St Vincent *Microsporasp.* Thuret
Bryophytes	*Brachytheciumrivulare*Schimp. *Fontinalissquamosa*Hedw.	*Porellapinnata*L.
Phanérogames hydrophytes	*Elodeacanadensis*Michx.	*Helosciadiumnodiflorum*(L.) W.D.J.Koch

- **Evolution des biocénoses de 2015 à 2017**

En 2015 et 2017, aucun macrophyte n'a été recensé sur les zones inventoriées dans les retenues.

L'état de référence pré-arasement réalisé en début d'été 2015 sur le cours principal de la Sélune, a mis en évidence une flore macrophytique typique de cours d'eau acides à Renoncules (*Ranunculo-Callitrechetumhamulatae*).

Le site en amont lointain (confluence avec le ruisseau de Chenilly), présente en 2015 une flore macrophytique peu abondante (moins de 1% de végétalisation totale) et peu diversifiée (6 espèces), notamment du fait d'une mésologie peu propice au développement des végétaux (dominance des faciès lents, ombrage important). En 2017, les écoulements sur la station se sont ralentis, conduisant à la perte des bryophytes sur la station.

Le site amont (à Saint Hilaire des Landes) et le site aval (Pont de Signy), sont comparables d'un point de vue milieu physique, si ce n'est leur hydrologie contrastée. Si les fortes variations hydrologiques en aval sont directement liées aux ouvrages, la situation en amont est autre. En effet, le milieu physique y présente une zone pouvant émerger lors des faibles niveaux d'eau. Celle-ci permet le développement de phanérogames hélophytes se superposant aux espèces strictement aquatiques, expliquant ainsi la plus forte diversité de ce groupe en amont proche (15 espèces versus 5 en aval en 2015 ; Figure 15a). La flore de ces deux sites est finalement diversifiée (une quinzaine d'espèces) et équilibrée entre groupes taxonomiques (algues, bryophytes et phanérogames). En 2017, les situations restent comparables mais la variabilité des niveaux d'eau entre les échantillonnages (ces derniers délimitant la zone d'échantillonnage : seuls les taxons ayant les pieds dans l'eau sont pris en compte

dans le relevé) a conduit à l'ajout (en aval) ou la perte (en amont proche) d'espèces de berges hélophytes. Cette variation des richesses spécifiques par groupes de taxons est sans incidence sur l'évaluation de la qualité trophique de l'eau par l'indice.

En juillet 2015, l'hydrologie contrastée du site aval entrainait une limitation du développement des phanérogames immergés (10% de recouvrement), facilement arrachés lors des coups d'eau et *a contrario*, un développement important de la mousse *Octodiceras fontanum* (30% de recouvrement sur la station d'étude), caractéristique d'aval de moulins et de l'algue rhéophile *Lemanea sp.* (4% de recouvrement). En octobre 2017, si le recouvrement total est proche, ceux des groupes taxonomiques ont bien évolué (

Figure 5c) : *Octodiceras fontanum* présente une abondance réduite (10%), au contraire de la renoncule qui s'est développée (40%). Il est probable que des coups d'eau aient impacté le site, arrachant une partie du peuplement macrophytique qui a ensuite pu se régénérer, de manière plus importante pour les renoncules (dont la pousse est plus rapide que les bryophytes). Les variations d'abondance de ces deux taxons contribuent de manière négligeable aux variations inter-annuelles de l'indice.

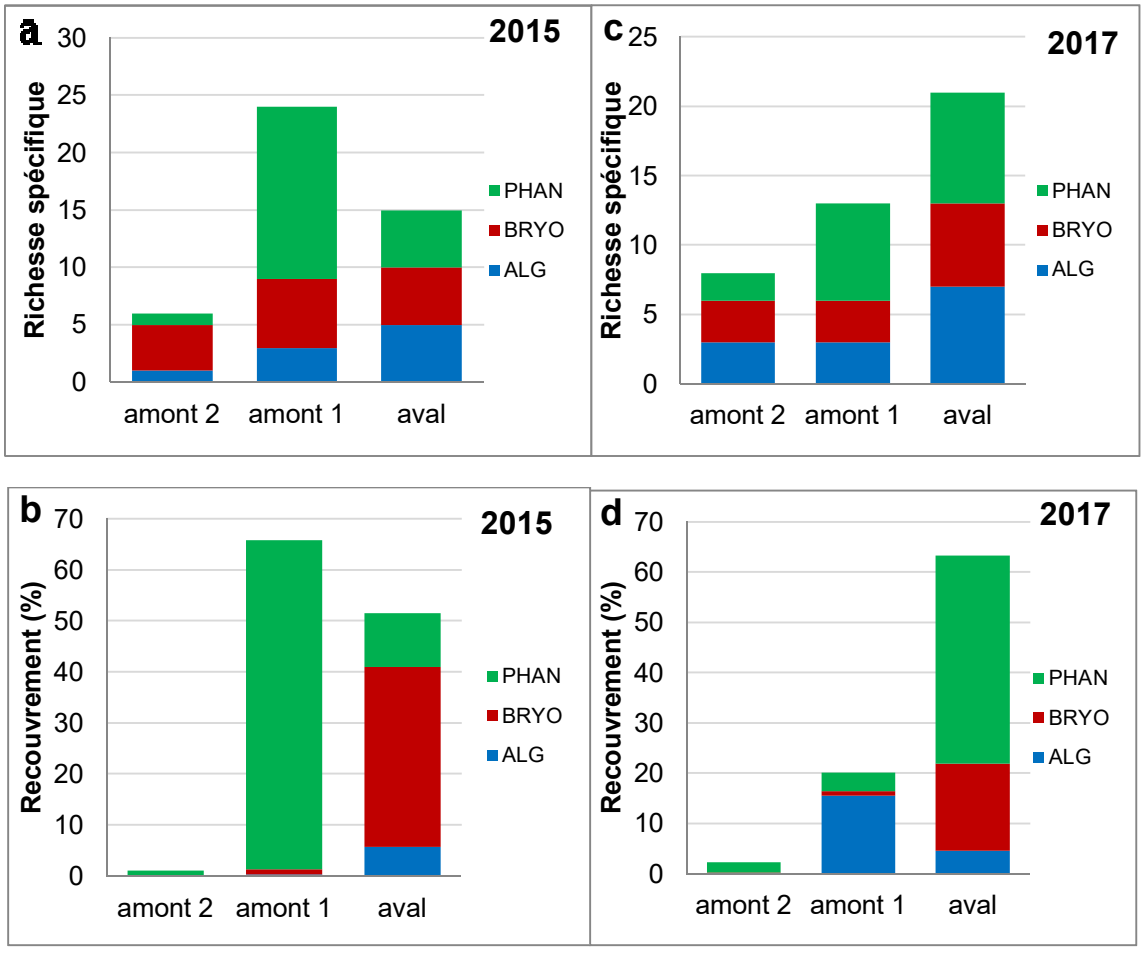


Figure 15. Répartition des différents groupes taxonomiques de macrophytes sur le cours principal de la Sélune (amont et aval des retenues) en 2015 et 2017 ((a et c) richesse spécifique et (b et d) abondance)

3.2.2. *Evaluation de la qualité trophique le long de la Sélune*

- **Evolution de la qualité trophique de l'eau de 1996 à 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 (Figure16). Les agglomérations de Ducey et Saint-Hilaire-du-Harcouët 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'un point 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-Harcouët. 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 Harcouët. 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 (*Ranunculo-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.

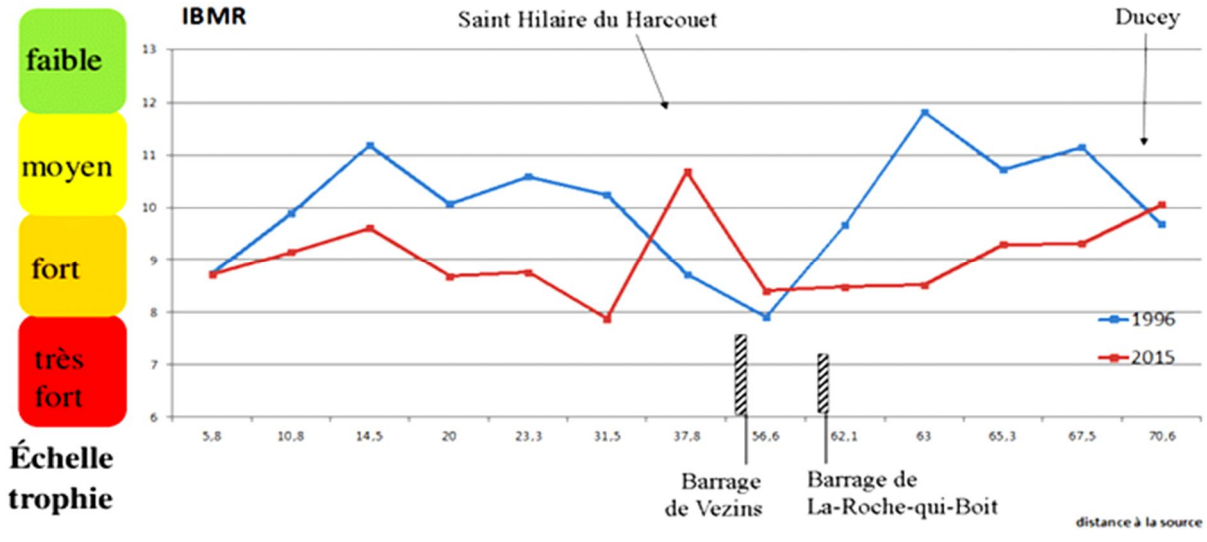


Figure 16. Evolution de l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR) sur la Sélune en 1996 et 2015

- **Evolution de la qualité trophique de l'eau depuis 2015**

En 2015, l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière n'indiquait pas de dégradation trophique en aval des barrages, les notes obtenues ne variant pas au-delà d'un demi-point (Figure18

Figure), malgré une indication de la dégradation de la qualité des eaux *via* les espèces bio-indicatrices.

En 2017, cette dégradation est marquée par les peuplements dans leur ensemble, conduisant à une baisse d'1 point en aval des retenues (Figure 17). Pour cette année, l'indice indique une dégradation des peuplements d'1 point en amont proche (à Saint-Hilaire-du-Harcouët) et de 1.7 points en aval (Pont de Signy) par rapport aux mesures réalisées en 2015.

Dans le cas de la station amont lointain (confluence avec le ruisseau de Chenilly), la variation de l'indice est négligeable (9.3 en 2017 pour 9.6 en 2015), mais la perte des bryophytes sur la station (*Rhynchostegium riparioides* et *Riccardia chamaedryfolia*) indique bien une légère dégradation de la qualité du milieu (principalement d'ordre mésologique suite à l'envasement).

Dans le cas de la station amont, la variation de la note est à attribuer pour moitié à la variabilité saisonnière (disparition de l'algue *Batrachospermum*sp.) et aux espèces non retrouvés sur la station : 3 bryophytes (*Chiloscyphus polyanthos*, *Rhynchostegium riparioides* et *Riccardia chamaedryfolia*) et une phanérogame hydrophyte (*Myriophyllum alterniflorum*).

Dans le cas de la station aval, la diminution de la note de plus d'1.5 point peut également être explicitée pour 0.5 point par la variabilité saisonnière (perte de l'algue *Lemanea sp*.). L'apparition de l'algue *Stigeoclonium tenue*, caractéristique des eaux de forte trophie, conduit à la perte d'un point de l'indice. De la même façon que sur la station amont, certaines bryophytes n'ont pas été retrouvées en 2017 (*Leptodictyum riparium* et *Riccardia chamaedryfolia*) sans qu'un impact saisonnier puisse être mis en cause.

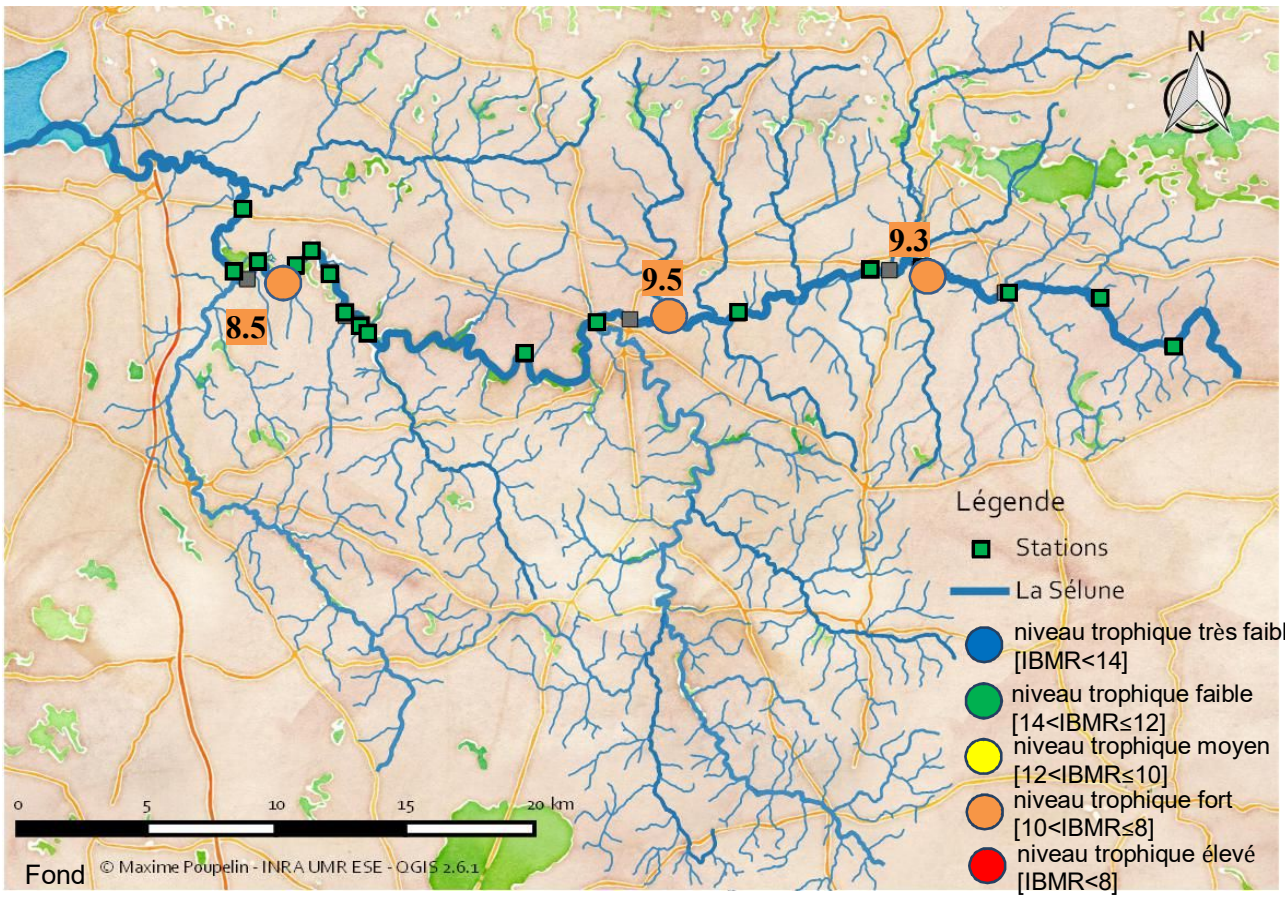


Figure 17. Notes IBMR des différents sites étudiés sur le cours principal de la Sélune en 2017

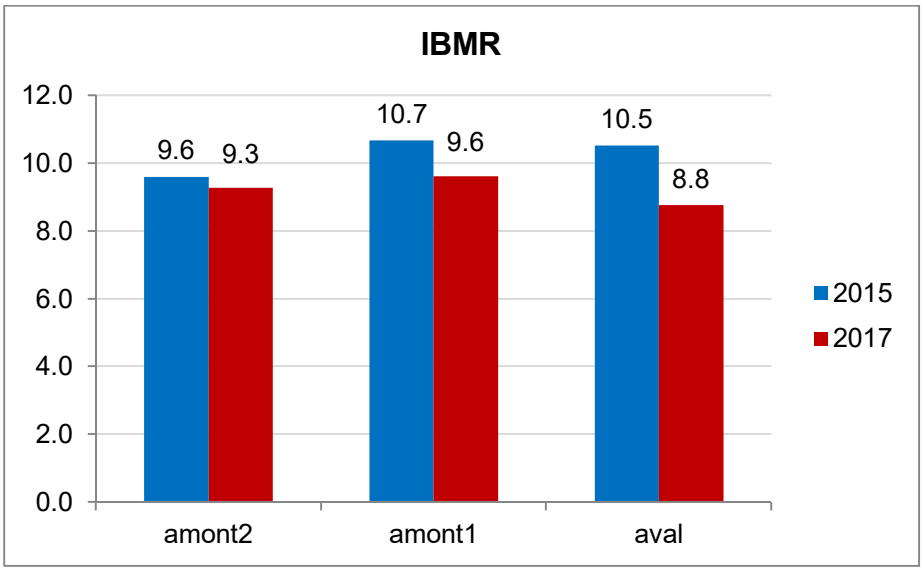


Figure 18. Comparaison des notes IBMR des différents sites étudiés sur le cours principal de la Sélune en 2015 et 2017

En 19 ans, la structure physique du milieu (mésologie) a donc 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 en 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-Harcouët, 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.

L'état de référence pré-arasement réalisé en début d'été 2015 sur le cours principal de la Sélune, a ainsi mis en évidence une flore macrophytique typique de cours d'eau acides à Renoncules de moyenne qualité trophique. L'influence de la retenue sur la végétation aquatique est principalement d'ordre hydrologique, induisant le développement d'une flore caractéristique de régimes contrastés en aval, sans dégradation importante de la qualité trophique du milieu. En 2017, l'indice met en évidence une dégradation du milieu par une diminution de la note de 1 point en amont proche (Saint-Hilaire-du-Harcouët) et 1.7 point en aval (Pont de Signy), pour moitié due à (i) un effet saisonnier (perte des algues des eaux fraîches) et (ii) la perte de bryophytes ou le gain d'espèces polluo-tolérantes, indicateurs de dégradation de la qualité du milieu.

4. Caractérisation des communautés d'invertébrés et indice IBGN

4.1. Méthodologie de suivi des communautés d'invertébrés et indice IBGN

Afin de caractériser et suivre les communautés d'invertébrés aquatiques le long de la Sélune, des prélèvements de macroinvertébrés ont été réalisés sur chaque station de suivi à l'automne 2014, au printemps et à l'automne 2015, au printemps et à l'automne 2016 et enfin, au printemps 2017. Pour chaque date et chaque site de suivi, 8 à 12 prélèvements Surber ont été réalisés (8 prélèvements dans les substrats dominants et 4 dans les substrats accessoires) en sélectionnant les substrats 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. Les échantillons d'invertébrés conservés dans l'éthanol 96% ont ensuite été triés puis déterminés au genre en se basant sur l'ouvrage de systématique des invertébrés d'eau douce élaboré par Henri Tachet (2011), ainsi qu'à l'espèce pour l'ordre des Trichoptères à l'aide de l'Atlas des larves de trichoptères en Europe centrale rédigé par Johann Waringer et Wolfram Graf (2011).

La qualité biologique le long de la Sélune a également pu être évaluée et comparée entre chaque station de suivi et chaque année de campagne, par le calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) à partir d'une partie des échantillons réalisés.



Figure 19. Photographie d'un filet surber (à gauche) et d'un substrat artificiel (à droite) utilisés pour l'échantillonnage d'invertébrés aquatiques sur la Sélune

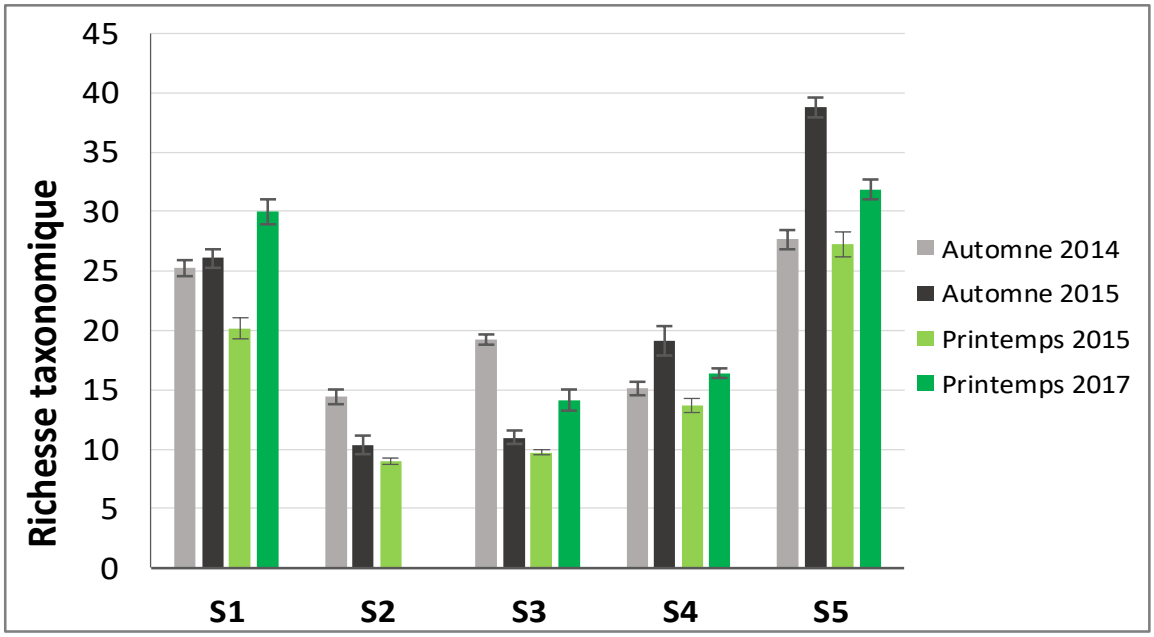
Afin de comparer la structure des communautés d'invertébrés entre les stations de suivi en limitant l'effet lié aux différences d'habitat sur site, des substrats artificiels standardisés (Figure19) de 20 X 20 cm composés de 3L de galets ont été posés à chaque date de campagne et sur chaque station puis récupérés après 1 mois de colonisation sur site. Les échantillons récoltés ont ensuite été triés puis déterminés au laboratoire.

4.2. Résultats

Les données de l'année 2016 n'ont pas pu être entièrement traitées dû à un manque de financement pour cette année. Ils ne seront donc pas présentés dans le présent rapport. Au cours de ces 4 années de suivi, 240 échantillons Surber ont été effectués et la détermination de ces prélèvements au laboratoire a permis d'identifier 183 taxons d'invertébrés présents le long de la Sélune (Annexe 2).

Les résultats des prélèvements Surber des campagnes d'octobre 2014 et de l'année 2015 ainsi que de printemps 2017 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 et de la diversité (Figure 20) dans les retenues (de République à La Roche qui boit) par rapport aux sites amont (Saint-Hilaire-du-Harcouët) et aval (Signy).

Les résultats obtenus par les substrats artificiels confirment globalement les résultats des échantillons surber (Figure 21) avec une baisse atteignant jusqu'à 45% de la richesse taxonomique dans les retenues par rapport au site amont. Ces résultats montrent ainsi que l'effet des barrages sur la diversité n'est pas seulement dû à la modification des substrats (qui elle est homogène dans les substrats artificiels) mais plus globalement à un appauvrissement du nombre d'espèce présentes.



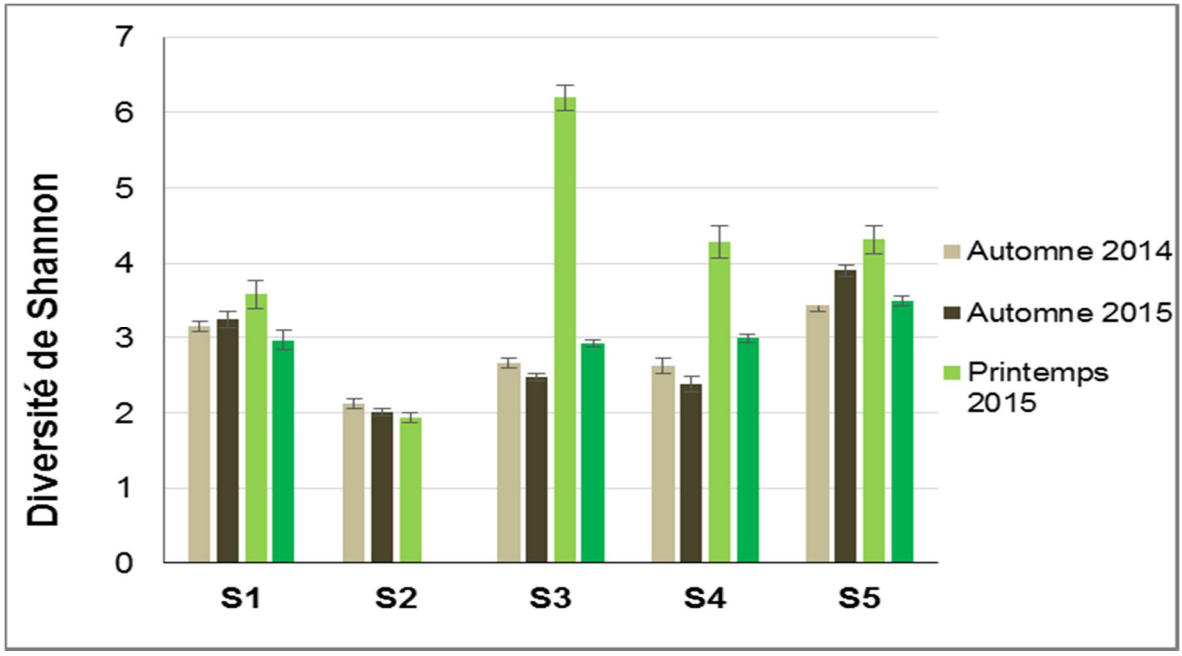


Figure 20. Richesse taxonomique (a) et diversité de Shannon (b) moyenne (± erreur standard) obtenues lors des campagnes de filet Surber au cours des 4 années de suivi.

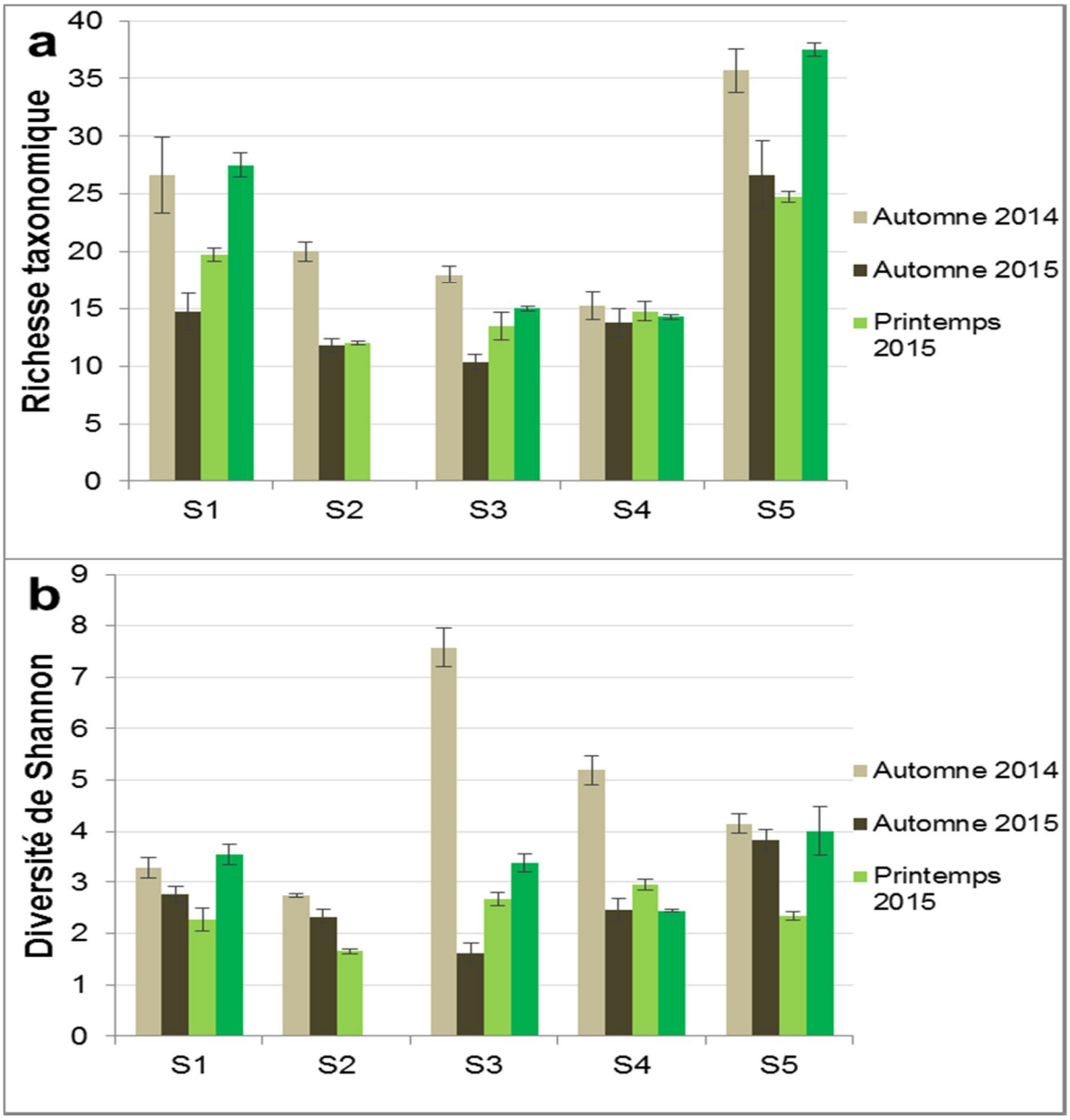


Figure 21. Richesse taxonomique (a) et diversité de Shannon (b) moyenne (± erreur standard) obtenues lors des campagnes de piégeage par substrats artificiels au cours des 4 années de suivi.

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) (Figure22). 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 Saint-Hilaire-du-Harcouët 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 (Figure22). 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 (Saint-Hilaire-du-Harcouët) 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 22). Il n'y aurait donc pas de gradient amont/aval naturel très marqué dans la structuration des communautés entre les deux stations « rivière » Saint-Hilaire-du-Harcouët et Signy.

Ce résultat est identique aux résultats préliminaires de la campagne 2014 (Figure 23), ce qui confirme que l'évolution des communautés de macro-invertébrés 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 principalement des crustacés planctoniques (Cladocères, Copépodes) et des insectes hétéroptères qui aiment les eaux stagnantes (*Micronecta sp.*). A l'inverse, les taxons retrouvés sur les sites de Signy et Saint-Hilaire-du-Harcouët sont plutôt caractéristiques d'insectes rhéophiles.

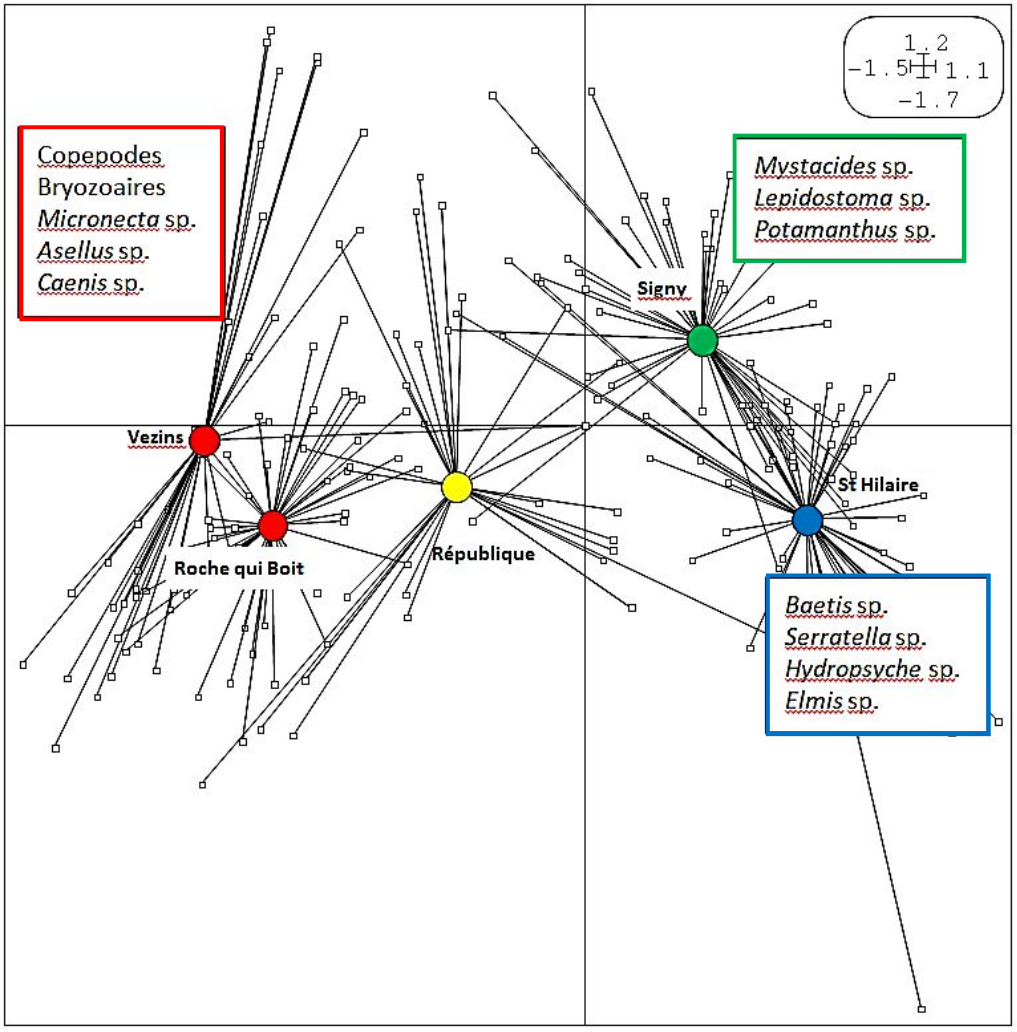


Figure 22.Résultats de l'Analyse Factorielle des Correspondances effectuée sur les données des 4 années de suivi. Plan factoriel des sites d'échantillonnages. Les carrés blancs correspondent aux 220 échantillons d'invertébrés effectués et les cercles de couleur correspondent au centre de gravité de tous les échantillons d'un même site.

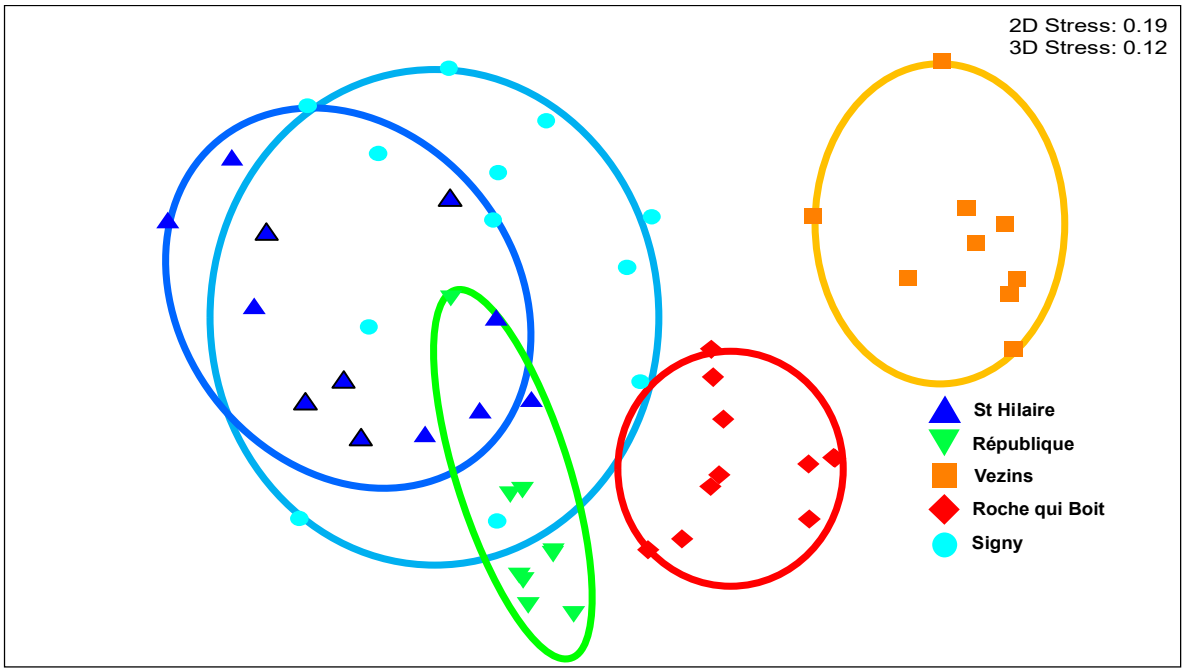


Figure 23. Résultats de l'analyse multivariée du type non-metric multidimensional scaling (NMDS) effectuée à partir de données de Surber d'automne 2014. Cette analyse permet de mettre en évidence la similarité des communautés d'invertébrés entre les sites suivis à l'automne 2014 et reflète donc la composition des communautés d'invertébrés à l'automne 2014.

L'AFC confirme également que la structure des communautés est très différente en fonction de l'année ainsi que de la saison d'échantillonnage (Figure 24). Toutefois, la position de l'effet date (année comme saison) sur le plan factoriel F2, indique que ces effets sont indépendants 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.

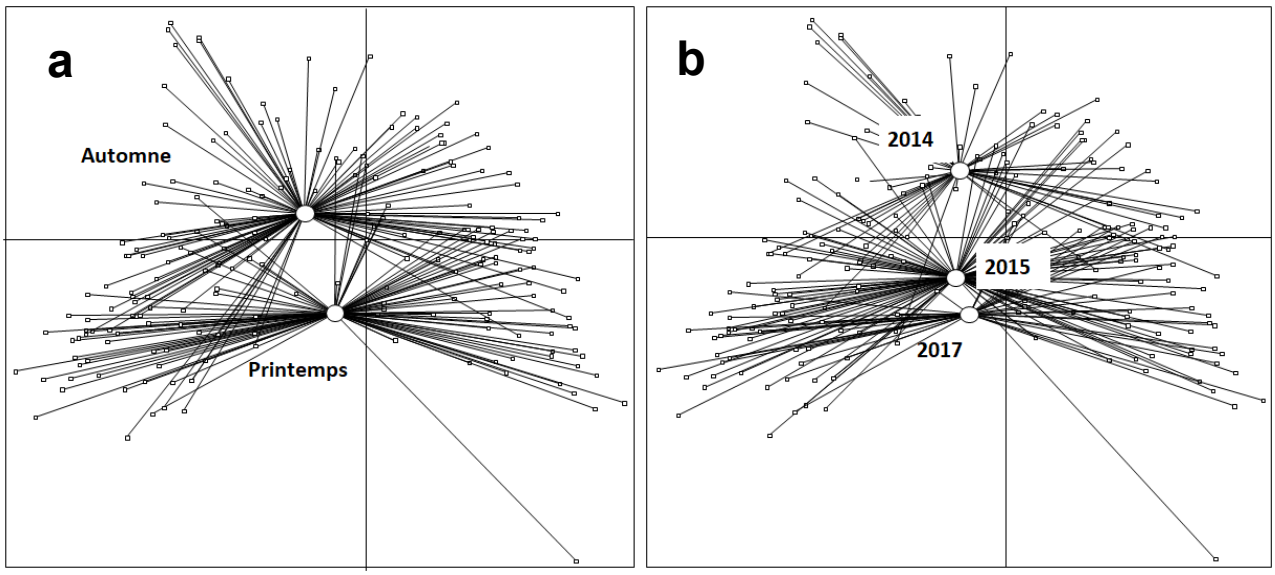


Figure 24.Plan factoriel des saisons (a) et des années d'échantillonnage (b). Les carrés blancs correspondent aux 220 échantillons d'invertébrés effectués et les cercles blancs correspondent au centre de gravité de tous les échantillons d'une même date.

Enfin en ce qui concerne la qualité biologique le long de la Sélune, le calcul de l'IBGN sur chaque site met en évidence un impact des barrages sur la qualité biologique de l'eau. Les sites en amont (Saint-

Hilaire-du-Harcouët) et en aval (Pont de Signy) des barrages sont caractérisés par une très bonne qualité biologique (IBGN entre 19 et 20 à chaque année). Cette qualité diminue fortement au niveau des retenues avec des notes IBGN comprises entre 7 et 15 (Figure 25). Les sites des retenues présentaient donc une qualité biologique moyenne voire mauvaise selon l'année et la saison. Ces résultats mettent donc en évidence un effet important des barrages sur la qualité biologique de l'eau (jusqu'à 13 points de différence au printemps 2015), qui peut être mis en relation avec une modification des paramètres physico-chimiques ou encore une perte de diversité d'habitats.

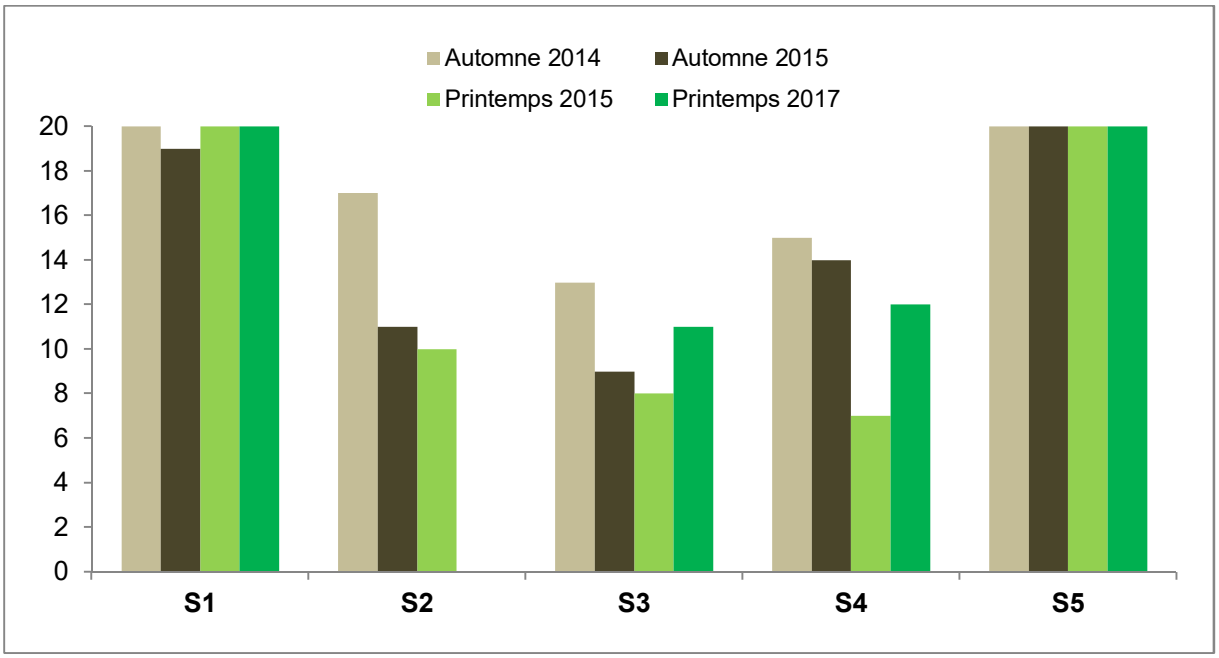


Figure 25. Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) calculé à chaque station de suivi à partir d'une partie des échantillons Surber sélectionnés en respectant la norme de priorité de l'IBGN au cours des 4 années de suivi.

5. Caractérisation des communautés de phyto- et zoo-plancton

5.1. Méthodologie de suivi des communautés de phyto- et zoo-plancton

A chaque station de suivi, la biomasse de phytoplancton a été mesurée mensuellement in situ grâce à une sonde de fluorescence (Idronaut), et ex situ en laboratoire par des mesures de fluorescence au phytoPAM et des dosages de chlorophylle a (méthode de Lorenzen, 1967) à partir d'échantillons prélevés à 1 m de profondeur aux stations « rivières » et aux 3 profondeurs de prélèvement aux stations « retenue » et à République.

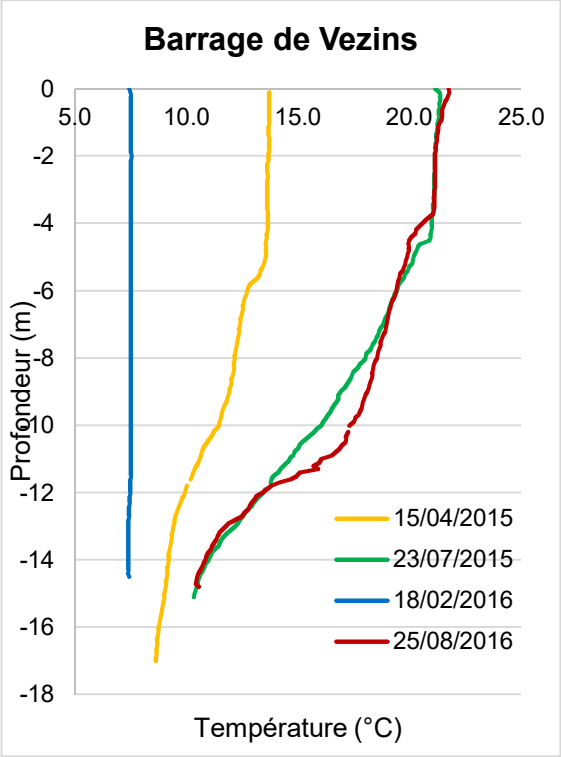
La structure des communautés phytoplanctoniques est déterminée par les mesures au phytoPAM (Phyto Pulse Amplitude Modulated ; Heinz WalzGmbH, Effeltrich, Allemagne), qui possède deux modules propres à chaque compartiment biologique (biofilm et phytoplancton). Cet appareil permet en effet de séparer les 3 principaux groupes taxonomiques en assemblage mixte, en se basant sur leurs spectres d'absorption et d'émission aux longueurs d'ondes de la chlorophylle a et de pigments accessoires spécifiques à chacun de ces groupes. Il est ainsi possible de mesurer la biomasse et l'activité photosynthétique des GREEN, regroupant les chlorophytes, les BLUE, regroupant les cyanobactéries avec phycocyanine et les BROWN, regroupant les diatomées, les dinoflagellés et les chrysophytes.

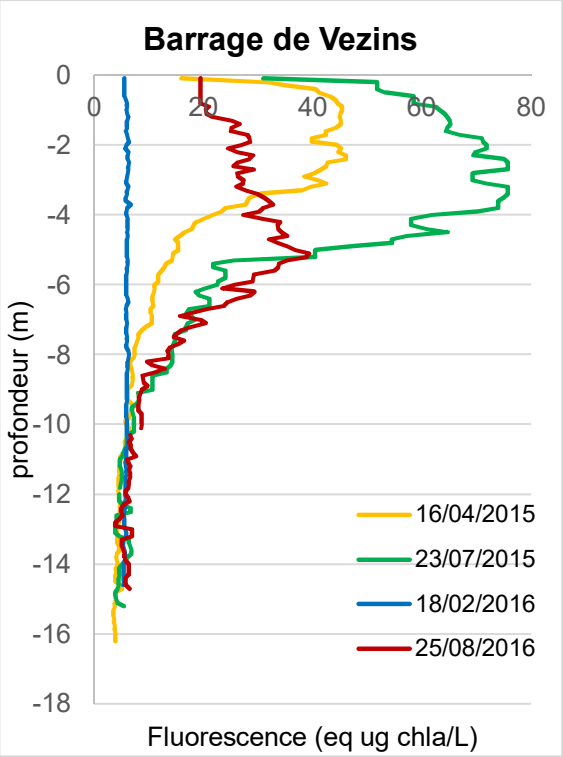
Les peuplements phytoplanctoniques ont été fixés au lugol acide et conservés à l'obscurité et à 4°C, jusqu'au comptage au microscope optique.

La biomasse et la composition du zooplancton sont également été suivies à chaque station. Un échantillon en surface et un au niveau de la zone euphotique sont collectés grâce à une trappe Schindler-Patalas. Le zooplancton est fixé à l'éthanol 50-70% et identifié sous loupe binoculaire pour les cladocères et copépodes et sous microscope pour les rotifères.

5.2. Résultats

En ce qui concerne la distribution de la biomasse en phytoplancton dans les barrages, les deux barrages ont montré une stratification thermique saisonnière, bien que beaucoup plus faible en intensité dans le barrage de la Roche-qui-Boit, avec un mélange complet en février (Figure 26). La zone de mélange varie entre 5 et 11 m dans le barrage de Vezins et entre 5 et 7 m dans le barrage de Roche-qui-Boit (Figure 26).La biomasse de phytoplancton est maximale sur les 5 premiers mètres dans les deux barrages et est équivalente en intensité dans les deux barrages (Figure 26). Contrairement aux plans d'eau moins profonds, un état zéro avec une très faible concentration en phytoplancton est observé en février de chaque année, coïncidant avec les plus faibles températures. Ces concentrations minimales sont retrouvées aux cinq stations (Figure 26).





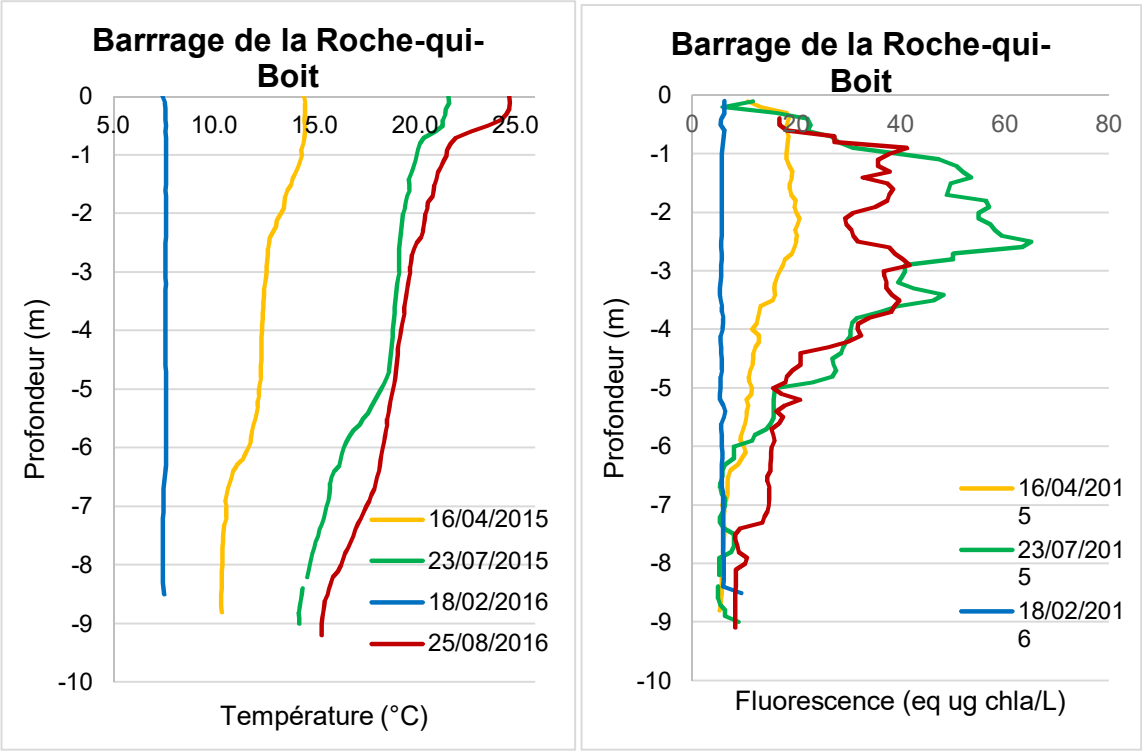


Figure 26. Profils typiques de température et de fluorescence observés dans les deux barrages

Les concentrations en cellules phytoplanctoniques sont minimales à Saint-Hilaire sur l'ensemble de la période, indiquant l'absence d'apports significatifs de plans d'eau en amont (Figure 27). Outre les faibles valeurs de février, les concentrations de cellules sont très variables d'un mois sur l'autre, avec des pics très importants pour les cyanobactéries (Figure27), qui correspondent au passage de blooms (Figure 28). Les stations des barrages et de Signy tendant à varier de manière similaire (Figure 27). De manière générale, les concentrations en cellules phytoplanctoniques augmentent pendant la période de croissance dans les barrages et à la station aval de Signy, avec une augmentation du nombre de diatomées et surtout de cyanobactéries (Figure 29).

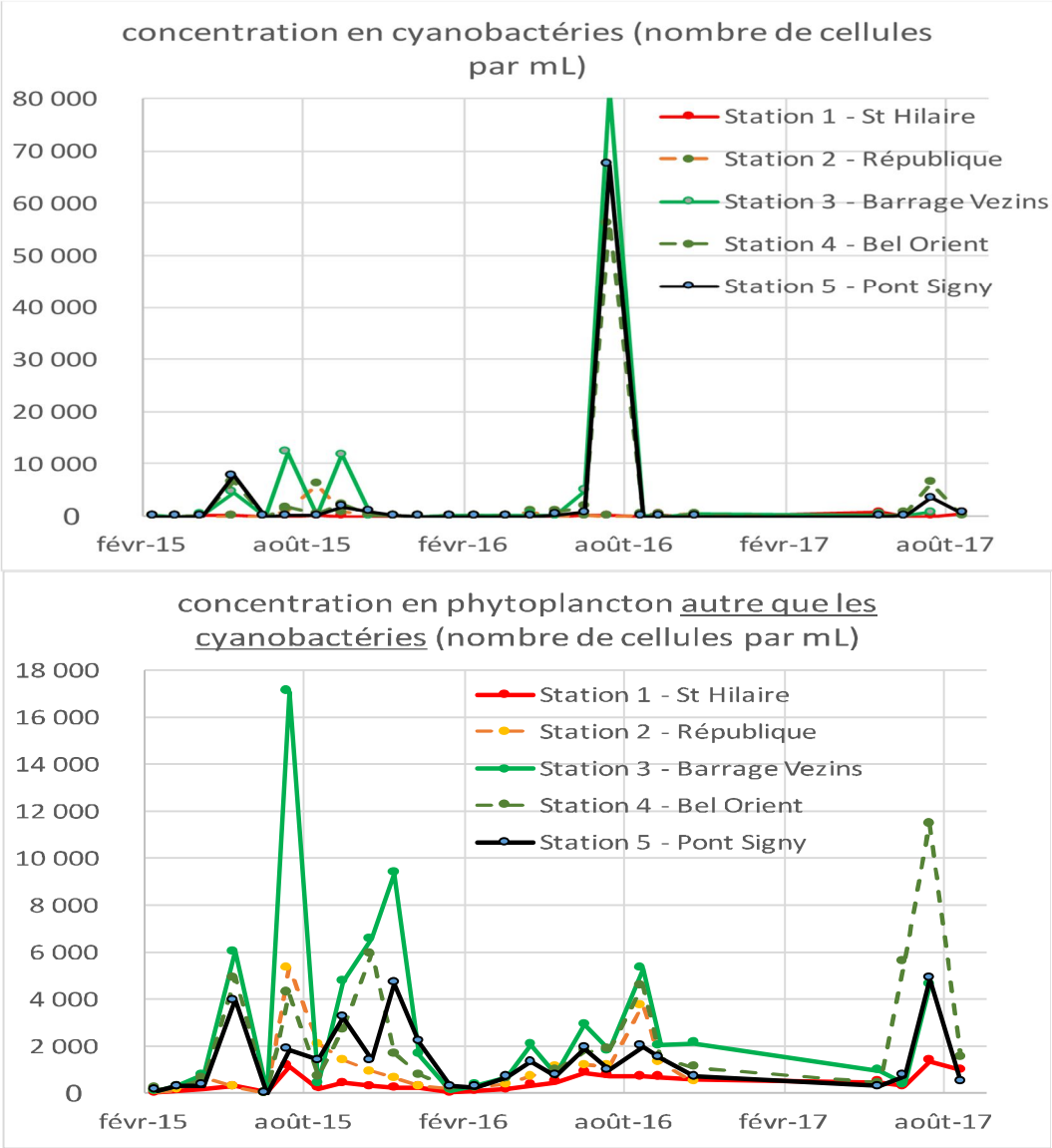


Figure 27. Concentration en cellules de cyanobactéries et de phytoplancton autre que les cyanobactéries (diatomées, chlorophycées, zygophycées, chrysophycées, ...) de début 2015 à septembre 2017.



Figure 28. Photographies de blooms de cyanobactéries observés lors des campagnes d'échantillonnage durant les 4 années de suivi pré-arasement. A gauche : photographie d'un bloom de cyanobactéries, notamment du genre Microcystis, prise entre le Pont de Virey et le Pont de la république le 27 Août 2015. A droite : Photographie du bloom de cyanobactéries, dominé par Planktothrix agardhii, prise en Juillet 2016.

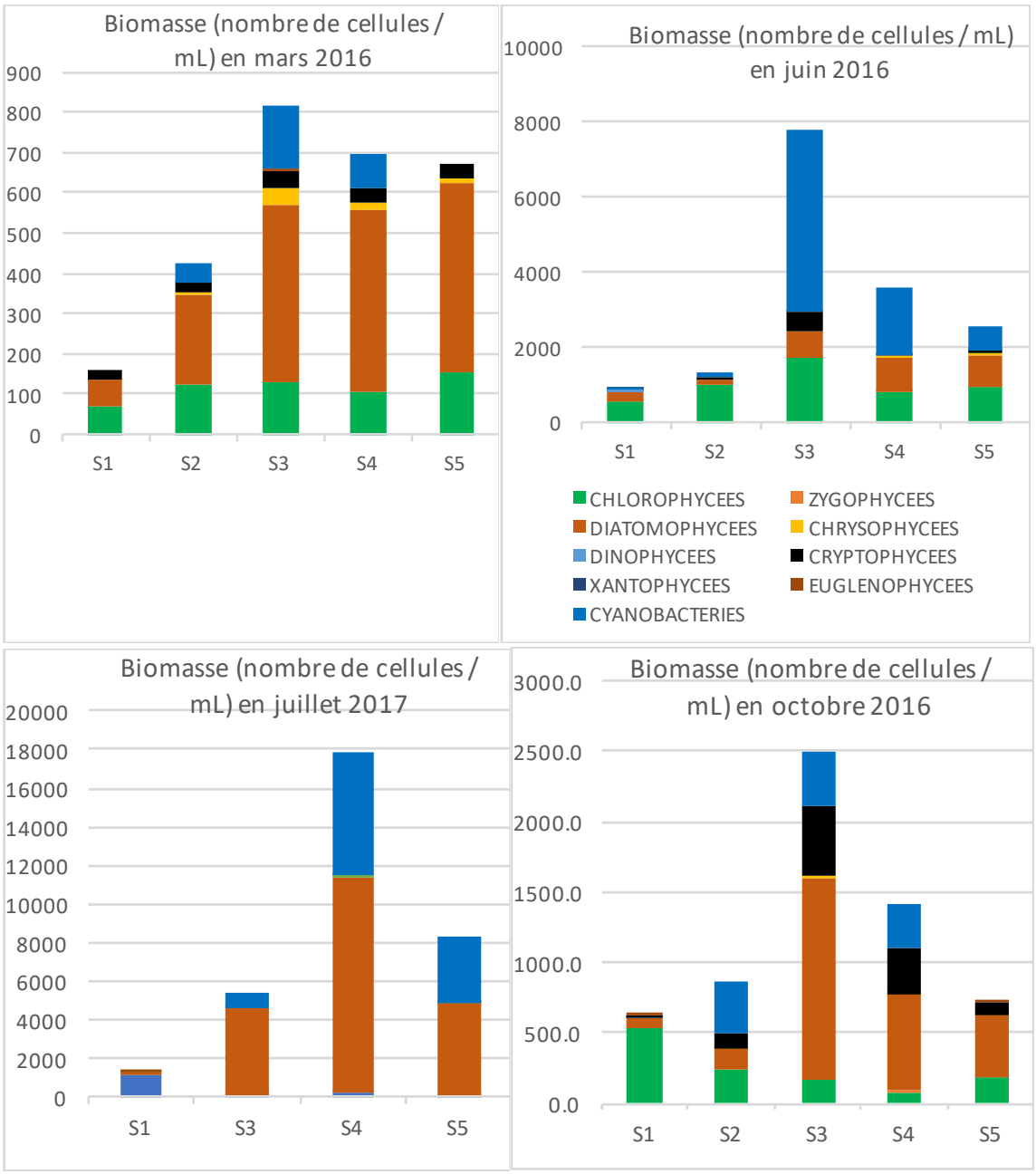


Figure 29. Structure des communautés de phytoplancton aux cinq stations, sur 4 dates en période de croissance. La station de République (S2) n'était plus accessible en juillet 2017.

En termes de diversité des communautés phytoplanctoniques, l'indice de Shannon-Weaver, qui tient compte de l'abondance relative des espèces, est maximal à l'amont des barrages, avec des valeurs variant entre 3 et 4.5 (Figure 30). Entre juin et septembre (voir décembre pour 2015), cette diversité chute fortement dans les barrages, jusqu'à moins de 1, en raison du développement des cyanobactéries où un faible nombre d'espèces dominent fortement la communauté (Figure 30). La diversité dans les deux barrages est fortement corrélée (Figure 31), indiquant une dynamique biologique similaire, voir une dépendance du second barrage vis-à-vis du premier. La station aval de Signy, bien que lotique comme Saint-Hilaire, présente une diversité qui suit celle des barrages et est donc clairement impactée par ces derniers.

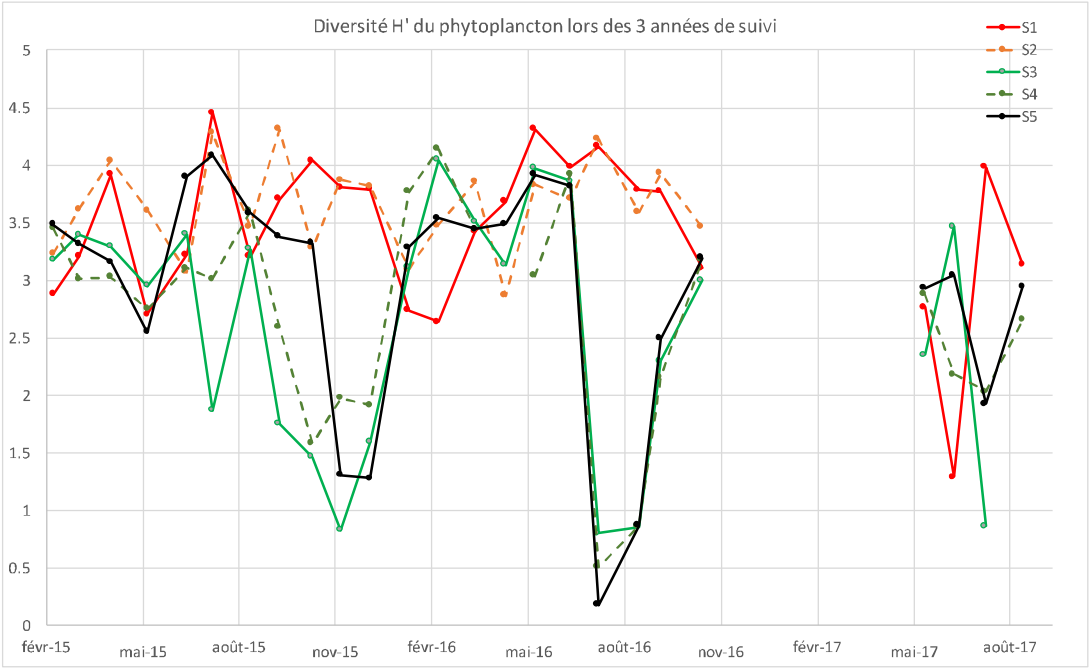


Figure 30. Indice de Shannon-Weaver mesuré sur le phytoplancton aux cinq stations entre février 2015 et septembre 2017.

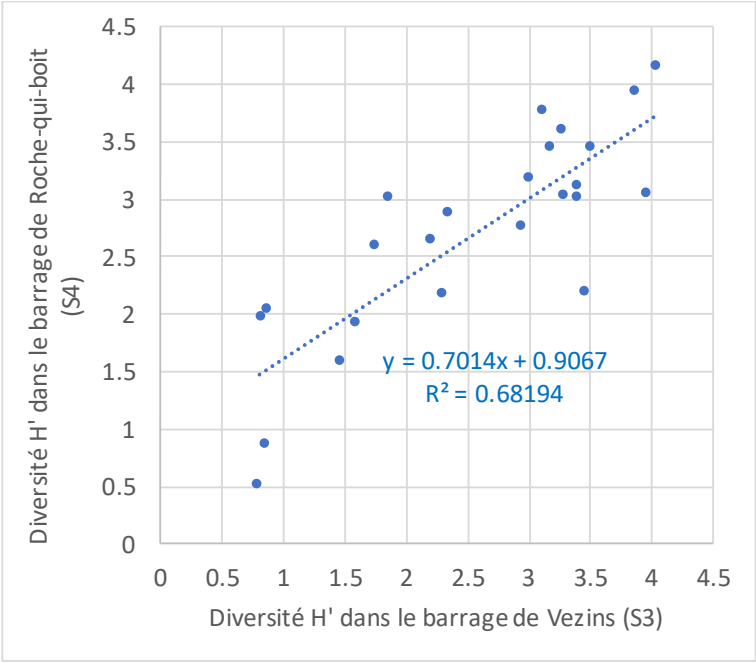


Figure 31. Corrélation de l'indice de diversité de Shannon-Weaver entre les deux barrages.

L'analyse plus fine de la structure des communautés de phytoplancton montre une communauté printanière identique aux 5 stations (zone en haut à gauche sur Figure 32), avec des diatomées comme *Stephanodiscus sp.*,*Diatoma sp* .et *Asterionella sp.* et une cyanobactéries filamenteuse que l'on retrouve dans les milieux turbulent et pauvres en lumière, *Limnothrix sp*. Les communautés divergent ensuite pendant la période estivale, avec une communauté dominée par les cyanobactéries dans les barrages (zone en haut à droite sur la Figure 32) et une communauté spécifique aux stations amont, Saint-Hilaire-du-Harcouët et République, dominée par des chlorophycées et des diatomées (zone en bas à gauche sur la Figure 32).

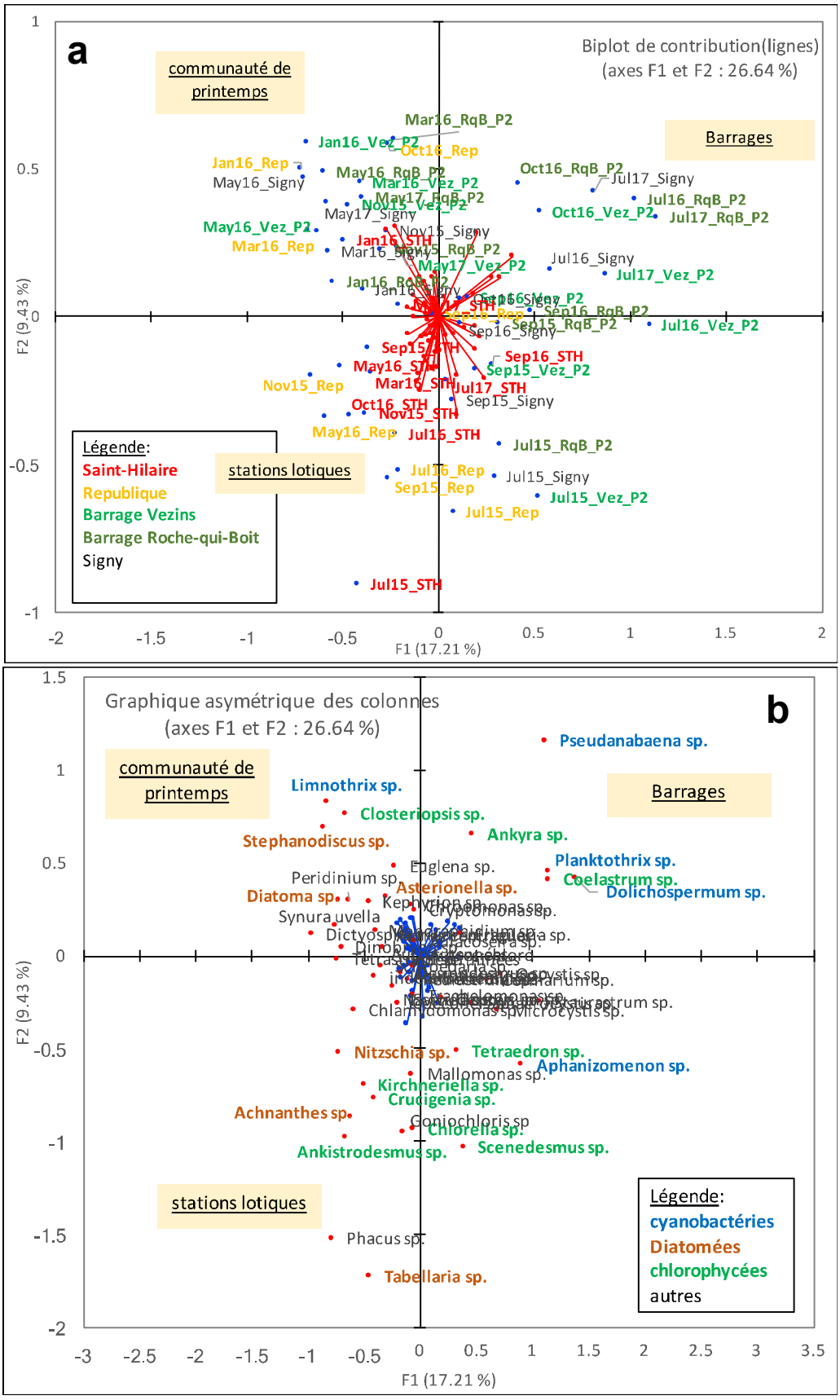


Figure 32. Analyse Factorielle des Correspondances réalisées sur les communautés de phytoplancton aux 5 stations et aux différentes dates. a : Projection des stations. b: projection des espèces. Les deux graphiques sont superposables.

6. Caractérisation du biofilm dans la Sélune

6.1. Méthodologie de suivi du biofilm sur la Sélune

Pour l'étude du biofilm, des substrats artificiels (systèmes de cagettes contenant 6 grandes lames en verre de 30 x 10 x 3 mm) ont été mis en place (Figure 33) à chaque station afin d'échantillonner le périphyton de manière standardisée, et de faciliter la comparaison inter-sites et au cours du temps. Pour les 2 stations de rivière S1 et S5, les cagettes sont fixées au fond du lit de la rivière. Pour les stations situées dans les barrages (pont de la République, au Barrage de Vezins et au Barrage de la Roche qui Boit respectivement), 2 cagettes ont été positionnées dans la colonne d'eau à 1m et 2m de la surface grâce à une bouée. La différence d'activité et de biomasse de périphyton entre les 2 profondeurs permet de caractériser l'influence de la lumière (photoinhibition ou limitation par la lumière). Sur les 5 stations, les lames sont remplacées chaque mois, afin d'avoir approximativement le même temps de colonisation par le biofilm. Les lames sont alors raclées afin de réaliser les différentes analyses : Poids sec sans cendre (ou AFDM ash-free dry mass) et chlorophylle *a* par unité de surface, composition et abondance des espèces de périphyton et mesure de l'activité photosynthétique et de la composition principale diatomées/algues vertes/cyanobactéries au Phyto-PAM.

Concernant la composition spécifique du biofilm, une fixation *in situ* des échantillons au lugol a été réalisée, puis les échantillons ont été conservés à l'obscurité et à 4°C jusqu'au comptage au microscope optique. Une partie des échantillons de biofilm a été analysée par un bureau d'étude, qui a déterminé la composition en diatomées.

La mesure du poids sec sans cendre (AFDM) est réalisée au laboratoire après un passage à l'étuve (72h, 105°C) puis au four sans cendre (1h, 500°C) et permet d'estimer la quantité de matière organique présente dans le biofilm pour chaque station.

La concentration en chlorophylle *a* du biofilm a été estimée après lyophilisation de celui-ci, extraction à l'acétone puis mesure au spectrophotomètre. On peut ainsi caractériser la proportion de matière organique chlorophyllienne du biofilm.

Compte-tenu des niveaux d'eau à certaines stations et à certaines dates, les lames de verre n'ont parfois pas pu être récupérées.



Figure 33. Photographie des substrats artificiels mis en place pour l'étude du biofilm sur la Sélune

6.2. Résultats

La biomasse totale de biofilm sur les lames de verre est très variable d'un mois à l'autre pour les deux stations lotiques S1 (Saint Hilaire-du-Harcouët) et S5 (Pont de Signy) ainsi que celle de République (S2), avec une forte composante inorganique (Figure 34). Dans les barrages (stations 3 et 4), la composante organique est plus importante et prédomine légèrement avec des pics de production de biomasse en été (Figure 34).

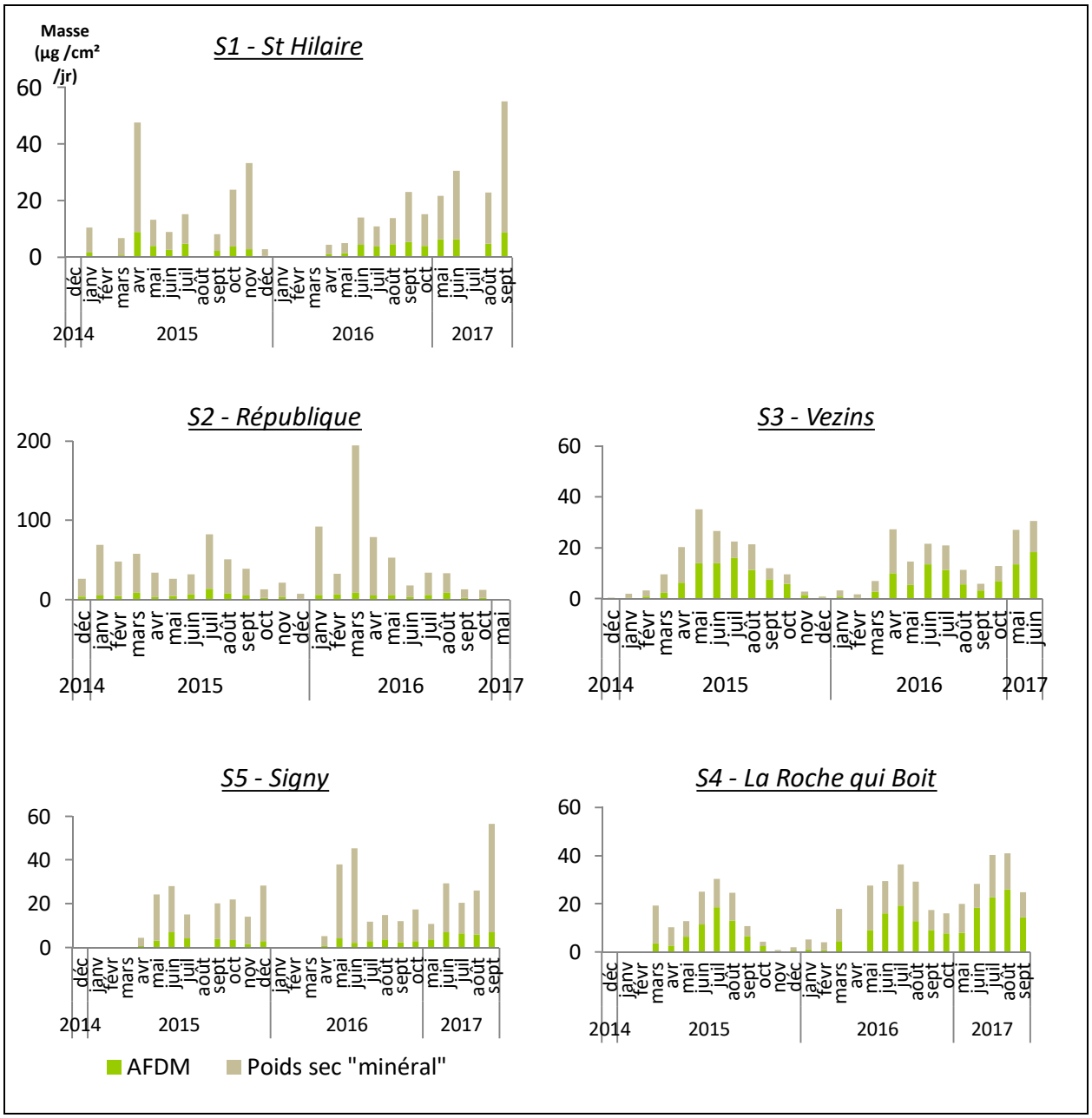


Figure 34. Evolution saisonnière en 2015, 2016 et 2017 de la biomasse de biofilm mesurée à 1m sous la surface, avec en vert les masses organiques (Poids Sec Sans Cendre ou Ash-Free Dry Mass) et en beige la biomasse inorganique de biofilm.

Le fait que la biomasse de biofilm photosynthétique soit collectée sur des supports artificiels (lames de verre) après un mois de colonisation, permet d'intégrer l'échantillonnage sur un mois et ainsi de

masquer la variabilité à court terme associée aux crues, contrairement à ce qui peut être observé pour le phytoplancton.

La série temporelle de biomasse photosynthétique de biofilm montre une saisonnalité, quelques soient les stations, avec une production d'avril à octobre et un pic en juin-juillet (Figure 35). La variation de biomasse du biofilm suit celle du rayonnement solaire global, indiquant un contrôle de la biomasse par la lumière à l'échelle saisonnière. Nos mesures *in situ* ont également montré que la lumière était le principal facteur limitant la croissance du biofilm dans la colonne d'eau. Hormis 2017, la biomasse de biofilm est de 2 à 5 fois plus élevée dans les barrages que dans les stations lotiques (Figure 35), à cause d'un hydrodynamisme plus faible, qui permet le développement de biomasse, et d'une disponibilité plus grande de la lumière *in situ* (turbidité plus faible). Enfin, les biomasses de biofilm mesurée à l'aval (Signy) sont équivalentes en moyenne à celles de l'amont (Saint-Hilaire) (Figure 35).

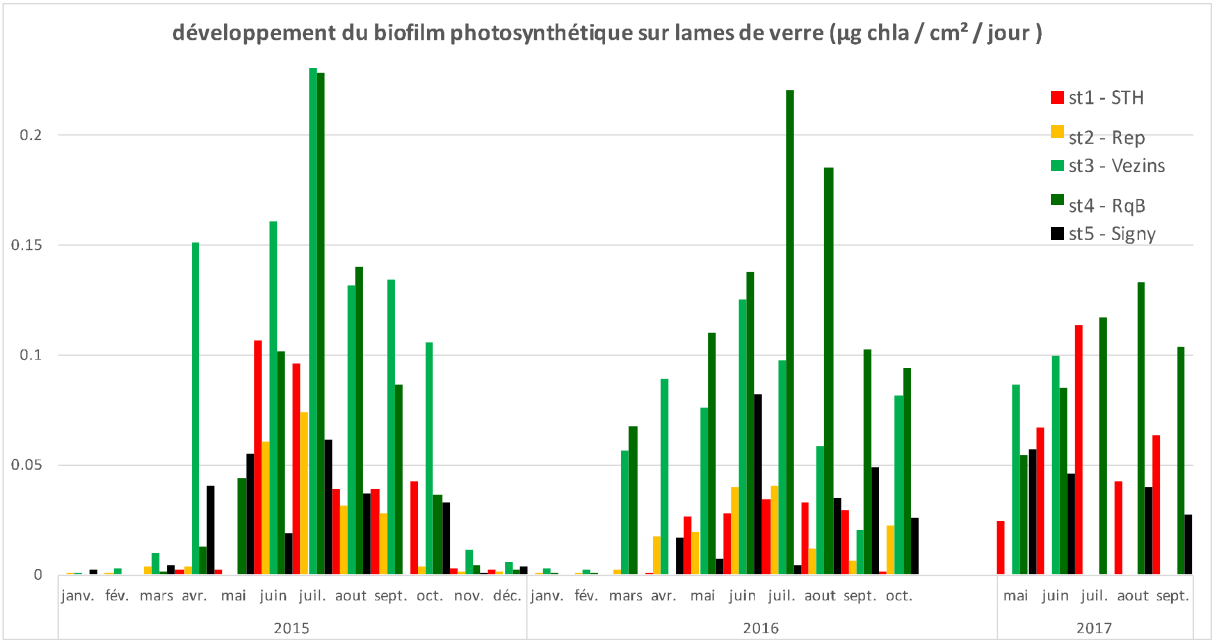


Figure 35. Biomasse de biofilm photosynthétique mesurée aux cinq stations de 2015 à 2017 (D. Vassaux). La station République n'a pas été échantillonnée en 2017 pour des raisons d'inaccessibilité.

Le biofilm est à la base du réseau trophique dans les stations lotiques (très peu de phytoplancton présent).

Nous avons étudié la composition taxonomique d'une partie des échantillons de biofilm récoltés. Les résultats présentés Figure 36 représentent les proportions relatives des différents embranchements de microalgues présents; elles sont exprimées en pourcentage d'individus comptés. Quelles que soient la station et la saison, on peut noter que la composition du biofilm est dominée par l'embranchement des *Bacillariophyta*, qui correspond aux Diatomées. Les *Chlorophyta* et les *Charophyta* correspondent aux algues vertes et les Cyanobactéries correspondent à l'embranchement des Cyanobacteria.

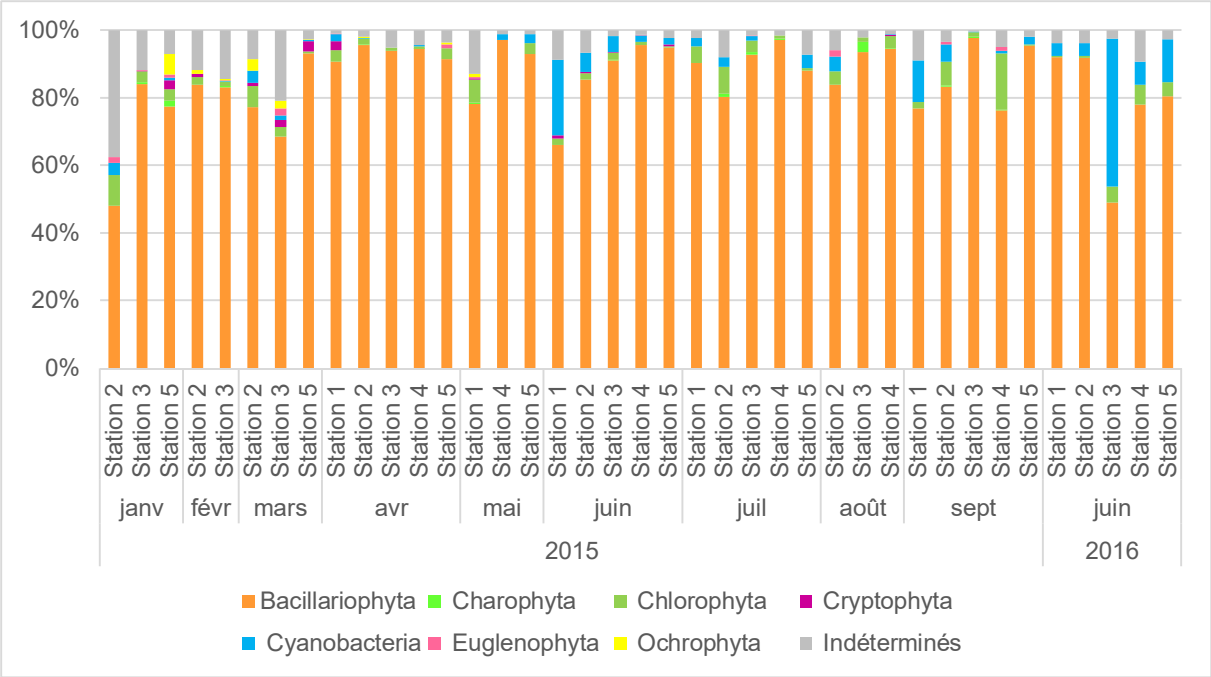


Figure 36. Proportions des différents embranchements de microalgues dans le biofilm récupéré sur les lames de verre à 1m de profondeur de janvier à septembre 2015 et en juin 2016, calculées sur le nombre d'individus comptés.

Les diatomées sont utilisées en routine comme bio-indicateur de la qualité des cours d'eau, de par leur ubiquité, leur grande réactivité (faible temps de division), la forte sensibilité de certaines espèces aux différentes pollutions et leur facilité d'échantillonnage (Descy & al., 1991 ; Biggs, 2000 ; Sabater et al., 2007). Dans notre étude, la présence des barrages impacte fortement la diversité et la composition en diatomées du biofilm. La détermination à l'espèce des diatomées demandant une expertise poussée, certains échantillons ont été soumis au bureau d'études Bi-Eau pour avoir une liste taxonomique plus précise. En juin 2015 par exemple (date de comptage par Bi-Eau), le nombre d'espèces de diatomées passe de 31 à Saint-Hilaire et 39 au pont de la République à 6 et 4 dans les deux barrages respectivement, et remonte à 10 espèces à l'aval des barrages (Figure 36). Une forte dominance du biofilm par des espèces du genre *Achnanthidium* est observée dans les barrages, *A. catenatum et A. minutissimum*, en 2015 et 2016 (Figure 36). Certaines espèces comme *Cocconeis euglypta, Cocconeis placentula, Cocconeis placentula var.lineata* et *Surirella lacrimula*, sont présentes à l'amont et à l'aval des barrages, indiquant une forte résilience pour ces espèces. D'autres espèces, comme *Achnanthidium hoffmannii, Achnanthidium microcephalum, Gomphonema parvulum, Karayevia oblongella, Navicula gregaria, Navicula lanceolata, Planothidium frequentissimum, Planothidium lanceolatum* et *Sellaphora nigri*, sont en présence significative à l'amont, mais ne sont pas ré-observées à l'aval des barrages (Figure 36). L'effet des barrages va cependant être modulé par l'hydrodynamisme et les crues. En 2016 sur la même période, la diversité en diatomées à la station aval (Signy) est ainsi de 44 espèces, contre 37 à Saint-Hilaire et 17 dans les barrages. Malgré une forte diversité en diatomées, la composition en espèces reste très différente de l'amont (Figure 37).

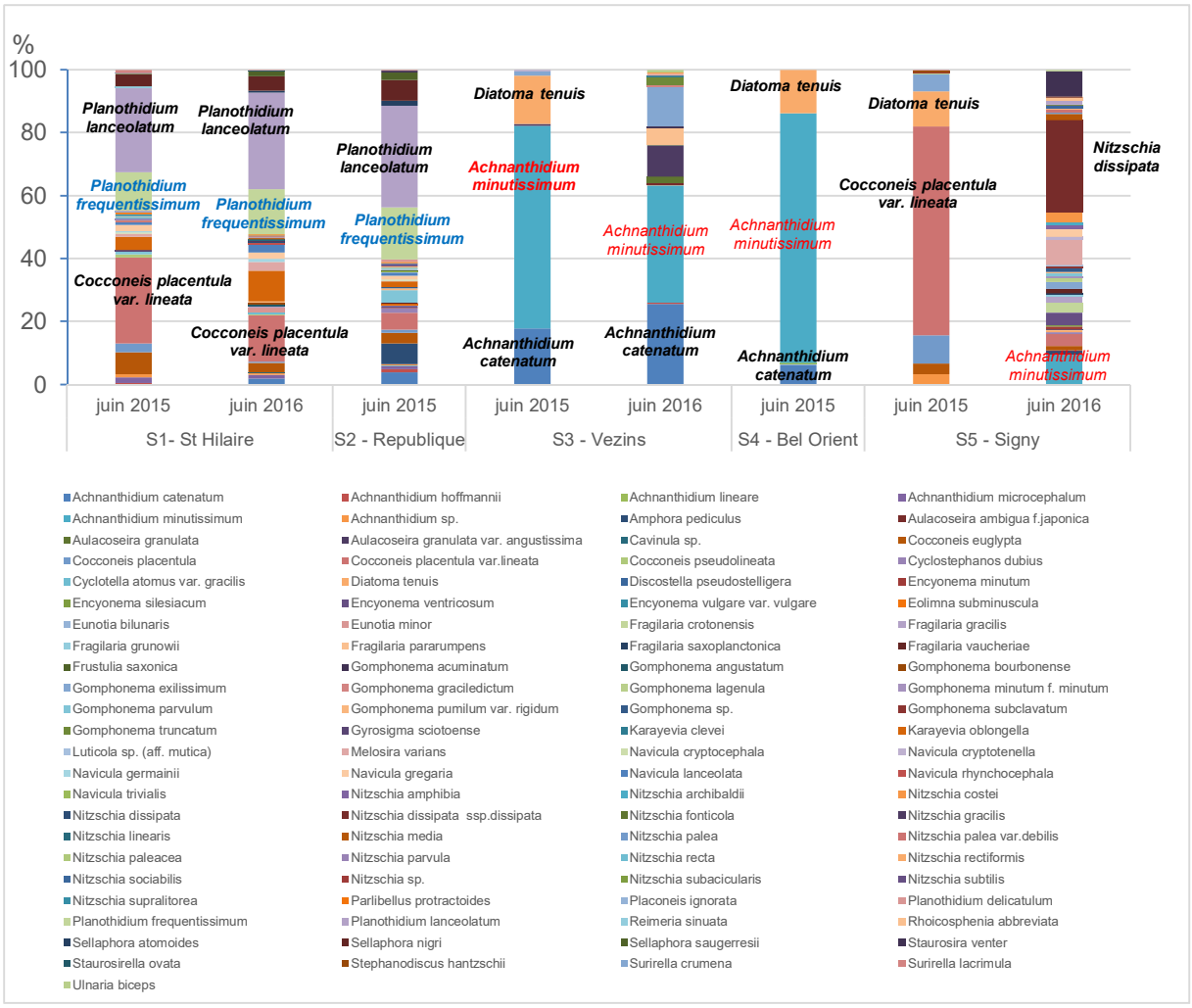


Figure 37. Composition du biofilm en diatomées aux cinq stations en juin 2015 et 2016.

7. Conclusion sur les résultats obtenus lors de la phase pré-arasement du projet « Bio-monitoring »

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 caractériser les communautés biologiques en place le long de la Sélune et de décrire les évolutions saisonnières de ces communautés en lien avec la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval des barrages. Les données obtenues lors de ces quatre années de suivi pré-arasement mettent en évidence une diversité animale et végétale de la Sélune relativement importante. On recense notamment environ 120 taxons de phytoplancton, 40 taxons de macrophytes, 21 taxons de zooplancton et 183 taxons d'invertébrés. Cela confirme un fort potentiel de restauration du système suite à l'arasement des barrages.

D'autre part, nos résultats montrent clairement que le système est à l'équilibre avec des dynamiques saisonnières qui sont stables d'une année sur l'autre (entre 2015 et 2017), même si les variations hydrologiques interannuelles 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 2017).

Le principal objectif visant à établir un état de référence de cette partie de la Sélune semble donc atteint, malgré un suivi dans des conditions administratives difficiles suite aux incertitudes sur l'arasement des barrages.

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 avons pu mettre en place les expériences d'encagement *in situ* lors des travaux réalisés à partir du mois de mars 2017. Le suivi de l'impact de ses travaux ont fait l'objet d'une autre convention avec l'AESN (convention numéro n°1066347-1).

8. Productions et communications scientifiques lors du projet

8.1. Communications en congrès scientifiques

- Charles S., Henry Y., Colinet H., Piscart C. (2016) Combined effect of temperature and ammonia on survival of *Gammarus pulex*. *Journées Santé & Environnement*, Grenoble (France), 06 Juillet 2016.

- Henry Y., Piscart C., Colinet H. (2015) Réponses écophysiologiques du crustacé aquatique *Gammarus pulex* aux stress thermique, à l'ammoniac et à leur interaction. *2nd Colloque d'Ecophysiologie Animale* (CEPA), La Rochelle (France), 4-6 Novembre.

- Fraisse S., Piscart C. (2015) Arasements des barrages de la Sélune. *Séminaire du réseau thématique de recherché AGRO : Agro, Environnement, développement durable de l'université européenne de Bretagne* (UEB), Rennes (France), 18-19 Novembre 2015.

- Henry Y., Colinet H., Piscart C., Charles S. (2016) Combined effect of temperature and ammonia on the freshwater crustacean *Gammarus pulex*. *SETAC Europe 26th Annual Meeting*, Nantes (France) 22-26 May 2016.

- Massé S., Pannard A., Piscart C. (2016) Photosynthetic activity of phytoplankton and biofilm in a river fragmented by dams. *4ièmes Journées Internationales de Limnologie et d'Océanographie (JILO)*, St Malo (France), 27-29 septembre 2016.

- Pannard A., Gorzerino C., Massé S., Pellan L., Bouger G., Piscart C. (2016) Influence d'un double barrage sur la dynamique saisonnière des communautés de phytoplankton et de microphytobenthos. *4ièmes Journées Internationales de Limnologie et d'Océanographie* (JILO), St Malo (France), 27-29 septembre 2016.

- Pannard A., C. Gorzerino, L. Pellan, D. Barloy, J. Coudreuse, S. Massé, G. Bouger, M. Chorin, N. Le Bris, C. Piscart (2016) Biodiversity of freshwater organisms of the Sélune River : assessment of phyto- and zoo-plankton and benthic macroinvertebrates. *Workshop Sélune* 21-23 mars 2016.

- Pellan L., Pannard A., Bouger G., Gorzerino C., Massé S., Poupelin M., Petton C., Piscart C. (2016) Effets des barrages sur les communautés d'invertébrés de la Sélune. *4ièmse Journées Internationales de Limnologie et d'Océanographie (JILO)*, St Malo (France), 27-29 septembre 2016.

- Piscart C., Mony C. Sulmon C. (2014) Résilience des écosystèmes aquatiques et prairiaux aux perturbations hydrologiques. *Sixième édition de l'École Interdisciplinaire de Rennes sur les Systèmes Complexes*, 12-14 Octobre 2014.

- Piscart C. (2015) Le rôle du paysage dans le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes aquatiques adjacents. *Formation de haut niveau sur le Paysage : journée l'eau et les paysages*, Rennes (France), 24 novembre 2015.

- Piscart C., Santonja S., Rivière S., Puijalon S. (2016) Rôle de la diversité fonctionnelle de la ripisylve dans la structure des réseaux trophiques des cours d'eau. *4ièmes Journées Internationales de Limnologie et d'Océanographie* (JILO), St Malo (France), 27-29 septembre 2016.

- Piscart C., Pellan L., Puijalon S., Santonja M. (2017). Functional importance of freshwater amphipods in the leaf litter recycling process: the role of leaf litter characteristics. *17th International Congress on amphipods* (ICA), Trapani (Italy), 4-8 septembre 2017.

8.2. Publications scientifiques

- Henry Y., Piscart C., Charles S., Colinet C. (2017). Combined effect of temperature and ammonia on molecular response and survival of the freshwater crustacean *Gammarus pulex*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 137:42-48.

- Piscart C., Pellan L., Puijalon S. & Santonja M. (2017). Functional importance of freshwater amphipods in the leaf litter recycling process: the role of leaf litter characteristics. *Biodiversity Journal*, 8 (2): 429–430.

9. Références bibliographiques

Biggs, B. J F. (2000). Eutrophication of streams and rivers: Dissolved nutrient-chlorophyll relationships for benthic algae. *Journal of the North American Benthological Society*, *19*, 17-31.

Descy, J. P., & Coste, M. (1991). A test of methods for assessing water quality based on diatoms. *Verh. Int. Verein. Limnol*, *24*(4), 2112-2116.

Sabater, S., Guasch, H., Ricart, M. et al. (2007). Monitoring the effect of chemicals on biological communities. The biofilm as an interface. *Anal Bioanal Chem*, 387(4), 1425-1434.

Tachet H, Richoux P, Bournaud M, Usseglio-Polatera P. Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie : 2000 – CNRS editions Paris.

Waringer J, Graf W. Atlas of Central European Trichoptera Larvae. Erik Mauch Verlag; Dinkelscherben: 2011. p. 468.

Annexe 1. Synthèse des sorties réalisées durant la phase pré-arasement

ANNEE	MOIS	DATE	station	MOIS	DATE	station
2014	octobre	27/10/2014	Vezins	décembre	15/12/2014	République
		27/10/2014	Roche qui boit		15/12/2014	Vezins
		27/10/2014	Signy		15/12/2014	Roche qui boit
		30/10/2014	Saint-Hilaire		16/12/2014	Saint-Hilaire
		30/10/2014	République		16/12/2014	Signy
	novembre	17/11/2014	Vezins			
		17/11/2014	Roche qui boit			
		18/11/2014	Saint-Hilaire			
		18/11/2014	Signy			
2015	janvier	19/01/2015	Saint-Hilaire	juillet	21/07/2015	Saint-Hilaire
		19/01/2015	Signy		21/07/2015	Signy
		20/01/2015	République		23/07/2015	République
		20/01/2015	Vezins		23/07/2015	Vezins
		20/01/2015	Roche qui Boit		23/07/2015	Roche qui Boit
	février	19/02/2015	République	août	27/08/2015	République
		19/02/2015	Vezins		27/08/2015	Vezins
		19/02/2015	Roche qui Boit		27/08/2015	Roche qui Boit
		20/02/2015	Saint-Hilaire		25/08/2015	Saint-Hilaire
		20/02/2015	Signy		25/08/2015	Signy
	mars	16/03/2015	République	septembre	21/09/2015	République
		16/03/2015	Vezins		21/09/2015	Vezins
		16/03/2015	Roche qui Boit		21/09/2015	Roche qui Boit
		17/03/2015	Saint-Hilaire		22/09/2015	Saint-Hilaire
		17/03/2015	Signy		22/09/2015	Signy
	avril	16/04/2015	République	octobre	22/10/2015	République
		16/04/2015	Vezins		22/10/2015	Vezins
		16/04/2015	Roche qui Boit		22/10/2015	Roche qui Boit
		17/04/2015	Saint-Hilaire		23/10/2015	Saint-Hilaire
		17/04/2015	Signy		23/10/2015	Signy
	mai	20/05/2015	Saint-Hilaire	novembre	19/11/2015	Saint-Hilaire
		20/05/2015	République		19/11/2015	République
		20/05/2015	Vezins		19/11/2015	Vezins
		20/05/2015	Roche qui Boit		20/11/2015	Roche qui Boit
		21/05/2015	Signy		20/11/2015	Signy
	juin	25/06/2015	République	décembre	14/12/2015	République
		25/06/2015	Vezins		14/12/2015	Vezins
		25/06/2015	Roche qui Boit		14/12/2015	Roche qui Boit
		26/06/2015	Saint-Hilaire		17/12/2015	Saint-Hilaire
		26/06/2015	Signy		17/12/2015	Signy
2016	janvier	21/01/2016	République	juin	20/06/2016	Vezins

		21/01/2016	Vezins		20/06/2016	Roche qui boit
		21/01/2016	Roche qui boit		21/06/2016	Saint-Hilaire
		22/01/2016	Saint-Hilaire		21/06/2016	Signy
		22/01/2016	Signy		24/06/2016	République
	février	18/02/2016	République	juillet	18/07/2016	République
		18/02/2016	Vezins		18/07/2016	Vezins
		18/02/2016	Roche qui boit		18/07/2016	Roche qui boit
		19/02/2016	Saint-Hilaire	août	25/08/2016	République
		19/02/2016	Signy		25/08/2016	Vezins
	mars	24/03/2016	République		25/08/2016	Roche qui boit
		24/03/2016	Vezins		15/09/2016	République
		24/03/2016	Roche qui boit		15/09/2016	Vezins
	avril	21/04/2016	République	septembre	15/09/2016	Roche qui boit
		21/04/2016	Vezins		16/09/2016	Saint-Hilaire
		21/04/2016	Roche qui boit		16/09/2016	Signy
		22/04/2016	Saint-Hilaire	octobre	24/10/2016	République
		22/04/2016	Signy		24/10/2016	Vezins
	mai	19/05/2016	Vezins		24/10/2016	Roche qui boit
		19/05/2016	Roche qui boit		25/10/2016	Saint-Hilaire
		19/05/2016	Signy		25/10/2016	Signy
		20/05/2016	Saint-Hilaire			
		20/05/2016	République			
		20/05/2016	Signy			
2017	mai	19/05/2017	Vezins	juillet	20/07/2017	Saint-Hilaire
		19/05/2017	Roche qui boit		20/07/2017	Vezins
		23/05/2017	Saint-Hilaire		20/07/2017	Roche qui boit
		23/05/2017	Signy		21/07/2017	Signy
	juin	19/06/2017	Roche qui boit	août	24/08/2017	Saint-Hilaire
		20/06/2017	Saint-Hilaire		24/08/2017	Vezins
		20/06/2017	Signy		24/08/2017	Roche qui boit
				septembre	28/09/2017	Signy

Annexe 2. Liste floristique des macrophytes de la Sélune observés en 2015

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

	PHAARU	*Phalaris arundinacea*	X	
	POLHYD	*Polygonum hydropiper*	X	
	RANREP	*Ranunculus repens*	X	
	SOADUL	*Solanum dulcamara*	X	

Annexe 3. Liste faunistique des macroinvertébrés aquatiques à chaque station de suivi sur la Sélune

Groupe	Taxon	Saint-Hilaire	République	Vezins	Roche qui boit	Signy
ACHETES	*Erpobdella sp.*	X	X	X	X	X
	Alboglossiphia hyalinia				X	
	Batracobdella sp.				X	
	Boreobdella sp.					X
	Glossiphonia sp.			X	X	X
	Haementeria costata					X
	Helobdella stagnalis	X	X	X	X	X
	Hemiclepsis sp.					X
	Piscicola geometra		X			X
AMPHIPODES	*Echinogammarus berilloni*	X	X	X	X	X
	Gammaridae	X		X		X
	Gammarus pulex	X	X	X	X	X
BIVALVES	*Pisidium sp.*	X	X	X	X	X
	Sphaerium sp.	X		X		X
	Pseudanodonta complanata	X	X			X
BRANCHIOBDELLIDAE	*Branchiobdella sp.*	X				
BRANCHIOPODES	*Cladocères*	X	X	X	X	X
	Copépodes		X	X	X	X
	Ostracodes	X	X		X	X
	Conchostracés	X		X	X	
BRYOZOAIRES	*Bryozoaires*		X	X	X	X
COLEOPTERES	*Curculionidae*				X	X
	Dryops sp.				X	X
	Pomatinus sp.	X			X	X
	Hydroporus sp.			X		
	Nebrioporus sp.					X
	Platambus sp.	X				
	Dupophilus sp.	X	X			X
	Elmis sp.	X	X			X
	Esolus sp.	X	X		X	X
	Limnius sp.	X			X	X
	Normandia sp.					X
	Oulimnius sp.	X	X	X	X	X
	Riolus sp.	X	X		X	X
	Stenelmis sp.	X			X	X
	Gyrinus sp.					
	Orectochilus villosus	X	X			X
	Haliplus sp.				X	
	Hydraenasp.	X			X	X
	Hydrochus sp.					

DECAPODES	*Pacificastacus sp.*	X				
DIPTERES	*Limnophora sp.*				X	
	Atherix sp.	X				X
	Athricops crassipes	X		X		X
	Ceratopogonidae	X	X		X	X
	Chironominae	X	X	X	X	X
	Chironomini sp.	X	X	X	X	
	Corynoneurinae	X	X	X	X	X
	Orthocladiinae	X	X	X	X	X
	Tanypodinae	X				
	Tanytarsini sp.					X
	Dixa sp.	X	X			
	Cheliphera sp.	X				X
	Clinocerinae	X				
	Empididae	X	X			X
	Hemerodromia sp.					X
	Wiedemannia sp.		X			
	Ephydridae				X	
	Dicranoptycha sp.	X				X
	Eloeophila sp.				X	
	Heriopterini sp.	X				
	Hexatoma sp.	X				
	Limoniidae	X				
	Limoniini sp.	X				
	Pediciini sp.	X	X		X	X
	Rhagionidae	X				
	Sciomyzidae	X	X	X	X	X
	Simuliidae			X		
	Stratiomydae	X	X		X	X
	Tabanidae	X	X	X	X	X
	Tipulidae	X	X		X	
EPHEMEROPTERES	*Acentrella sp.*	X				X
	Baetis sp.	X	X		X	X
	Centroptilum sp.	X	X	X	X	X
	Caenis sp.	X	X	X	X	X
	Ephemerella notata	X				
	Serratella sp.	X	X	X		X
	Ephemera sp.	X			X	X
	Ecdyonurus sp.	X				X
	Electrogena sp.	X	X			X
	Epeorus sp.	X				X
	Heptagenia sp.	X	X	X		X
	Heptageniidae	X				
	Rhitrogena sp.	X				
	Habrophlebia sp.	X				

	Leptophebia sp.	X				X
	Paraleptophlebia sp.	X	X		X	X
	Oligoneuriella sp.	X				
	Potamanthus luteus	X	X			X
GASTEROPODES	*Bithynia sp.*	X	X	X	X	X
	Potamopyrgus sp.	X	X		X	X
	Lymnaeidae sp.	X	X		X	X
	Radix sp.				X	X
	Physella sp.				X	
	Armiger sp.	X	X	X	X	X
	Gyraulus sp.				X	
	Hippeutis complanatus	X	X	X	X	X
	Planorbarius sp.				X	X
	Planorbidae				X	
	Valvata sp.				X	
HETEROPTERES	*Aphelocheirus aestivalis*	X	X			
	Corixinae sp.	X	X		X	X
	Micronecta sp.	X	X		X	
	Sigara sp.	X	X	X	X	X
	Mesovelia sp.		X			
	Microvelia sp.		X			
	Velia sp.		X			
HYDRACARIENS	*Hydracariens*	X	X	X	X	X
HYDROZOAIRES	*Hydra sp.*	X	X	X	X	X
HYMENOPTERES	*Agriotipus sp.*	X				
ISOPODES	*Asellus aquaticus*		X	X	X	X
	Proasellus sp.	X		X	X	X
MEGALOPTERES	*Sialis sp.*	X	X			
NEMATHELMINTHES	*Gordiaces*			X	X	
	Nematodes	X	X	X	X	X
NEMERTIENS	*Prostoma graecense*				X	
ODONATES	*Calopteryx sp.*					X
	Coenagrion pro parte				X	
	Cordulegaster sp.			X	X	
	Somatochlora pro parte				X	
	Gomphus vulgatissimus	X	X			X
	Chalcolestes sp.				X	X
	Platycnemis sp.		X			
OLIGOCHETES	*Oligochetes*	X	X	X	X	X
PLECOPTERES	*Protonemoura sp.*	X	X			X
	Dinocras sp.	X				
	Perlidae	X				
	Brachyptera risi	X	X			X
	Rhabdiopteryx sp.	X				
	Taeniopteryx sp.	X	X			X

	Brachycentrus subnubilus	X				X
	Micrasema longulum	X				
	Ecnomus tenellus	X		X		
	Goeridae	X				
	Lithax niger	X				
	Silo nigricornis	X				X
	Silo palipes	X				
	Silo piceus					X
	Cheumatopsyche lepida	X				X
	Hydropsyche contubernalis	X				X
	Hydropsyche pellucidula	X				X
	Hydropsyche siltalai	X				X
	Hydropsyche sp.	X	X			X
	Hydroptila sp.	X	X			X
	Ithytrichia lamellaris	X		X		X
	Lepidostoma basale					X
	Lepidostoma hirtum	X		X	X	X
	Adicella reducta					X
	Athripsodes albifrons	X				X
	Athripsodes cinereus	X		X	X	X
	Athripsodes sp.	X	X	X	X	X
	Ceraclea dissimilis	X				X
TRICHOPTERES	*Leptoceridae*	X			X	
	Mystacides azureus	X	X	X	X	X
	Mystacides longicornis	X	X	X	X	X
	Oecetis notata	X				X
	Oecetis ochracea	X				
	Oecetis sp.	X	X	X	X	X
	Oecetis testacea	X		X	X	X
	Anabolia nervosa	X				X
	Limniphilinae	X			X	X
	Micropterna sp.			X	X	X
	Nemotaulius.punctatolineatus	X		X	X	
	Stenophylax sp.		X		X	X
	Odontocerum albicorne				X	
	Philopotamus montanus			X	X	X
	Cyrnus trimaculatus	X	X	X	X	X
	Neureclipsis bimaculata					X
	Plectrocnemia conspersa	X	X			
	Plectrocnemia geniculata	X		X	X	X
	Polycentropidae	X	X	X		X
	Polycentropus.flavomaculatus	X	X	X		X
	Polycentropus irroratus					X
	Psychomyia pusilla	X	X	X	X	X
	Tinodes waeneri		X	X	X	X

	Hyporhyacophila sp.	X				
	Rhyacophila dorsalis	X				X
	Rhyacophila hirticornis	X				
	Rhyacophila pubescens				X	
	Rhyacophila sp.	X			X	X
TRICLADES	*Dendrocoelum sp.*			X		
	Dugesia sp.	X	X	X	X	X
	Polycelis sp.			X	X	X

Annexe 4. Liste faunistique des invertébrés zooplanctoniques de la Sélune

Taxon	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 5. Liste floristique des micro-algues pélagique de la Sélune

Groupe	*Taxon*	Saint-Hilaire	République	Vezins	La Roche qui Boit	Signy
CYANOBACTERIES	*Aphanizomenon flosaquae*			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 6. Liste floristique des micro-algues benthiques de la Sélune

Taxon	Saint-Hilaire	République	Vezins	La Roche qui Boit	Signy
Achnanthidium catenatum (Bily & Marvan) Lange-Bertalot	X	X	X	X	
Achnanthidium hoffmannii Van de Vijver, Ector, Mertens & Jarlman	X	X	X		
Achnanthidium lineare W.Smith				X	
Achnanthidium microcephalum Kützing	X	X			
Achnanthidium minutissimum (Kützing) Czarnecki		X	X	X	X
Achnanthidium sp.	X	X	X		X
Amphora pediculus (Kützing) Grunow		X			X
Aulacoseira ambigua (Grunow) Simonsen f.japonica Tuji & Williams			X		
Aulacoseira granulata (Ehr.) Simonsen			X		
Aulacoseira granulata (Ehr.) Simonsen var. angustissima O.Müller)Simonsen			X		X
Cavinula sp.	X				
Cocconeis euglypta Ehrenberg emend Romero & Jahn	X	X			X
Cocconeis placentula Ehrenberg	X	X			X
Cocconeis placentula Ehrenberg var.lineata (Ehr.)Van Heurck	X	X			X
Cocconeis pseudolineata (Geitler) Lange-Bertalot	X				
Cyclostephanos dubius (Fricke) Round		X			X
Cyclotella atomus var. gracilis Genkal & Kiss	X				
Diatoma tenuis C. Agardh			X	X	X
Discostella pseudostelligera (Hustedt) Houk et Klee					X
Encyonema minutum (Hilse in Rabh.) D.G. Mann in Round Crawford & Mann		X			X
Encyonema silesiacum (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann			X		X
Encyonema ventricosum (Agardh) Grunow in Schmidt & al.		X			X
Encyonema vulgare Krammer var. vulgare					X
Eolimna subminuscula (Manguin) Moser Lange-Bertalot & Metzeltin		X			
Eunotia bilunaris (Ehr.) Mills	X				
Eunotia minor (Kützing) Grunow in Van Heurck	X				
Fragilaria crotonensis Kitton					X
Fragilaria gracilis Østrup	X				X
Fragilaria grunowii (Pantocsek) F.W. Mills					X
Fragilaria pararumpens Lange-Bertalot, Hofmann & Werum in Hofmann & al.			X		
Fragilaria saxoplanctonica Lange-Bertalot & Ulrich					X
Fragilaria vaucheriae (Kützing) Petersen		X			X
Frustulia saxonica Rabenhorst	X				

Gomphonema acuminatum Ehrenberg			X		
Gomphonema angustatum (Kützing) Rabenhorst	X				
Gomphonema bourbonense E. Reichardt et Lange-Bertalot	X				
Gomphonema exilissimum (Grun.) Lange-Bertalot & Reichardt			X		X
Gomphonema graciledictum E.Reichardt			X		
Gomphonema lagenula Kützing					X
Gomphonema minutum (Ag.) Agardh f. minutum					X
Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing	X	X			X
Gomphonema pumilum var. rigidum Reichardt & Lange-Bertalot	X	X			X
Gomphonema sp.		X			X
Gomphonema subclavatum Grunow					X
Gomphonema truncatum Ehrenberg			X		
Gyrosigma sciotoense (Sullivan et Wormley) Cleve	X				
Karayevia clevei (Grunow) Bukhtiyarova			X		
Karayevia oblongella (Oestrup) M. Aboal	X	X			
Luticola sp. (aff. mutica)					X
Melosira varians Agardh	X	X	X		X
Navicula cryptocephala Kützing	X	X			
Navicula cryptotenella Lange-Bertalot					X
Navicula germainii Wallace	X				
Navicula gregaria Donkin	X	X			X
Navicula lanceolata (Agardh) Ehrenberg	X	X			
Navicula rhynchocephala Kützing	X				
Navicula trivialis Lange-Bertalot		X			
Nitzschia amphibia Grunow					X
Nitzschia archibaldii Lange-Bertalot					X
Nitzschia costei Tudesque, Rimet & Ector			X		X
Nitzschia dissipata (Kützing) Grunow ssp.dissipata	X				X
Nitzschia fonticola Grunow in Cleve et Möller		X			
Nitzschia gracilis Hantzsch	X				
Nitzschia linearis (Agardh) W.M.Smith	X				
Nitzschia media Hantzsch.	X				X
Nitzschia palea (Kützing) W.Smith	X	X			X
Nitzschia palea (Kützing) W.Smith var.debilis(Kützing)Grunow in Cleve & Grunow	X				X
Nitzschia paleacea (Grunow) Grunow in Van Heurck	X	X			
Nitzschia parvula W.M.Smith	X				
Nitzschia recta Hantzsch in Rabenhorst	X	X			
Nitzschia rectiformis Hustedt	X	X			X
Nitzschia sociabilis Hustedt					X

Nitzschia sp.					X
Nitzschia subacicularis Hustedt in A.Schmidt et al.					X
Nitzschia subtilis Grunow in Cleve et Grunow		X			X
Nitzschia supralitorea Lange-Bertalot	X	X			
Parlibellus protractoides (Hustedt) Witkowski & Lange-Bertalot	X	X			
Placoneis ignorata (Schimanski) Lange-Bertalot	X				
Planothidium delicatulum(Kütz.) Round & Bukhtiyarova	X	X			
Planothidium frequentissimum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot	X	X			
Planothidium lanceolatum (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	X	X	X		X
Reimeria sinuata (Gregory) Kociolek & Stoermer	X				
Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bertalot					X
Sellaphora atomoides Wetzel & Van de Vijver	X	X			
Sellaphora nigri (De Not.) C.E. Wetzel et Ector	X	X			X
Sellaphora saugerresii (Desm.) C.E. Wetzel & D.G. Mann in Wetzel et al.	X	X			
Staurosira venter (Ehrenberg) Cleve & Moeller		X			X
Staurosirella ovata Morales	X				
Stephanodiscus hantzschii Grunow in Cleve & Grunow					X
Surirella crumena Brebisson ex Kützing	X				
Surirella lacrimula English	X	X			X
Ulnaria biceps (Kützing) Compère			X		X