Effets des arasements sur les communautés animales et végétales de la Sélune : avancement des travaux 2014-2015

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

▶ **To cite this version:**

Marion Chorin, Alexandrine Pannard, Laura Pellan, C. Piscart, Caroline Gorzerino, et al.. Effets des arasements sur les communautés animales et végétales de la Sélune : avancement des travaux 2014-2015. [Rapport de recherche] Agence de l'Eau Seine-Normandie. 2016, pp.26. hal-03378409

HAL Id: hal-03378409
https://hal.inrae.fr/hal-03378409

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

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

Avancement des travaux 2014-2015

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

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

Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes (CNRS) :
Guillaume Bouger

1. Rappel du contexte et des 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, 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.

2. Rappel des objectifs pour la phase pré-arasement (2014-2018)

A l'échelle du cours principal de la Sélune, il s'agit de:
- Réaliser des états de référence de la qualité biologique de la Sélune en différents points de son bassin versant 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).
- Décrire les évolutions saisonnières des communautés (phytoplancton et périphyton, invertébrés et macrophytes) en lien avec la qualité de l'eau.
- 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).
- Identifier les risques (exposition aigüe) pendant les travaux de curage des boues contaminées de l'Yvrande réalisés entre 2016 et 2017 (les dates n'étant pas encore définies).
- Caractériser les taux de transfert de ces contaminants dans les compartiments biologiques (microalgues, macrophytes et invertébrés).

3. Opérations prévues durant la phase de pré-arasement

3.1 Rappel des tâches prévues initialement

Le déroulement des opérations de terrain et des travaux en laboratoire prévues initialement (Tableau I).

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

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

3.2 Opérations réalisée depuis septembre 2014

L'ensemble des échantillonnages prévus en 2014 et 2015 (voir tableau I) a pu être réalisé à l'exception de la caractérisation des macrophytes à l'automne 2014 qui n'a pu être réalisée car le report du traitement de notre demande de financement par l'AESN de septembre 2014 à février 2015 n'a pas permis la réalisation de cette campagne au cours de la période propice à l'échantillonnage des macrophytes (Juin-Octobre).
Un suivi plus important que prévu pour les macrophytes a été réalisé sur 14 stations de la Sélune déjà échantillonnées en 1996 et ré-échantillonnée en 2015 pour suivre une tendance à moyen terme des communautés végétales sur la Sélune.

De même les travaux de laboratoire visant à développer des biomarqueurs de stress prévus ont été initiés en 2015 avec les travaux de Master 2 de Youn HENRY avec des résultats très encourageants.

4. Partenaires scientifiques impliqués et évolution

Le projet RT regroupe actuellement 6 personnes de deux Unités Mixtes de Recherche : Ecobio (CNRS-Université de Rennes 1) et Ecologie et Santé des Ecosystèmes (INRA-Agrocampus Ouest à Rennes) auxquels s'ajoute Guillaume Bouger de l'Observatoire des Science de l'Univers de Rennes (OSUR). Ce projet a débuté de manière effective au troisième trimestre 2014 même si la convention n'a été accordée qu'en février 2015. En Septembre 2015, 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.

5. Premiers résultats obtenus

5.1 Caractéristiques physico-chimiques des stations de la Sélune

Chaque mois, les conditions physico-chimiques du milieu ont été caractérisées à chaque station en termes de température, conductivité, pH, oxygène dissous et turbidité, grâce à une sonde multiparamétrique (Tableau II). Des prélèvements d'eau ont également été effectués afin d'analyser les concentrations en nitrates, silicates, azote total et phosphore total dissous et particulaires. L'ensemble des sorties de 2014 et 2015 a permis de réaliser 60 profils physico-chimiques.

Table II. Synthèse des sorties réalisées en 2015

	DATE	**station**		**DATE**	**station**
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

Les valeurs des paramètres physico-chimiques obtenus par la sonde multiparamétrique dans les 50 premiers centimètres de la lame d'eau (Figure 1) mettent en évidence de fortes différences dans les paramètres physico-chimique entre les sites. La physicochimie à l'amont des retenues (St Hilaire) diffère fortement des sites à proximité des barrages (Vezins et la Roche qui Boit) par la température, la Chlorophylle *a* et, dans une moindre mesure la conductivité. Le site de St Hilaire est également marqué par une forte valeur de turbidité. . Le site localisé à l'amont de la retenu de Vezins (République) possède des valeurs intermédiaires à celles du site amont et des sites des barrages. Le site aval (Signy) se rapproche en terme de physico-chimie des sites amont (St Hilaire et République) mais reste très proche des valeurs de la Roche qui Boit, traduisant ainsi une forte influence des barrages sur les paramètres physico-chimiques, même à l'aval des barrages.

Les paramètres physico-chimiques varient également entre les deux sites des barrages avec une température et une teneur en Chlorophylle *a* plus importante à Vezins qui s'explique probablement par un temps de résidence plus long dans cette retenue.

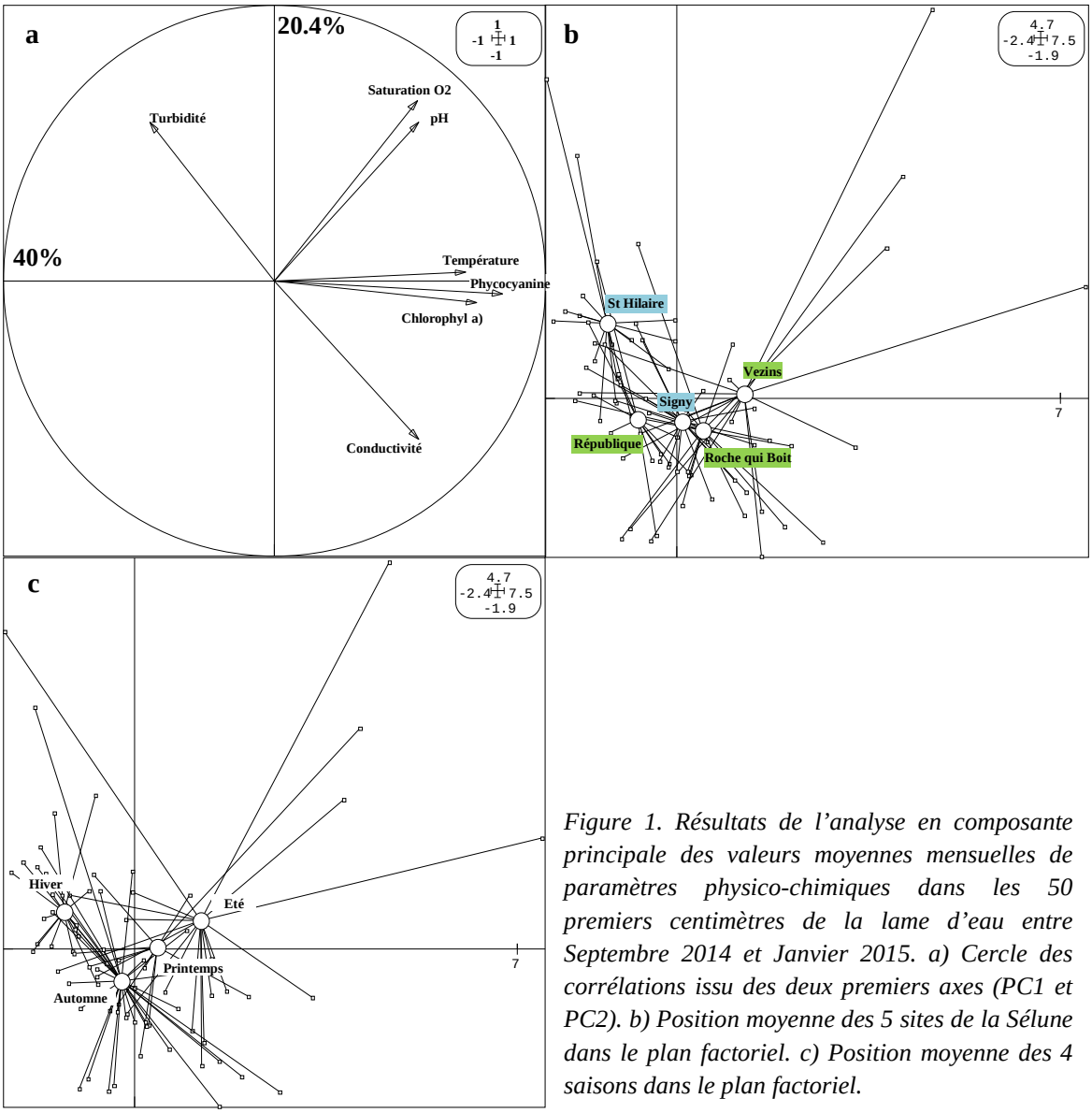

Figure 1. Résultats de l'analyse en composante principale des valeurs moyennes mensuelles de paramètres physico-chimiques dans les 50 premiers centimètres de la lame d'eau entre Septembre 2014 et Janvier 2015. a) Cercle des corrélations issu des deux premiers axes (PC1 et PC2). b) Position moyenne des 5 sites de la Sélune dans le plan factoriel. c) Position moyenne des 4 saisons dans le plan factoriel.

Le principal paramètre physico-chimique discriminant les sites d'eau courante et les sites des retenues semble être la température qui est plus élevée dans les sites des retenues au printemps et en été (Figure 2) avec des valeurs minimales en février et maximales en Juillet.

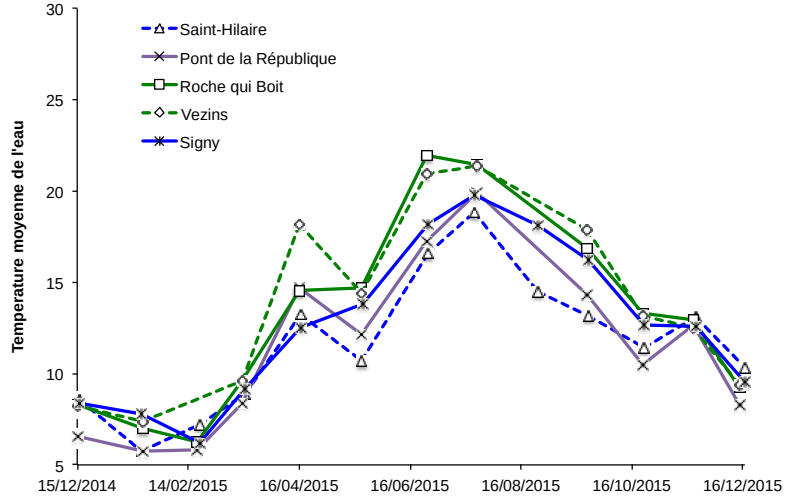

Figure 2. Valeurs moyennes mensuelles de température dans les 50 premiers centimètres de la lame d'eau entre décembre 2014 et Décembre 2015.

Du point de vue des nutriments (Figure 3), les teneurs en phosphore totale sont très élevées à chaque date avec des pics très élevées dépassant 90 $mg.L^{-1}$ en été 2015 sur les stations amont (St Hilaire et République). Les teneurs en nitrate sont moyennes et comprises entre 15 et 35 $mg.L^{-1}$ avec une baisse importante en été, probablement liée à une fixation des nitrates par les phytoplanctons et les macrophytes. Toutefois, l'influence des retenues semble négligeable sur les teneurs en nutriment (phosphore total et nitrate).

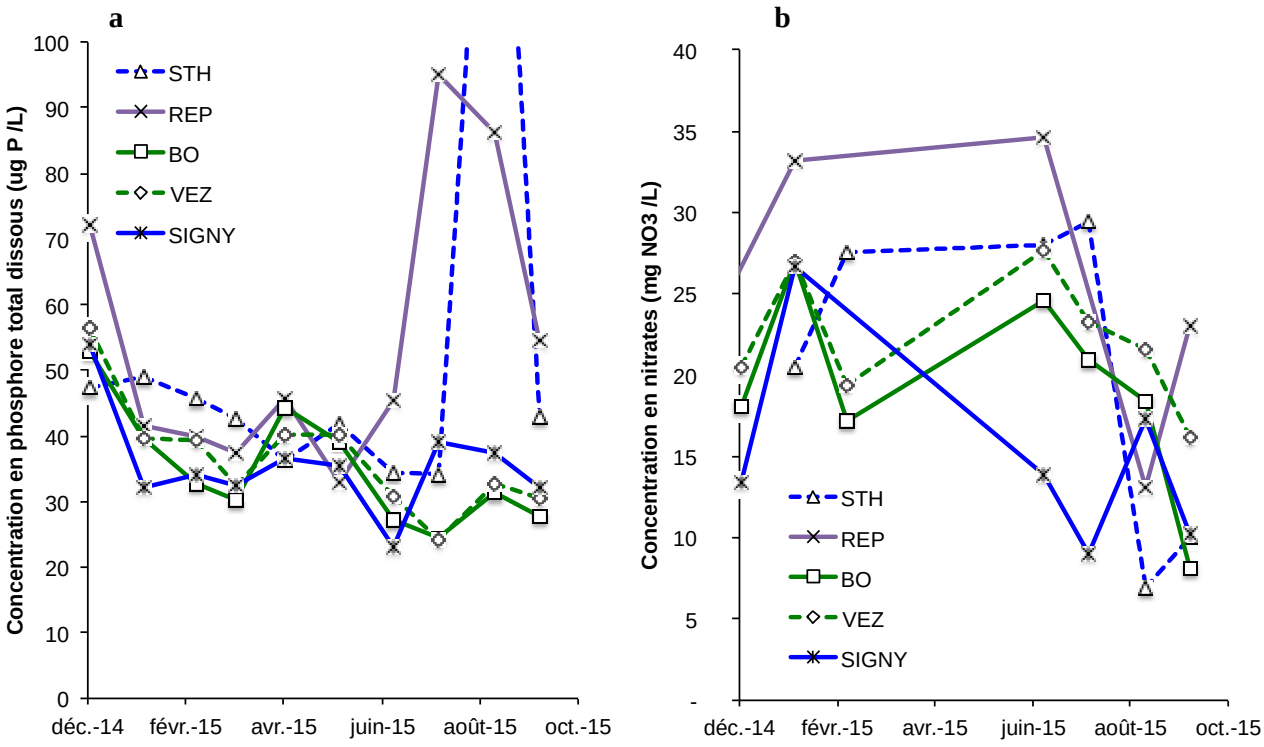

Figure 3. Valeur moyennes en phosphore total (a) et en nitrate (b) mesurées sur les 5 stations entre Décembre 2014 et Octobre 2015.

5.2 Caractérisation des communautés de macrophytes

Lors de cette étude, nous nous sommes attachés à (i) caractériser la végétation sur les 5 stations pilotes dans la zone d'influence des barrages (3 à l'intérieur des retenues, une en amont et une en aval) et (ii) à évaluer l'évolution des communautés végétales sur 14 stations depuis près d'une vingtaine d'années (un travail initial ayant été réalisé sur le cours principal de la Sélune en 1996).

- *Caractérisation des biocénoses aquatiques végétales sur les 5 stations pilotes*

Il s'agit donc de caractériser les biocénoses aquatiques végétales en place, en terme de structure de communautés et d'évaluation la qualité trophique du milieu révélée *via* l'Indice Biologique Macrophytique en Rivière. 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 (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 linéaires, positionnés de manière à maximiser la diversité macrophytique (secteurs lotiques, en partie éclairés). Les 3 sites à l'intérieur des retenues 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 d'abondance sur la station et de taxonomie.

Les inventaires de terrain (relevés de végétation) ont été réalisés au cours du mois de juillet 2015, 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). Un total de 29 taxons ont été observés (Annexe 1)

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 (*Ranunuculo-Callitrechetum hamulatae*).

Le site amont (à Saint Hilaire du Harcouët) 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 de l'étiage sur la partie amont. 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 ; Figure 4). Les autres groupes taxonomiques (algues et bryophytes) sont diversifiés de la même manière entre ces deux sites. La flore de ces deux sites est finalement diversifiée (une quinzaine d'espèces, voir Annexe 1) et équilibrée entre groupes taxonomiques.

L'hydrologie contrastée du site aval entraine une limitation du développement des phanérogames immergés (10% de recouvrement versus 64% en amont), 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). Le Potamot crépu (espèce plutôt retrouvée en plans d'eau, pouvant y être proliférante) y est présent en faible quantité et résulte d'une échappée des retenues, probablement au même titre que la cyanobactérie *Phormidium sp*.

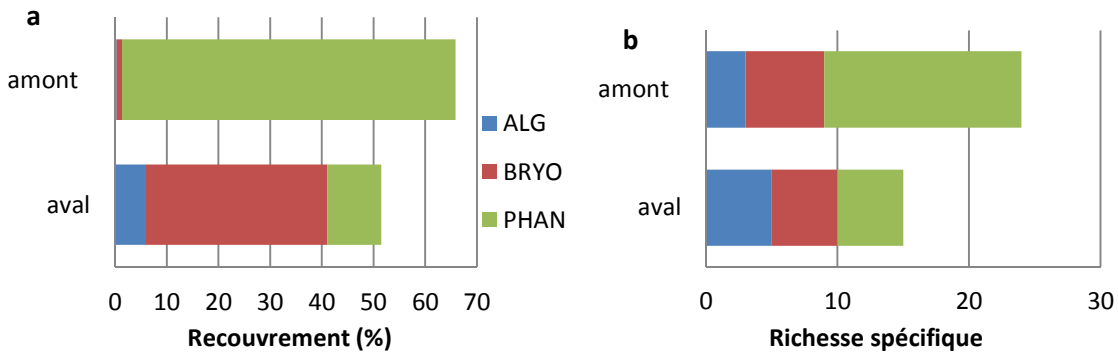

Figure 4 : Répartition des différents groupes taxonomiques de macrophytes sur le cours principal de la Sélune (amont et aval des retenues) en 2015 ((a) abondance et (b) richesse spécifique)

L'Indice Biologique Macrophytique en Rivière n'indique pas de dégradation trophique en aval des barrages, les notes obtenues (10.5 en aval versus 10.7 en amont) ne variant pas au-delà d'un demi-point (voir Figure). Toutefois, l'analyse des peuplements met en évidence un plus fort développement d'algues polluo-tolérantes (*Oedogonium sp*. et *Cladophora sp*.) et la perte de la bryophyte polluo-sensible *Chiloscyphus polyanthos* (présence détectée en faible recouvrement en amont) en aval, indiquant une légère dégradation du milieu.

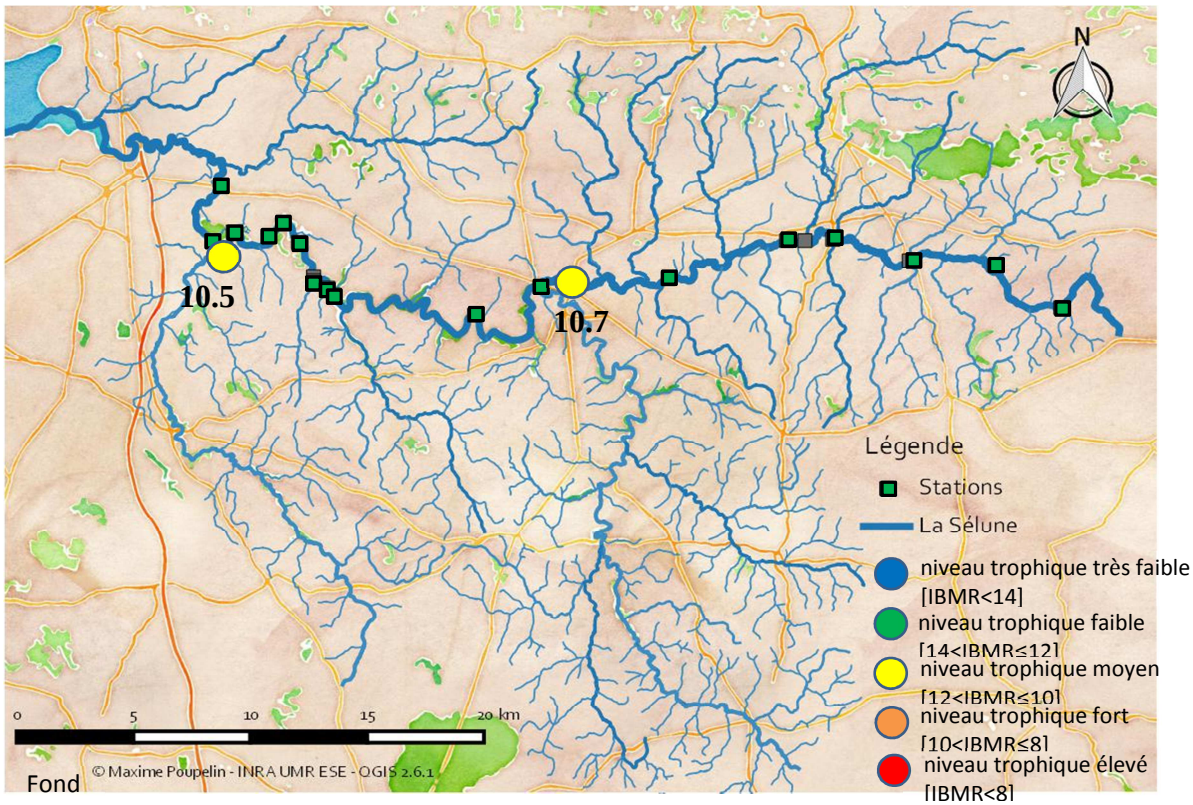

Figure 5 : Notes IBMR des différents sites étudiés sur le cours principal de la Sélune en 2015

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 2016, le suivi de ces végétations sera repris sur deux campagnes, printanière et automnale, afin d'identifier l'impact de la variabilité saisonnière.

- *Suivi historique*

Le suivi historique a été réalisé sur 14 stations du cours principal de la Sélune (Figure 5) entre le printemps et l'été 2015. Les données sont actuellement en cours de traitement mais les premières analyses semblent indiquer une tendance à la dégradation de la qualité de l'eau sur une vingtaine d'années.

5.3 Caractérisation des communautés de phyto- et zoo-plancton

La biomasse de phytoplancton a été mesurée *in situ* grâce à une sonde de fluorescence (Idronaut) et grâce à des dosages en laboratoire de la chlorophylle *a*. Les peuplements planctoniques ont été fixés au lugol acide et conservés à l'obscurité et à 4°C. La structure des communautés phytoplanctoniques est déterminée par comptage au microscope optique. Les densités d'espèces dans la colonne d'eau sont exprimées en unité de cellule par mL (nombre de cellules mL^{-1}).

Figure 6. Lames colonisées par le périphyton

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 6) à chaque station afin d'échantillonner le périphyton de manière standardisée et ainsi faciliter la comparaison inter-sites. Pour les 2 stations de rivière, 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 (Figure 6), 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 abondances des espèces de périphyton et mesure de l'activité photosynthétique et de la composition principale diatomées/algues vertes/cyanobactéries au Phyto-PAM. 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 biomasse et la composition du zooplancton sont également 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.

Les premiers résultats montrent que la biomasse de phytoplancton était minimale en janvier, puis a rapidement augmenté dans les barrages et à la station lotique aval des barrages (Signy ; Figure 7). La biomasse de phytoplancton a suivi au cours de l'année une courbe en cloche (rayonnement solaire saisonnier) avec 2 chutes, une en juin et une en septembre (Figure 7). Le premier déclin pourrait être induit par le zooplancton (comptages en cours), le second par le zooplancton et/ou par une chute du temps de résidence de l'eau dans les barrages. Les comptages de zooplancton sont en cours, mais montrent déjà une forte augmentation au printemps. L'analyse du niveau d'eau couplée à la chronique de pluie aidera à valider ou invalider cette hypothèse.

Un pic de biomasse de phytoplancton à Saint-Hilaire (également mis en évidence au phyto-PAM) a été observé fin août (Figure 7), conjointement à un pic du phosphore total dissous (162 µg $P.L^{-1}$; Figure 9a). Ces valeurs pourraient s'expliquer par le fait que l'échantillonnage a été réalisé pendant une crue. Hormis cette date, la biomasse de phytoplancton en amont des barrages est restée faible.

La biomasse de phytoplancton à l'aval des barrages (Signy) montre une dynamique similaire à celles des barrages (Figure 7). La concentration en chlorophylle dans les stations lotiques est ainsi multipliée par 4 en moyenne par la présence des barrages.

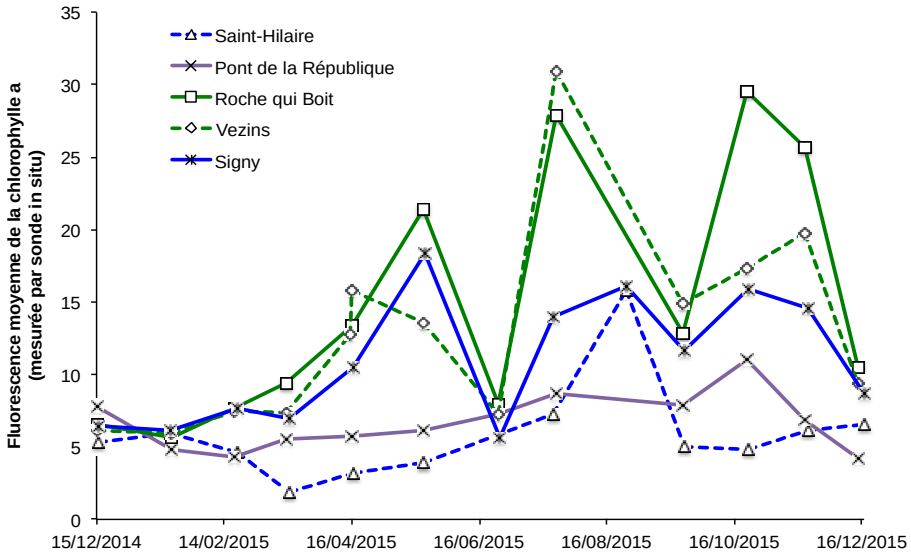

Figure 7. Effet des barrages sur la biomasse (fluorescence associée à la chlorophylle a mesurée in situ)

La présence des barrages influence également le zooplancton. Les 3 groupes, rotifères, cladocères et copépodes, étaient absents de la station amont Saint-Hilaire (Figure 8). Ils augmentent fortement dans les barrages au printemps et disparaissent à la station aval Signy (Figure 8). Une liste faunistique est fournie en annexe 3.

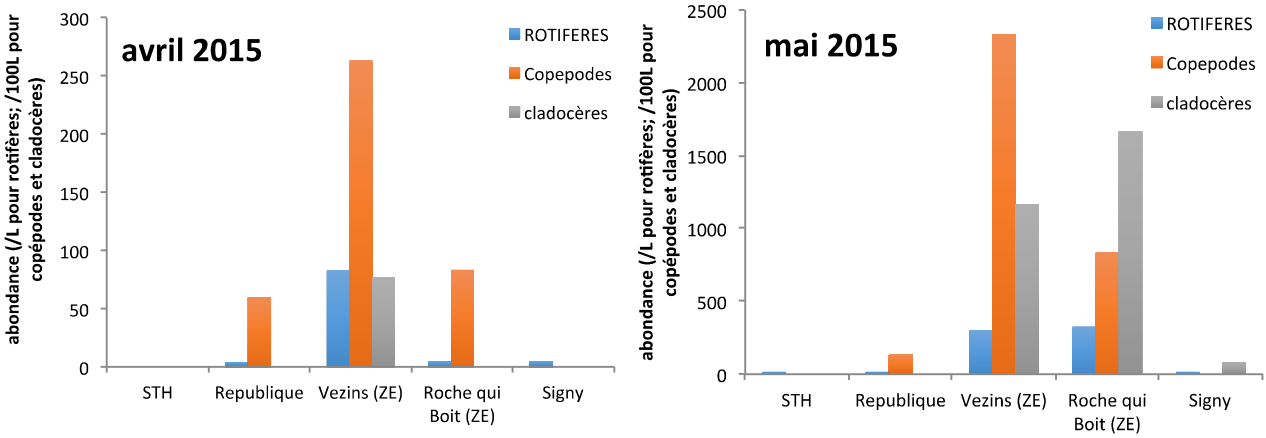

Figure 8. Abondance du zooplancton aux 5 stations en avril et mai 2015.

Les concentrations en phosphore total dissous sont restées élevées toute l'année avec des valeurs entre 30 et 60 µg P/L en moyenne pour les différentes stations (Figure 3a). Les nitrates varient entre 15 et 30 mg NO3 /L, avec des minimums à 7 (Figure 3b). Un bloom de cyanobactéries très important a été observé en fin d'été juste à l'aval de notre station de République (Figure 9), or il est connu dans la littérature que le phosphore favorise les cyanobactéries (et les formes toxiques).

Figure 9. Photographies du Bloom prise entre le Pont de Virey et le Pont de la république le 27 Août 2015

Les deux barrages ont montré une stratification thermique saisonnière, avec un mélange complet en février (Figure 10). La distribution verticale de la biomasse de phytoplancton montre un maximum dans la zone de mélange (Figure 11). Deux pics ont été observés, l'un au printemps (fin avril) et le second pendant l'été (juillet-aout).

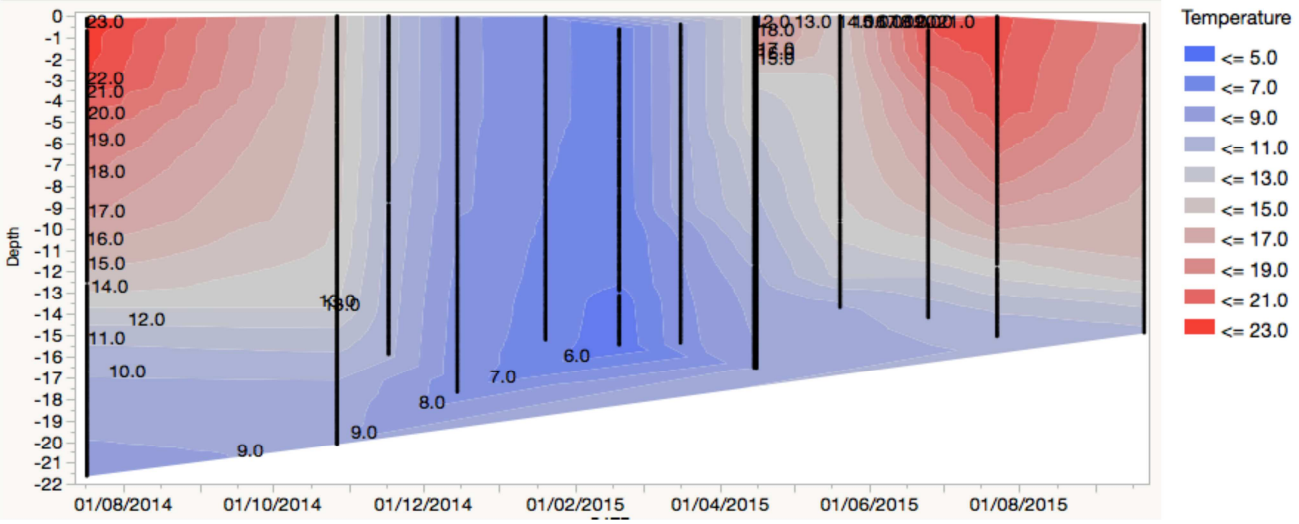

Figure 10. Isoclines de température, en fonction de la profondeur et du temps

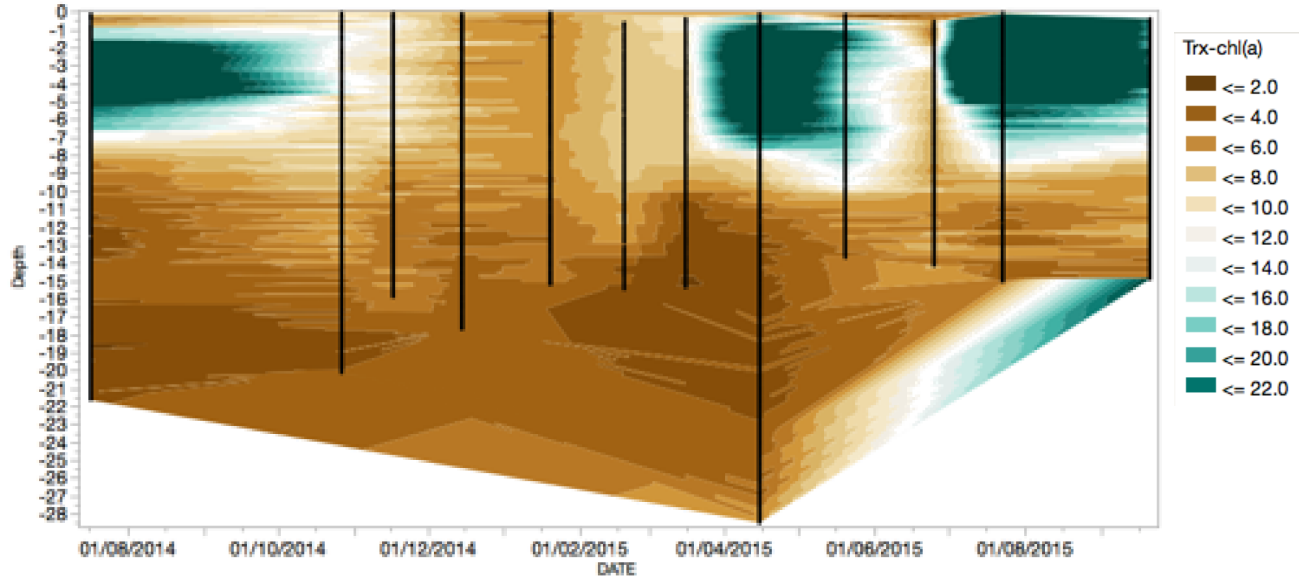

Figure 11. Isoclines de fluorescence, en fonction de la profondeur et du temps. La coloration vert foncé indique une biomasse élevée de phytoplancton (Barrage de Vezins).

Une analyse factorielle des correspondances a été réalisée sur les comptages effectués (juillet 2014 à juin 2015 ; Figure 12). Cette analyse met en évidence une succession saisonnière du phytoplancton, avec des diatomées et Chrysophycées au printemps (pic1, Figure 12), des chlorophycées en début d'été, suivi de cyanobactéries en fin d'été et début d'automne (pic 2, Figure 12). Les stations restent regroupées, mettant en évidence l'aspect saisonnier prépondérant pour les communautés de phytoplancton. Une liste floristique est fournie en annexe 2.

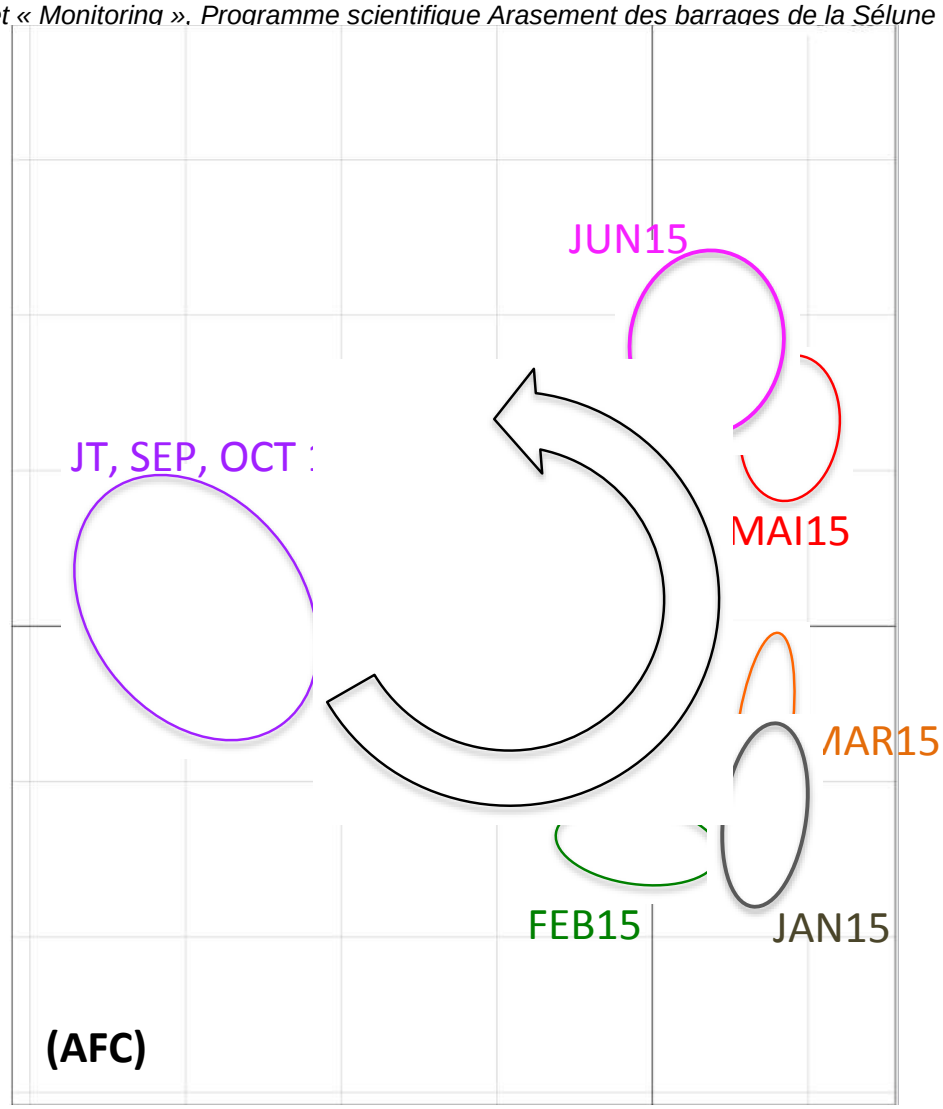

Figure 12. Analyse Factorielle des Correspondances du phytoplancton en fonction des dates et stations.

Le biofilm est dominé par la matière minérale dans les stations lotiques et à République, alors que le biofilm organique prédomine dans les deux barrages (Figure 13, gauche). La station République, qui est intermédiaire entre le lotique et le lentique, montre donc une plus grande similitude avec les stations lotiques que lentiques. Son biofilm est cependant différent en terme de composition, avec une dominance des chlorophycées (Figure 13, droite). Les principaux groupes de phytoplancton et de périphyton présentent des pigments accessoires spécifiques (exemple la phycocyanine chez les cyanobactéries). Les différents groupes peuvent donc être distingués grâce à leur spectre d'absorption, en utilisant un phyto-PAM. L'analyse phyto-PAM du périphyton montre un biofilm plus riche en biomasse et plus diversifié en groupe taxonomique dans les barrages que dans les stations lotiques et République (Figure 13, droite). En terme de composition, la proportion de cyanobactéries augmente dans les barrages, par rapport aux stations de rivière et République (Figure 13).

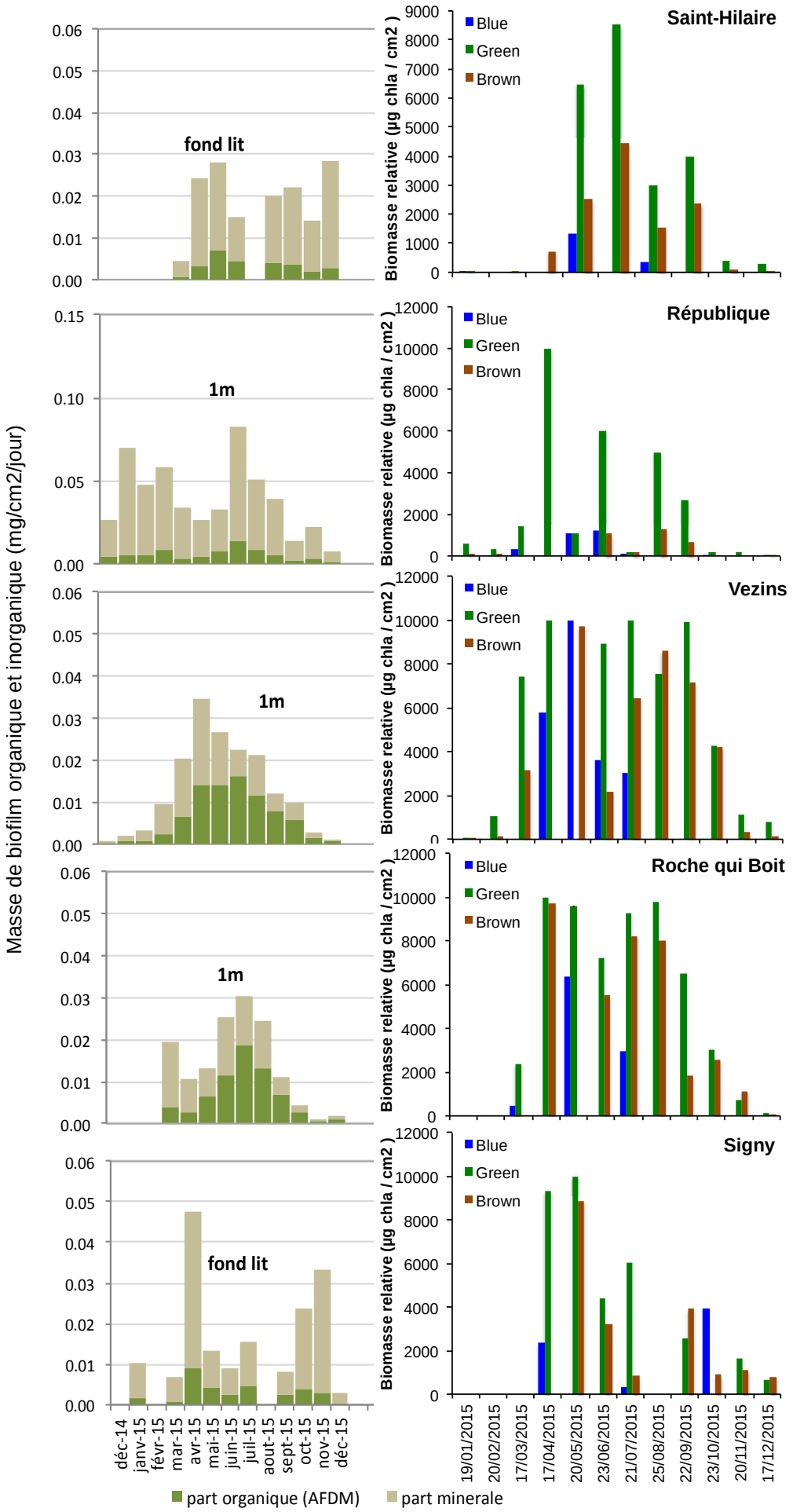

Figure 13. (à gauche) Masses organique et inorganique de biofilm ; (à droite) Biomasses relatives des principaux groupes de périphyton, en fonction des dates et stations.

5.4 Caractérisation des communautés de macroinvertébrés benthiques

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

Pour chaque site, nous avons également utilisé quatre substrats artificiels constitués par 5L de galets ont été utilisés pour déterminer la structure des communautés d'invertébrés. Cette méthode a été retenue afin de limiter l'effet substrat dans la comparaison inter-site.

Les résultats des prélèvements Surber de la campagne d'octobre 2014 montrent que la structure des communautés d'invertébrés de la Sélune varie significativement entre les sites avec une baisse très importante de la diversité de Shannon (Figure 15a) et de la richesse taxonomique (Figure 15b) dans les retenues par rapport aux sites amont (St Hilaire) et aval (Signy).

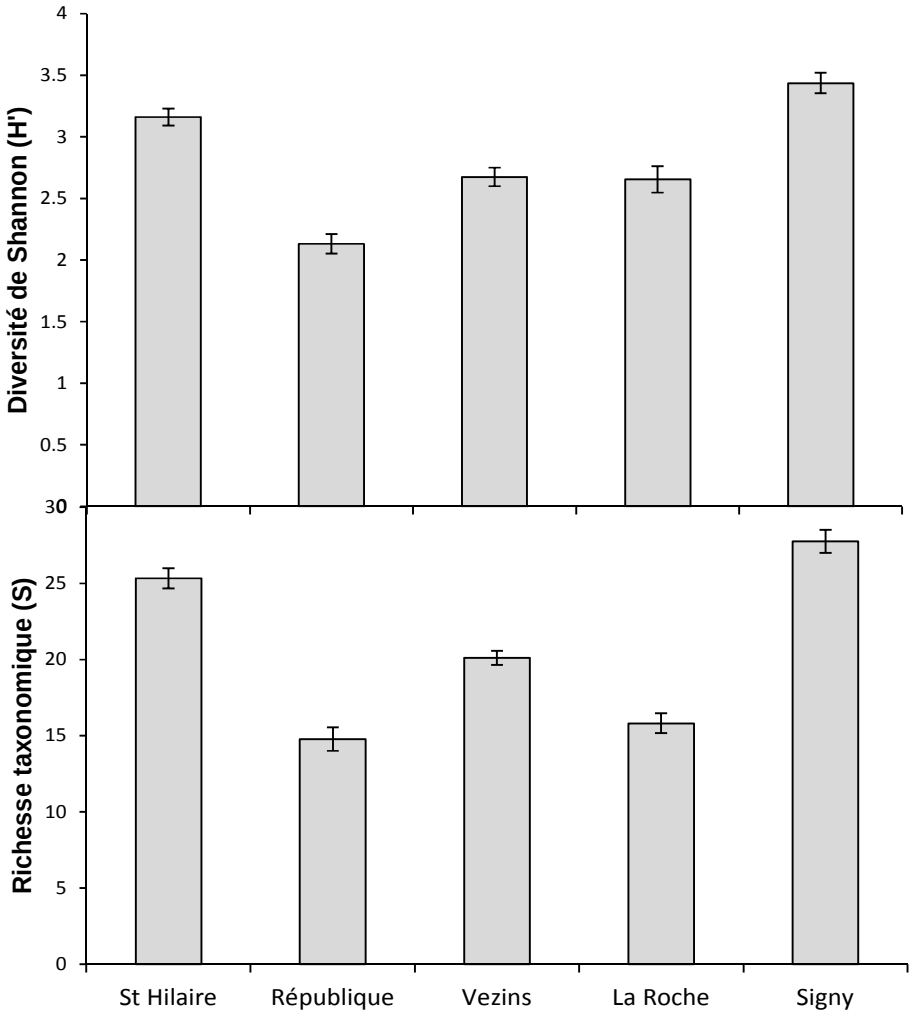

Figure 15. (a) Diversité de Shannon et (b) richesse taxonomiques moyennes (± écartype) obtenues par la campagne d'échantillonnage au filet Surber en automne 2014.

Les résultats obtenus par les substrats artificiels confirment globalement les résultats des échantillons Surber (Figure 16) avec une baisse atteignant jusqu'à 42% 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 du à la modification des substrats (qui elle est homogène dans les substrats artificiels) mais plus globalement à un appauvrissement du nombre d'espèce présentes.

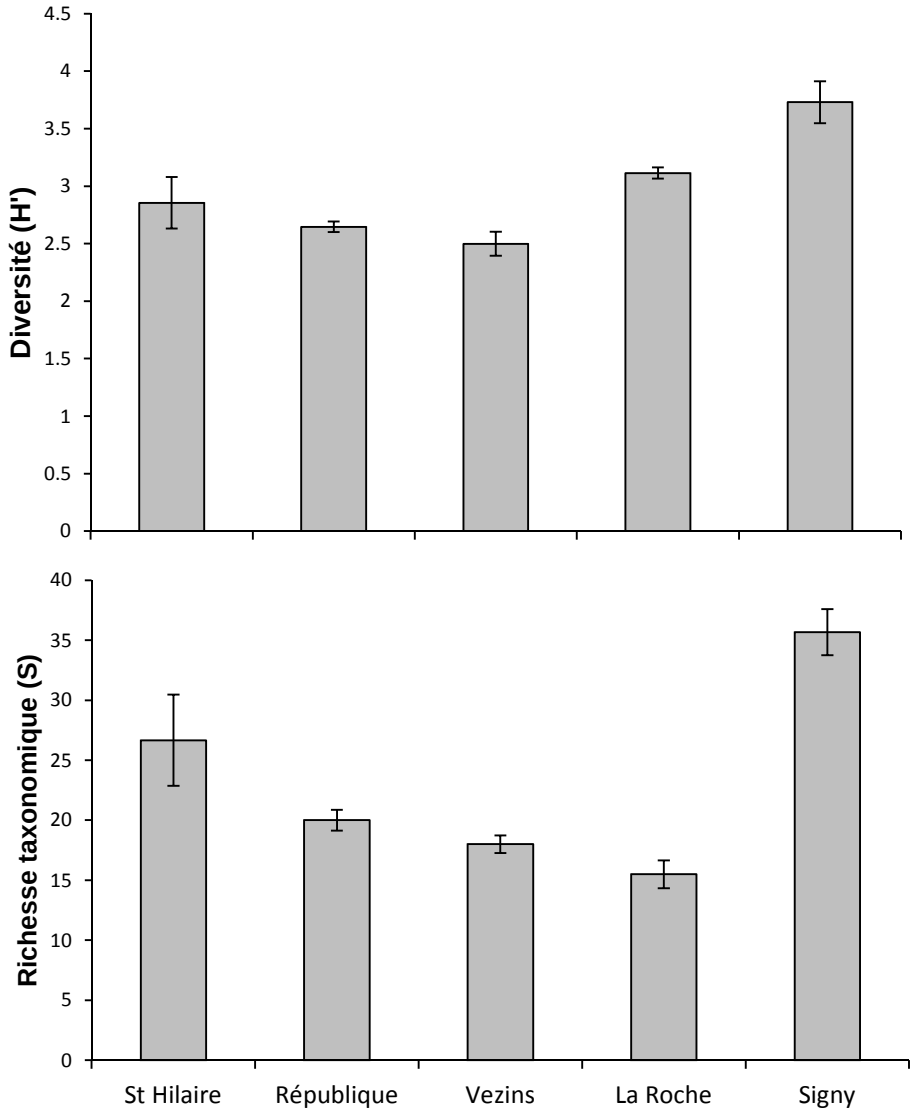

Figure 16. (a) Diversité de Shannon et (b) richesse taxonomiques moyennes (± écartype) obtenues par la campagne d'échantillonnage à l'aide de substrats artificiels en automne 2014.

Du point de vue de la composition des communautés d'invertébrés, nous avons réalisée des analyses multivariées du type non-metric multidimensional scaling (NMDS) permettant de mettre en évidence la similarité des communautés d'invertébrés entre les sites suivis à l'automne 2014 (Figure 17).

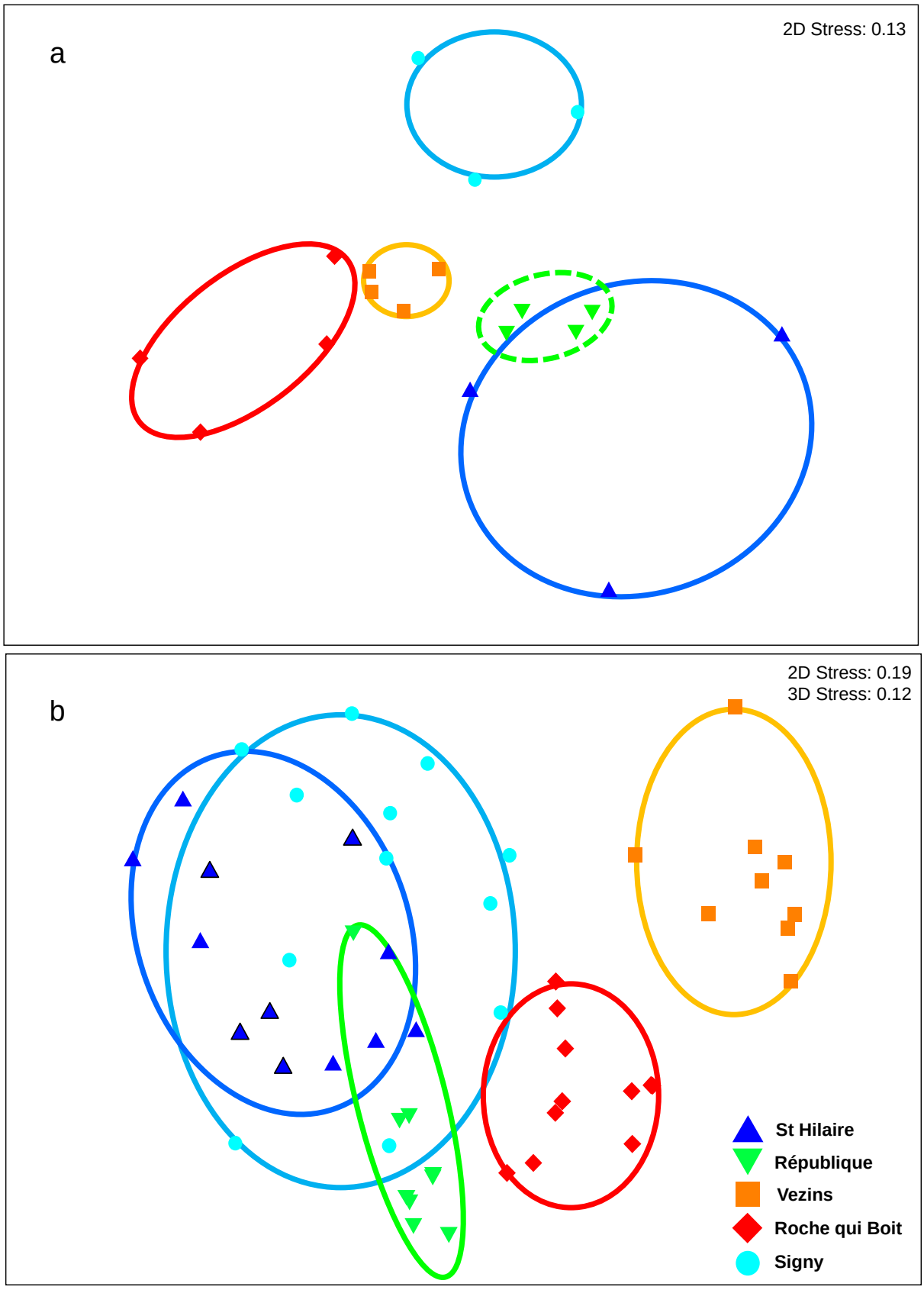

Figure 17. Composition des communautés d'invertébrés à l'automne 2014 dans les dans les substrats artificiels (a) et dans les Surber (b).

Ces résultats confirment les effets des barrages sur la structure des communautés tels que mis en évidence par l'évolution des indices de richesse et de diversité (Figures 15 et 16). La composition des communautés évolue entre l'amont des barrages (St Hilaire) et les retenues, le site de Vezins étant le plus différent du site amont dans les prélèvements Surber alors que c'est le site de la Roche qui Boit qui est le plus différent si on prend en compte les substrats artificiels. La composition des communautés à l'aval des barrages (Signy) tend à revenir à la composition du site amont (surtout dans les prélèvements Surber, Figure 17a), mais des différences restent encore relativement importantes, en particulier dans les substrats artificiels (Figure 17b).
C'est premiers résultats seront à confirmer par le traitement des échantillons des campagnes suivantes (printemps et Automne 2015) ainsi que par les campagnes de 2016 qui permettront de prendre en compte la variabilité inter-annuelle.

6. Bilan des tâches restantes

Une partie des analyses n'ont pu être terminées en 2015 et devront être poursuivies pour être terminées courant 2016 (Tableau III).

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

	Paramètres	**Fait**	**en cours**
paramètres physico-chimiques	profil multiparamétrique	Fait	
	dosages des nutriments	janvier à novembre	décembre
Macrophyte	Recouvrement et richesse	Fait sur les 5 sites de la Sélune	Les 14 sites suivis en 1996
phytoplancton	activité photosynthétique	Fait	
	biomasse (chlorophylle a)	janvier à juin	juillet à décembre
	composition et abondance	janvier à juin	juillet à décembre
périphyton	activité photosynthétique	Fait	
	biomasse (chlorophylle a)		janvier à décembre
	biomasse (poids sec sans cendre)	Fait	
	composition et abondance		janvier à décembre
zooplancton	composition et abondance	janvier à juin	juillet à décembre
Macroinvertébrés	Tri et détermination	Fait pour Oct. 2014, Mars 2015 partiellement	Oct 2015
	Développement de bioindicateurs pour des stress aigus	La méthode a été développée en condition de laboratoire mais reste à tester en conditions naturelles	

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

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

Annexe 2. Liste des micro-algues de la Sélune

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

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

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

Annexe 3. Liste des invertébrés zooplanctoniques de la Sélune

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

Annexe 4. Liste des macroinvertébrés benthiques de la Sélune

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

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

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