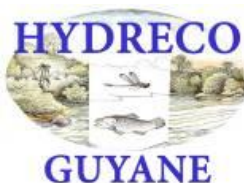


Etude comparative des méthodes d'échantillonnage de la macrofaune benthique au filet Troubleau et au filet Surber sur le réseau hydrographique de Guyane française

Stage effectué du 1er mars 2016 au 31 juin 2016 au Laboratoire Hydreco Guyane sous la direction scientifique de Mme BOUVIER Delphine

LE PAGE Pauline



"Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil"

Remerciements

Je tiens à remercier dans un premier temps, Régis Vigouroux et Philippe Cerdan de m'avoir accueilli dans leur entreprise. Et bien entendu ma maître de stage, Delphine Bouvier, pour cette opportunité et la confiance qu'elle m'a accordé.

Je remercie aussi Simon Clavier pour ses conseils et son aide tout au long de mon stage.

Merci à l'ensemble du personnel et des stagiaires d'Hydreco Guyane pour l'accueil sympathique et chaleureux et l'ambiance conviviale dont ils ont pu faire preuve.

Un gros merci à mon Bro' Tourangeau pour les très bons moments passés ensemble et à Charlène pour toutes ces aventures guyanaises pleines de rebondissements.

Merci à mes parents de m'avoir permis de vivre tous ces moments en Guyane.

Et enfin, merci à toutes les Fanm Djok pour leur accueil au sein de leur équipe de pirogue, à Latti et Jah pour les nombreux repas festifs qu'ils ont organisés et à Maya qui m'a offert un toit pour mon dernier mois en Guyane.

Avant – propos

En 1990, à la demande d'EDF, le bureau d'études privé Hydreco met en place un laboratoire de terrain sur le site de Petit Saut en Guyane française afin :

- d'établir un état de référence de la qualité des eaux du fleuve Sinnamary et de son bassin versant, avant la mise en eau du barrage ;
- de suivre la transformation de l'écosystème pendant et après la mise en eau (1994) : ennoisement de 365 km² de forêt primaire.

Le laboratoire dépend de l'Université de Provence jusqu'en 1998, puis est géré depuis Montpellier. En 2007, l'entreprise est rachetée par deux salariés qui en prennent la direction et est renommé Hydreco Guyane.

Le laboratoire assure maintenant une grande diversité de travaux pour les collectivités locales ou des entreprises de tous types dans le domaine de l'environnement guyanais notamment, mais aussi des Caraïbes (Martinique et Guadeloupe) et international (Laos, Guyana, Surinam, Brésil...).

Hydreco Guyane possède 3 grands domaines de compétences :

- la physico-chimie des eaux (eaux de surfaces et eaux interstitielles), des phases solides (sédiments) et du matériel biologique (mercure dans la chair des poissons en particulier) ;
- les poissons, invertébrés, planctons et benthos des milieux aquatiques continentaux et les insectes terrestres ;
- les écosystèmes tropicaux et leur gestion durable.

Sommaire

Introduction.....	1
1 Matériel et méthode	4
1.1 Stations échantillonnées	4
1.2 Protocole d'échantillonnage	4
1.2.1 Généralités	4
1.2.2 Outil d'échantillonnage.....	4
1.2.3 Choix de la station d'échantillonnage et protocole de prélèvement	6
1.3 Tri et détermination.....	7
1.4 Analyse descriptives des communautés	8
1.5 Métriques biologiques	8
1.5.1 Paramètres biologiques	8
1.5.2 Le SMEG	10
1.6 Traits biologiques.....	11
1.6.1 Le mode de déplacement	11
1.6.2 Le mode d'alimentation	11
1.7 Traitements des données	12
1.7.1 Analyses descriptives.....	12
1.7.2 Tests statistiques	12
2 Résultats.....	14
2.1 Temps de tri.....	14
2.2 Analyse Factorielle des Correspondances.....	14
2.3 Abondance.....	16
2.3.1 Abondance totale	16
2.3.2 Abondance relative	16
2.3.3 Abondance et proportion par substrat	16
2.4 Richesse taxonomique.....	18
2.5 Indice de Shannon	18
2.6 Equitabilité	18
2.7 SMEG.....	20
2.8 Richesse générique en Ephéméroptères	20
2.9 Le mode de déplacement.....	22
2.10 Mode d'alimentation.....	22
3 Discussion.....	23
Conclusion	26
Bibliographie.....	27
Résumé.....	29
Table des illustrations	30

Introduction

La Guyane est un territoire français situé en Amérique du Sud et ayant une superficie d'environ 84 000 km². Deux fleuves servent de frontières : l'Oyapock avec le Brésil à l'Est et le Maroni avec le Suriname à l'Ouest. C'est le plus grand département de France mais aussi le plus boisé avec 96% de forêt équatoriale sur le territoire.

Les précipitations annuelles s'élèvent en moyenne de 2000 à 4000 mm avec des variations géographiques marquées. Le climat subéquatorial divise l'année en une saison des pluies de janvier à juillet, entrecoupée d'accalmies, et une saison sèche le reste de l'année. La température moyenne est de 26°C avec une hygrométrie de 70% à 100%. Le relief est simple c'est-à-dire composé surtout de collines s'élevant de 100 à 200 m d'altitude (Comité de bassin, 2014).

De plus, la Guyane française est riche d'un réseau hydrographique très dense et diversifié. Avec onze grands fleuves et une multitude de petits cours d'eau, appelés « criques », plus de 110 000 km de linéaire de cours d'eau sont recensés (BD Carthage®) avec 854 masses d'eau (Comité de bassin, 2014).

Le réseau hydrographique est caractérisé par un panel de typologies diverses, cependant deux types de cours d'eau sont communément définis : les fleuves et les petites masses d'eau. Sur les fleuves de Guyane, plusieurs types d'habitats sont observés. Les sauts sont des ruptures de charge sur le cours d'eau et forment des zones de rapides. Dans ces zones, la profondeur diminue et la vitesse d'écoulement augmente. Les sauts sont donc considérés comme des milieux plus biogènes de par leur oxygénation et la présence d'une flore aquatique telle que des macrophytes podostomacées. Ils représentent néanmoins une infime partie du réseau hydrographique de Guyane. Les zones d'entre-sauts sont caractérisées par un écoulement lent, des profondeurs plus importantes et d'une homogénéisation des habitats. Les petites masses d'eau (PME) sont des cours d'eau non soumis au marnage de profondeur inférieure à 1 m et de largeur inférieure à 10 m. Elles représentent près de 75% du réseau hydrographique (Riera & Clavier, 2014).

Les cours d'eau guyanais sont le siège de nombreuses activités anthropiques (navigation, agriculture, orpaillage, rejets, etc.) qui peuvent perturber les écosystèmes aquatiques. Il est donc nécessaire d'effectuer une surveillance et un suivi de ces perturbations pour déterminer leurs effets, les limiter voir les réduire. Dans un souci de protection des ressources en eau, la DEAL (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) a ainsi initié dans les années 90 un programme de recherche afin d'établir des indices permettant de définir la qualité des cours d'eau.

Bien qu'ils soient situés en Amérique de Sud, les cours d'eau guyanais font partie intégrante de la France et donc sont soumis aux mêmes règles et protocoles. La Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE), du 23 octobre 2000, édifie un programme de surveillance des cours d'eau de Guyane (directive 2000/60/CE) grâce à une combinaison de données biologiques et physico-chimiques. Le but est d'atteindre le « bon état » écologique pour les eaux de surface comme pour les eaux souterraines et les eaux littorales. Cette directive permet le développement d'outils, de techniques et d'indices réglementaires pour atteindre son objectif. L'état écologique est notamment défini grâce aux macroinvertébrés aquatiques.

Les macroinvertébrés benthiques sont des organismes visibles à l'œil nu (de taille supérieure à 0,5 mm) ne possédant pas de squelette interne osseux ou cartilagineux. Les macroinvertébrés sont principalement représentés par les Insectes (sous forme de larves ou nymphes), les Mollusques, les Vers et les Crustacés. Ils sont présents dans des habitats très diversifiés composant les milieux humides (sous les pierres, dans le sable, dans la litière, *etc.*). Les invertébrés aquatiques de Guyane possèdent la particularité d'être de plus petite taille et en densité moindre que dans les régions tempérées (Buffagni *et al.*, 2009). Les espèces présentes sur le réseau hydrographique guyanais, appartenant donc au biome néotropical, sont très différentes de celles présentes en France métropolitaine qui fait partie du biome paléarctique.

Ces organismes sont utilisés comme indicateurs de la qualité des cours d'eau par leur large répartition et leur sensibilité à différents stress (DREAL Centre, 2014). Leur durée de vie et leur grande diversité taxonomique et fonctionnelle permettent une indication précise sur l'état écologique des eaux courantes. Les macroinvertébrés benthiques sont aussi relativement facilement identifiables à la famille et leur prélèvement est aisé. Leur utilisation permet de détecter un vaste panel de perturbation (Barbour *et al.*, 1999). L'analyse de l'assemblage des communautés permet, par exemple, d'évaluer les conditions locales.

De ce fait, les indices biotiques utilisés en France métropolitaine ne sont pas applicables sur le territoire de Guyane. Des indices spécifiques ont dû être créés comme par exemple, le SMEG (Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais ; Thomas *et al.*, 2001) qui est aujourd'hui l'indice de référence pour caractériser la qualité des cours d'eaux en Guyane (Arrêté du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010). Il s'agit d'un indice monométrique basé sur la présence/absence des genres d'Ephéméroptères. Les Ephéméroptères sont considérés comme de bons indicateurs de la qualité d'un cours d'eau (Lenat 1988 ; Rosenberg & Resh, 1993). Cet ordre compte près de 400 genres et près de 3000 espèces à travers le monde (Bouvier D., 2016). En Guyane, 9 familles sont recensées et une cinquantaine de genres sont décomptés (en comparaison, seulement 35 genres sont dénombrés en France métropolitaine) (Orth & Thomas, 2005). Ils peuvent coloniser un grand nombre d'habitats et donc permettent la comparaison des cours d'eau (référence et surveillance).

Le prélèvement des macroinvertébrés est effectué par l'intermédiaire de deux protocoles distincts en Guyane : le PEZADA-DCE (Protocole d'Echantillonnage des Zones Amont ou Difficiles d'Accès ; Guillemet & Manchon, 2007) et le PEZSML (Protocole d'Echantillonnage des Zones Soumises au Marnage ou Lentiques ; Clavier *et al.*, 2010). Quelque soit le protocole et de manière à minimiser l'effet saisonnier, tous les prélèvements se font en saison sèche pour la DCE. Tous les prélèvements utiles à cette étude ont été échantillonnés selon le protocole PEZADA-DCE.

Les premiers échantillonnages sur les grands fleuves et le littoral ayant été effectués au filet Troubleau, cet instrument a jusqu'alors été conservé pour les prélèvements sur les PME. Cependant, afin d'homogénéiser les techniques, l'arrêté du 7 août 2015 vise à standardiser l'échantillonnage en eau peu profonde avec l'utilisation du filet Surber.

C'est dans ce contexte d'actualisation des méthodes de prélèvements de la macrofaune benthique qu'intervient cette étude comparative. L'objectif étant de comparer les échantillonnages obtenus par deux outils de prélèvement, le filet Surber et le filet Troubleau, par le biais des métriques couramment utilisées pour l'étude des communautés d'invertébrés et par le biais d'un indice de qualité des cours d'eau (SMEG).

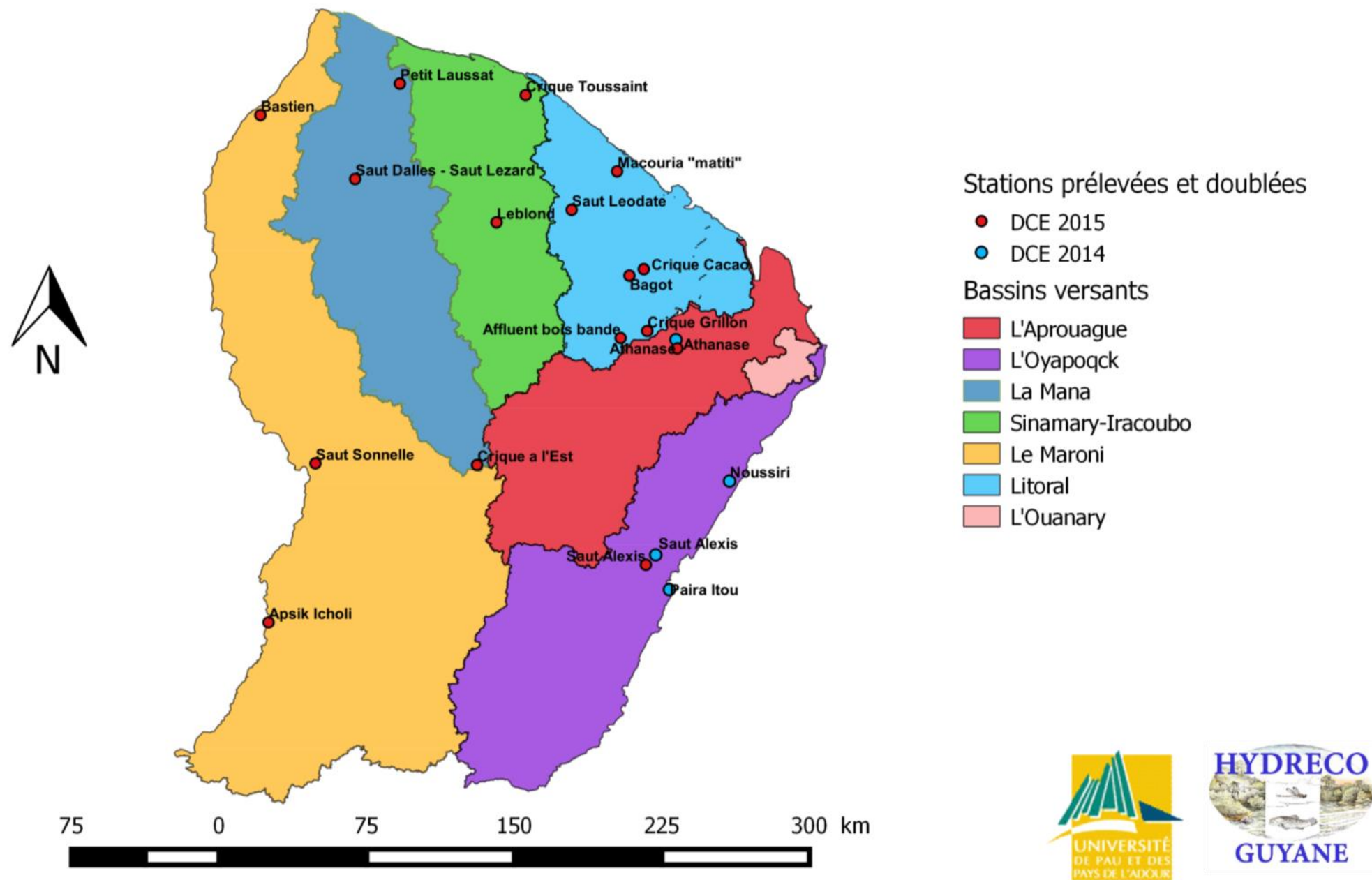


Figure 1 : Localisation des stations étudiées, issues de la campagne DCE 2015 et 2014 (Fond de carte : BD Carthage)

1 Matériel et méthode

1.1 Stations échantillonnées

En 2015, 32 stations ont été échantillonnées pour la campagne DCE. Parmi celles-ci, 16 stations ont été sélectionnées par la DEAL et prélevées au filet Troubleau et au filet Surber. A ces stations s'ajoute un groupe de 4 stations issues de la campagne de 2014.

Les 16 stations de 2015 sont réparties sur les bassins versants de l'Approuague (1 station), du Kourou (1 station), de la Macouria (1 station), du Mahury (4 stations), de la Mana (3 stations), du Maroni (3 stations), de l'Oyapock (1 station) et du Sinnamary (2 stations). Les 4 stations de 2014 sont situées sur l'Oyapock (3 stations) et l'Approuague (1 station) (Figure 1).

1.2 Protocole d'échantillonnage

1.2.1 Généralités

Le protocole PEZADA-DCE (Protocole d'Echantillonnage des Zones Amont ou Difficiles d'Accès) s'applique aux cours d'eau dont la totalité ou la quasi-totalité des habitats présents dans le lit mouillé peuvent être prospectés en période de basses eaux, à pied ou au moyen d'embarcations légères. Il est utilisé uniquement sur les cours d'eau non soumis au marnage.

1.2.2 Outil d'échantillonnage

Deux instruments sont utilisés pour l'échantillonnage de la macrofaune benthique.

1.2.2.1 Le filet Surber :

Le filet Surber (Figure 2) est composé d'un cadre de surface $1/20 \text{ m}^2$ auquel est attaché un filet de 0,5 mm de vide de maille. Le filet Surber est théoriquement utilisé sur des stations d'une profondeur inférieure à 80 cm, soit environ la longueur d'un bras. Avec son cadre délimitant une zone à échantillonner, le filet Surber a l'avantage de rapporter un effectif à une surface et donc de pouvoir calculer une densité.



Figure 2 : filet Surber
©Hydreco

1.2.2.2 Le filet Troubleau

Normalement utilisé lorsque la profondeur d'eau excède 80 cm, le filet Troubleau est porté par un manche d'environ 1,5 m (Figure 3). Il s'agit aussi d'un filet de 0,5 mm de vide de maille et d'une ouverture de $1/20 \text{ m}^2$ mais sans cadre délimitant la zone à échantillonner. Cet outil permet d'évaluer la présence/absence des taxons d'invertébrés et leur abondance mais les estimations de densité sont plus délicates du fait de l'absence de surface standardisée à échantillonner.



Figure 3 : filet Troubleau
©Hydreco

Tableau 1 : définition des classes de vitesse

Classe de vitesse (cm/s)	Vitesse	Code SANDRE
$v < 5$	Nulle	N1
$25 > v > 5$	Lente	N3
$75 > v > 25$	Moyenne	N5
$v > 75$	Rapide	N6

Tableau 2 : classification des substrats en fonction de leur caractère biogène pour les macroinvertébrés benthiques (d'après le protocole PEZADA DCE)

Type de substrat	Habitabilité	Dénomination du substrat	Code SANDRE
ORGANIQUE	11	Salade coumarou	Non défini
	10	Système racinaire	Non défini
	9	Tapis racinaire	Non défini
	8	Macrophytes	Non défini
	7	Hélophytes	S10
	6	Végétation terrestre	Non défini
	5	Litière	S3
	4	Bryophytes	S1
	3	Embâcles (troncs, branches)	S6/S4
	2	Limon/Vase	S11/S13
	1	Algues	S18
MINERAL	6	Galets (25 mm à 250 mm)	S8
	5	Graviers (2 mm à 25 mm)	S9
	4	Blocs (> 250 mm)	S30
	3	Sable (< 2 mm)	S12
	2	Roches/Dalles	S26
	1	Latérite nue	Non défini

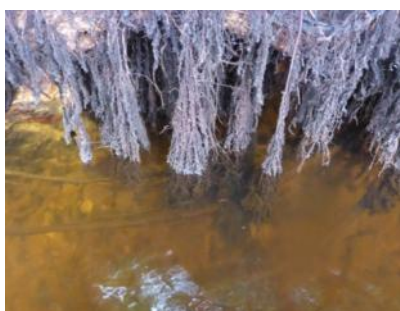


Figure 4 : substrat pouvant être échantillonnés (de gauche à droite) : macrophyte, système racinaire, blocs, litière, graviers, algues
© Hydreco

1.2.3 Choix de la station d'échantillonnage et protocole de prélèvement

Tout d'abord l'opérateur doit sélectionner une station d'échantillonnage c'est-à-dire une portion linéaire représentative de la diversité hydro-morphologique et d'habitats physiques (Figure 4) du cours d'eau. Sa longueur est environ 10 fois supérieure à sa largeur. Les coordonnées de chaque station sont notées et enregistrées grâce à un GPS, et des photos de la station sont prises (Figure 5).

Selon le protocole en vigueur, un type de substrat organique ne peut être prélevé plus de 4 fois et de 2 fois pour un substrat minéral par station, ceci afin de ne pas occulter les habitats minoritaires. Si toutefois plusieurs prélèvements sont faits sur un même substrat, il est nécessaire de varier les localisations et les classes de vitesse de courant (Tableau1) en favorisant les plus fortes. Pour chaque prélèvement, la vitesse et le substrat échantillonné sont notés par l'opérateur sur une fiche terrain. Les classes de vitesse sont estimées à vue à partir de la vitesse de surface et sont exprimées en cm/s. Pour les substrats, ils sont classés selon un ordre décroissant d'habitabilité (Tableau 2, AFNOR, 2009), c'est-à-dire leur capacité à accueillir une faune diversifiée.

Pour chaque station, l'opérateur effectue 12 prélèvements, chaque prélèvement est réalisé une fois au filet Troubleau (Figure 6) et une fois au filet Surber (Figure 7):

- 8 prélèvements (pour chaque filet) sur substrats organiques selon leur représentativité et leur ordre d'habitabilité ;
- 4 prélèvements (pour chaque filet) sur substrats minéraux selon leur représentativité et leur ordre d'habitabilité.

Les prélèvements réalisés sont conditionnés dans des récipients hermétiques contenant de l'alcool dilué à 75% environ, puis stocké.



Figure 5 : enregistrement des coordonnées GPS de la station © Hydreco



Figure 6 : matériel de prélèvement au filet Troubleau (tamis de maille 2mm, fiches terrain, marqueur, récipient hermétique, alcool à 96%, bassine, filet Troubleau) © Hydreco



Figure 7 : prélèvement au filet Surber © Hydreco

1.3 Tri et détermination

Les 480 échantillons, correspondant aux 12 prélèvements au filet Surber et 12 prélèvements au filet Troubleau des 16 stations prélevées en 2015 et les 4 en 2014, ont été triés durant le stage.

Les échantillons sont préalablement passés dans une colonne de deux tamis : le premier de vide de maille 2 mm et le second de vide de maille de 500 μ m (Bouvier *et al.*, 2016). Le premier tamis permet de séparer les matières organiques ou minérales les plus grossières (feuilles, racines, graviers, galets, *etc.*) qui sont rincées afin de décrocher les derniers individus étant restés attachés. La matière ne pouvant pas être séparée à l'œil nu est triée sous une loupe binoculaire (Figure 8). Les macroinvertébrés sont séparés puis déterminés. La détermination est effectuée jusqu'à la famille hormis pour les Ephéméroptères qui sont identifiés au genre. L'utilisation d'un microscope (Figure 9) est donc parfois nécessaire pour observer correctement les pièces buccales, les branchies et les pattes (griffes tarsales) des individus qui permettent leur identification. Ces parties de l'invertébré sont montées entre lame et lamelle sur une goutte de glycérol.

Les individus sont identifiés à l'aide de clés de détermination spécifiques au contexte guyanais (Depuis & Thomas, 2001 ; Thomas *et al.*, 2001 ; Scibona, 1999 ; Massemin *et al.*, 2009 ; *etc.*) ou relatives aux invertébrés aquatiques d'Amérique du Sud (Heckman, 2006 ; 2008) et d'Amérique du Nord (Merritt *et al.*, 2008). Certains taxons à large valence écologique peuvent également être identifiés à l'aide de clés plus générales (Tachet *et al.*, 2010).

La durée de tri et de détermination de chaque échantillon est notée par le trieur pour être comparée. La période commence au lavage de l'échantillon et se termine à la fin de l'identification. Les données ont été saisies en heure et les moyennes et les totaux ont été calculés pour chaque station et pour chaque outil d'échantillonnage. Seuls les échantillons issus des prélèvements de 2015 sont utilisés pour cette étude.



Figure 8 : loupe binoculaire ©Hydrecop



Figure 9 : microscope optique
©Hydrecop

1.4 Analyse descriptives des communautés

L'Analyse Factorielle de Correspondances est une analyse descriptive qui hiérarchise les données et met en évidence leurs liens en fonction de leur composition taxonomique. Les taxons ayant un effectif total inférieur à 10 sont exclus du tableau de données car ils sont considérés comme des taxons trop rares et faussent donc les résultats.

1.5 Métriques biologiques

Une métrique est une grandeur calculée qui décrit certains aspects de la structure des communautés de macroinvertébrés et qui évolue de façon connue en réponse à un stress ou à l'impact d'activités anthropiques (ONEMA, 2013).

1.5.1 Paramètres biologiques

Les métriques d'abondance totale, d'abondance relative, de richesse taxonomique et les indices de Shannon et d'équitabilité ont été calculés sur toute la communauté d'invertébrés.

L'abondance totale pour le Surber et le Troubleau est le nombre total d'individus échantillonnés par instrument. L'abondance totale par substrat en fonction de l'outil d'échantillonnage est également analysée. Ces deux métriques permettent de déterminer le nombre d'invertébrés aquatiques capturés avec chaque outil.

$$Abondance = \sum \text{individus prélevés}$$

La proportion par ordre est le rapport de chaque individu appartenant au même ordre d'invertébrés sur la totalité des organismes prélevés par outil d'échantillonnage. Ce paramètre permet de définir si un ordre est proportionnellement plus échantillonné par l'un des instruments. Seulement 10 ordres ont été sélectionnés pour comparer la structure des communautés :

- Les Hétéroptères
- Les Ephéméroptères
- Les Plécoptères
- Les Coléoptères
- Les Odonates
- Les Décapodes
- Les Diptères
- Les Trichoptères

$$Proportion\ de\ l'ordre = \frac{\sum \text{individus appartenant à l'ordre}}{\sum \text{individus prélevés}}$$

Les proportions d'invertébrés par substrats sont les effectifs totaux d'invertébrés prélevés sur un substrat et par outil d'échantillonnage rapporté à l'abondance total par filet. Ce paramètre permet d'identifier si la répartition par substrats des invertébrés échantillonnés est la même au sein du filet Surber et du filet Troubleau.

$$\text{Proportion par substrat} = \frac{\text{abondance totale sur substrat } i \text{ de la station } j}{\text{abondance totale sur la station } j}$$

La richesse taxonomique est le nombre total de taxons trouvés sur une station. Plus le nombre de taxons est grand, plus l'échantillon est riche. La richesse familiale est calculée à partir de la communauté totale et la richesse générique ne concerne que l'ordre des Ephéméroptères.

$$\text{Richesse taxonomique} = \sum \text{taxons prélevés}$$

L'indice de Shannon permet d'évaluer la diversité d'un peuplement. Pour une valeur d'indice inférieure ou égale à 3, le peuplement est considéré comme faiblement diversifié. Pour une valeur supérieure à 3, le peuplement est considéré diversifié. L'indice de Shannon est calculé pour chaque station, à partir de toute la communauté échantillonnée.

$$\text{Shannon} = \sum \left(\frac{n_i}{N} \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right) \right)$$

n_i : Effectif de la population du taxons i

N : Effectif total

L'indice d'équitabilité, quant à lui, donne un renseignement sur la répartition des effectifs au sein des différents taxons d'un peuplement. Pour une valeur de l'indice inférieure ou égale à 0,3, le peuplement est considéré comme très déséquilibré, pour une valeur comprise entre 0,3 et 0,6, le peuplement est déséquilibré et pour finir pour une valeur entre 0,6 et 1, le peuplement est équilibré. L'indice d'équitabilité est calculé pour chaque station, à partir de toute la communauté échantillonnée.

$$\text{Equitabilité} = \frac{\text{Shannon}}{\log_2 S}$$

S : Effectif total

1.5.2 Le SMEG

Développé par Thomas *et al.* en 2001, cet indice permet grâce au recensement et à l'étude des communautés d'Ephéméroptères d'évaluer l'état écologique d'un cours d'eau. Lors de sa création, le SMEG permettait de pallier au manque d'indices en Guyane. Aujourd'hui, le SMEG est l'indice de référence pour les invertébrés aquatiques (Arrêté du 27 juillet 2015).

Les genres d'Ephéméroptères, appelés Unités Opérationnelles (UO), sont répartis en 5 catégories représentant leur score de polluosensibilité (ANNEXE 1). 43 UO sont dénombrés pour 42 genres d'Ephéméroptères guyanais (distinction de *Camelobaetidius à paracerque long* et *Camelobaetidius à paracerque court*). Les UO les moins polluosensibles obtiennent un score de 1 et la note de 5 est attribuée au UO les plus polluosensibles.

Le SMEG est ensuite calculé grâce à la présence/absence de ces UO dans les échantillons. La somme des scores de polluosensibilité est rapportée à la somme totale d'UO. A ce Score Moyen est ajouté l'apport de diversité qui est de 0,1 par genre identifié (Buffagni *et al.*, 2000).

$$SMEG = \frac{\sum \text{score de polluosensibilité}}{\sum UO} + \sum (UO \times 0,1)$$

Une fois le SMEG calculé, les notes sont confrontées à une échelle de cotation qui attribue aux stations leur état écologique (ANNEXE 1). La note la plus haute étant de 5, elle signifie que le cours d'eau est de très bonne qualité et que les communautés d'invertébrés ne subissent pas d'impacts anthropiques. Au contraire, les cours d'eau ayant une note SMEG inférieure ou égale à 1,02 sont des cours d'eau sur lesquels s'exerce une très forte pression anthropique et dont les communautés d'invertébrés ne comprennent aucun taxon polluosensible.

1.6 Traits biologiques

Les traits biologiques et écologiques représentent l'ensemble des caractéristiques biologiques des taxons et permettent de détecter une perturbation dans le milieu. Ils indiquent aussi la diversité de niche au sein de l'écosystème étudié. Pour cette étude, deux traits bioécologiques ont été sélectionnés : le mode de déplacement et le mode d'alimentation. Les données proviennent uniquement des prélèvements de l'année 2015.

1.6.1 Le mode de déplacement

L'hypothèse est que les organismes nageurs sont plus échantillonnés dans les échantillons au filet Troubleau à cause notamment, du mouvement en 8 qui accompagne cette méthode. Il est donc utile de comparer les proportions d'invertébrés nageurs afin de révéler un certain biais imposé par le prélèvement statique du filet Surber.

1.6.2 Le mode d'alimentation

Il s'agit de la manière dont la nourriture est ingérée par l'invertébré (Tachet *et al.*, 2010). Ce trait biologique est régulièrement utilisé dans les analyses de communautés car il permet de comparer des stations entre elles (par exemple l'amont et l'aval d'un cours d'eau) et permet la détection de perturbations. L'étude de ce trait biologique mettra en évidence si l'outil de prélèvement a une influence sur l'échantillonnage d'invertébrés selon leur mode d'alimentation et par conséquent si le passage au filet Surber aura un impact sur le suivi des cours d'eau.

Cinq modes d'alimentation ont été étudiés :

- Collecteur-filtreur : individu se nourrissant de matière organique fine en suspension ;
- Collecteur-rassembleur : individu se nourrissant de matière organique fine sédimenté ;
- Racleur : organisme se nourrissant de biofilm à la surface de support ;
- Broyeur : individu se nourrissant de débris végétaux ou de matière organique grossière ;
- Prédateur : organisme se nourrissant d'autres organismes vivants.

La proportion de chaque type de trophie est analysée en fonction des substrats et de l'instrument d'échantillonnage.

1.7 Traitements des données

1.7.1 Analyses descriptives

Pour effectuer l'analyse des résultats, deux logiciels ont été utilisés. Le logiciel Microsoft Excel pour la saisie des données ainsi que la création de graphiques. Le logiciel R (packages ade4) a permis aussi de réaliser une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) pour visualiser les structures des communautés.

1.7.2 Tests statistiques

Les tests de normalité de Shapiro-Wilk ont été réalisés à l'aide du logiciel R et au package Rcmdr. Les p-value issues de ces tests indiquent si les données sont paramétriques ($p\text{-value} \geq 0,05$) ou non paramétriques ($p\text{-value} < 0,05$). Si le jeu de données contient un nombre de valeur inférieur à 10, il est considéré comme non paramétrique. Si les données sont distribuées selon une loi Normale, un test de Student est réalisé. Au contraire, si elles sont non paramétriques, le test de Wilcoxon est choisi.

Les tests de Student et de Wilcoxon permettent la comparaison de médiane deux à deux de données.

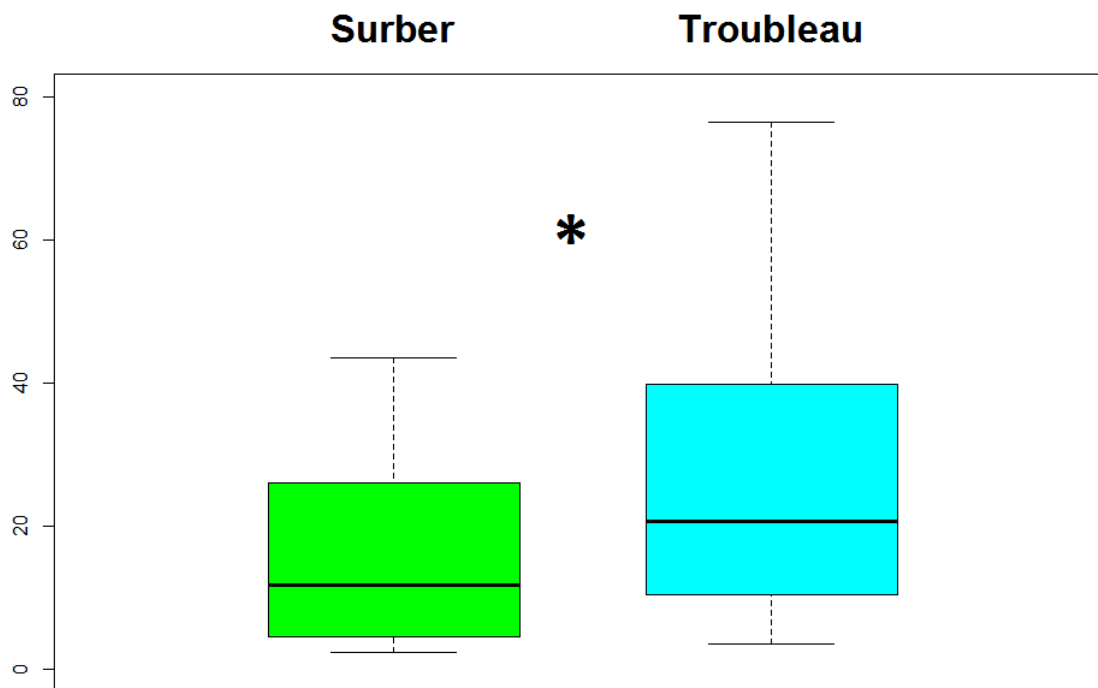


Figure 10 : boîtes à moustaches des temps de tri totaux en fonction de l'instrument d'échantillonnage (en heures)

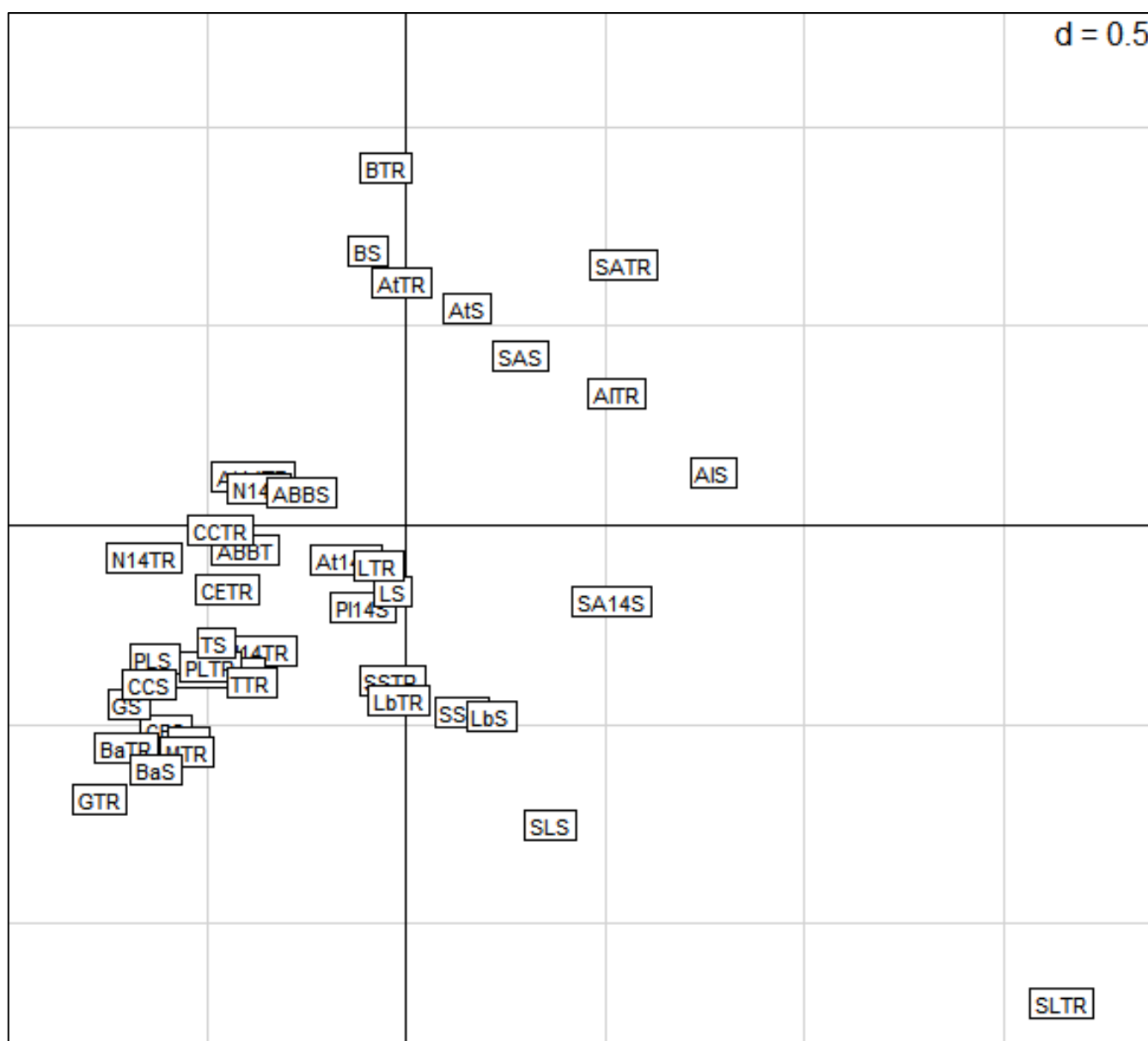


Figure 11 : Analyse Factorielle des Correspondances des stations étudiées (axe 1 = 36% d'explication et axe 2 = 27% d'explication)

2 Résultats

Pour faciliter la compréhension des résultats, une nomenclature est créée : le terme « Surber » définit le jeu de données issu des prélèvements réalisés avec le filet Surber et le terme « Troubleau » se rapporte au jeu de données issu des prélèvements effectués avec le filet Troubleau. Les résultats comparent les deux jeux de données pour tous les paramètres présentés précédemment.

2.1 Temps de tri

La Figure 10 représente le temps total de tri pour Troubleau et Surber. Le temps de tri au Troubleau apparaît plus important. Le temps moyen de tri pour Troubleau est de 27 heures contre 16,7 heures pour Surber (ANNEXE 2). Les données suivant une loi Normale (ANNEXE 9), un test de Student est effectué. Ce test démontre une différence significative ($t = -3,0697$, $df = 13$, $p\text{-value} = 0,008955$) entre les temps de tri.

2.2 Analyse Factorielle des Correspondances

Pour effectuer cette AFC (Figure 11), deux dimensions ont été choisies et utilisées. Elles expliquent à elles seules 65 % de l'inertie totale. L'axe F1 explique 38 % des données et l'axe F2, 27 % (ANNEXE 3). Les prélèvements au Surber et au Troubleau de chaque station sont relativement similaires à l'exception de Saut Léopard, dont le Troubleau diffère énormément du Surber.

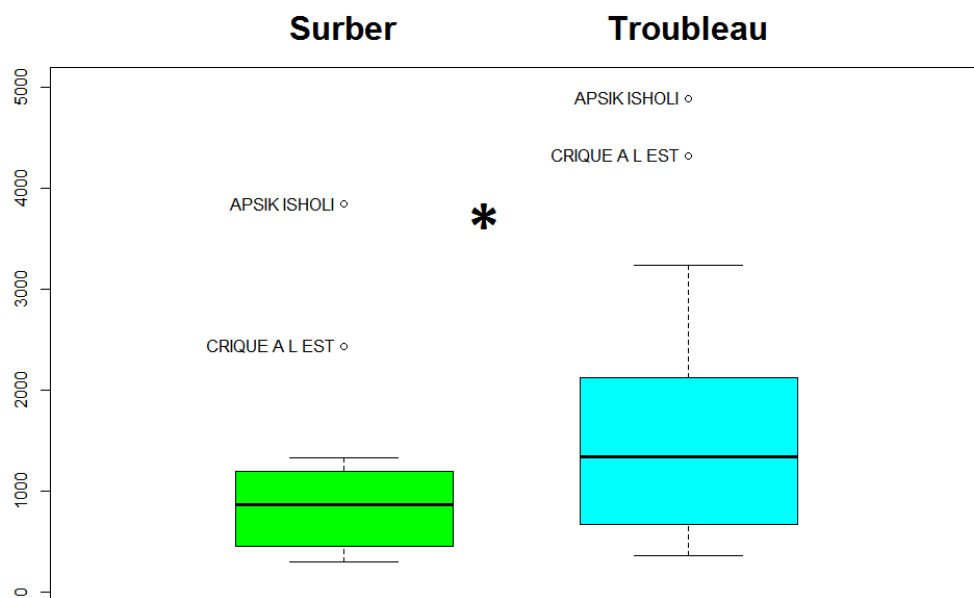


Figure 12 : boîtes à moustaches des abondances totales par outil d'échantillonnage (en nombre d'individus)

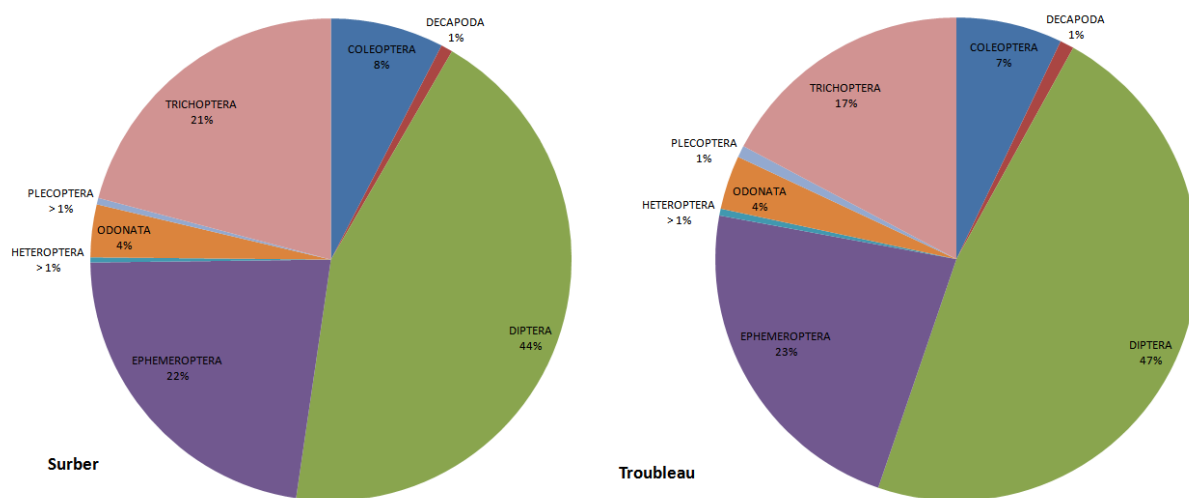


Figure 13 : proportion des ordres d'invertébrés en fonction de l'outil d'échantillonnage

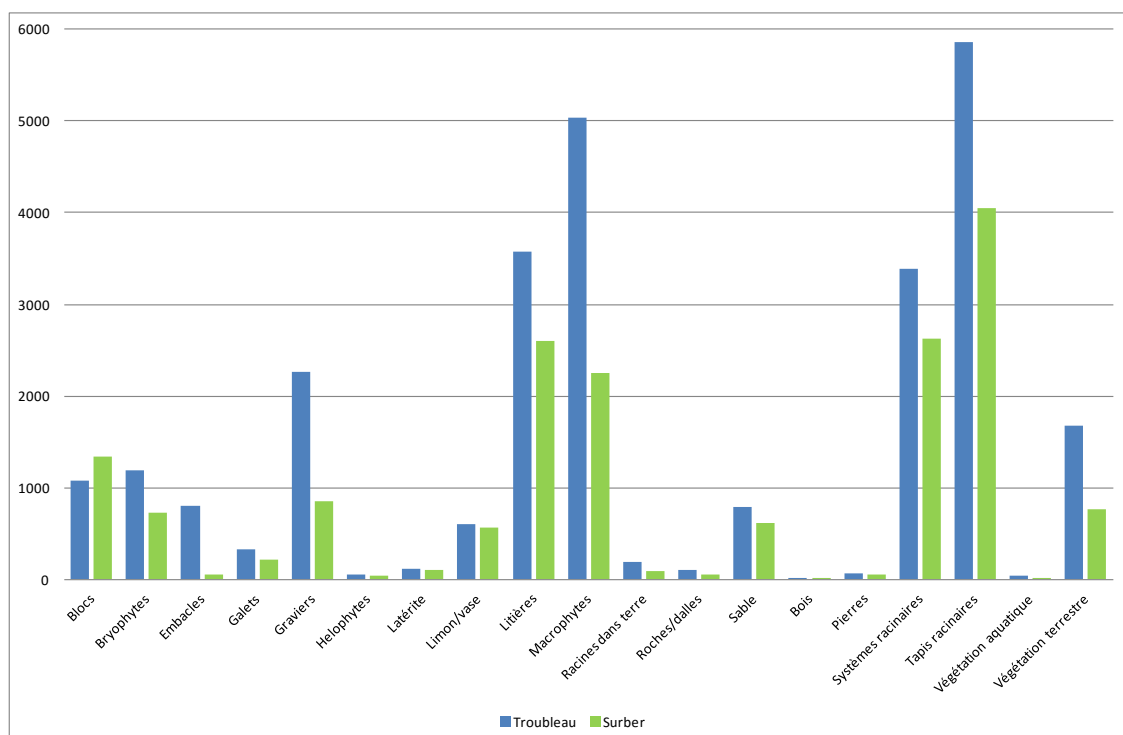


Figure 14 : abondances totales par substrat en fonction de l'outil d'échantillonnage (en nombre d'individus)

2.3 Abondance

2.3.1 Abondance totale

Les effectifs d'invertébrés capturés par les deux types de filets sont dissemblables (Figure 12). En effet, les échantillons prélevés au filet Troubleau ont une abondance totale plus élevée que les prélèvements au Surber. La normalité n'étant pas respectée (ANNEXE 9), le test de Wilcoxon indique que la différence est significative ($V = 4$, $p\text{-value} = 0,0002136$).

2.3.2 Abondance relative

La Figure 13 représente la répartition des effectifs au sein des différents ordres. Ce graphique ne montre pas de grandes dissemblances. L'une des série de données étant non paramétrique (ANNEXE 9), un test de Wilcoxon est réalisé. Il indique qu'il n'y a pas de différence significative ($V = 14$, $p\text{-value} = 0,6406$) entre le Surber et le Troubleau.

2.3.3 Abondance et proportion par substrat

Les substrats sont étudiés indépendamment. La Figure 14 montre que les abondances par substrat prélevé varient entre Surber et le Troubleau. Globalement, moins d'individus sont prélevés par substrat au filet Surber, sauf pour le substrat « bloc », mais de façon plus ou moins marquée selon le substrat. Les données étant non paramétriques (ANNEXE 9), le test de Wilcoxon est réalisé. Les seuls substrats pour lesquels une différence significative est trouvée sont les graviers, la litière, les macrophytes et les tapis racinaires (ANNEXE 4).

Les tests effectués sur les proportions de macroinvertébrés sur chaque substrat montrent que les deux filets échantillonnent la même proportion d'individus sur un substrat défini ($V = 106$, $p\text{-value} = 0,6794$) par rapport aux effectifs totaux issus du Surber et du Troubleau (ANNEXE 4). Il en est de même pour les substrats identifiés précédemment (ANNEXE 4). Il n'y a donc pas de différence en terme de proportion d'invertébrés par substrat mais seulement une différence d'abondance absolue.

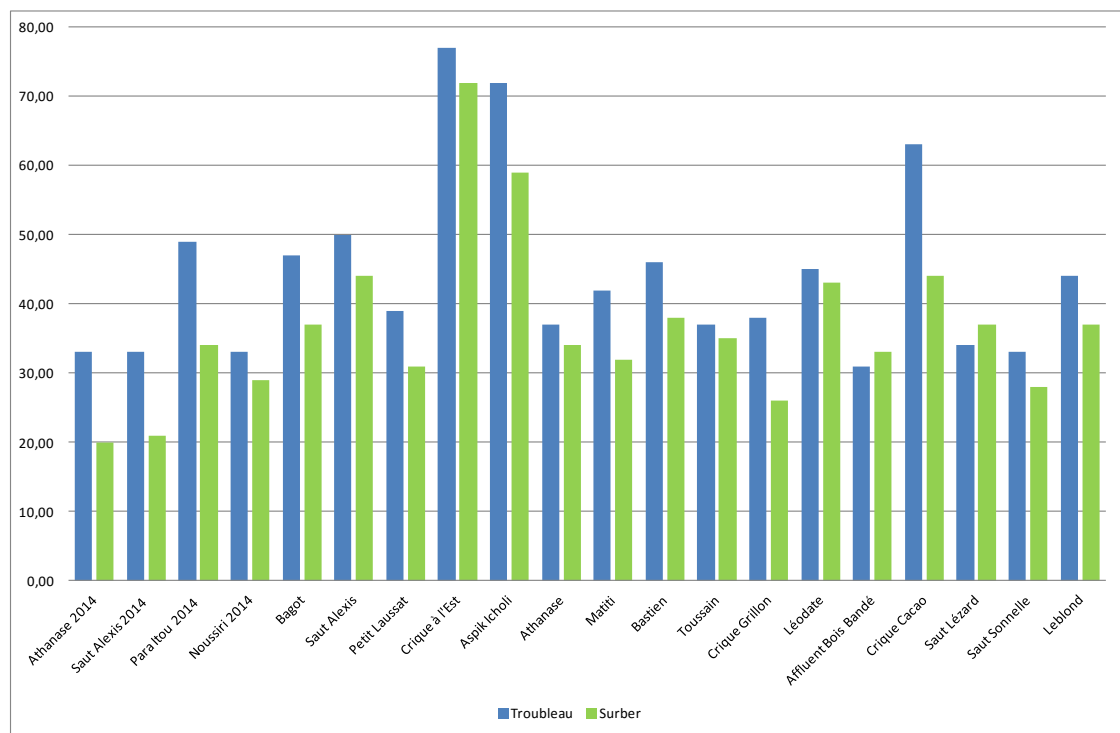


Figure 15 : richesse taxonomique par station et en fonction de l'outil d'échantillonnage (en nombre de taxons)

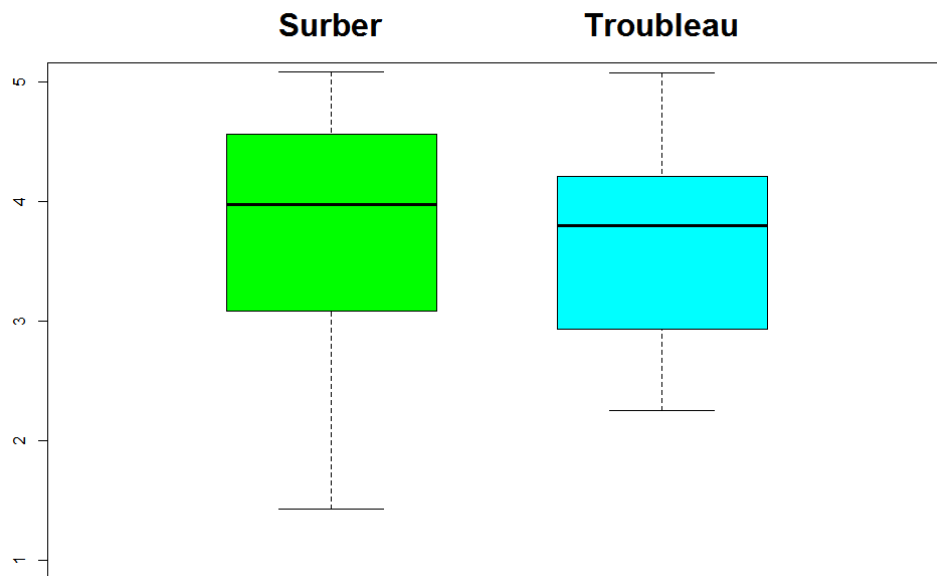


Figure 16 : boîtes à moustaches des indices de Shannon en fonction de l'outil d'échantillonnage

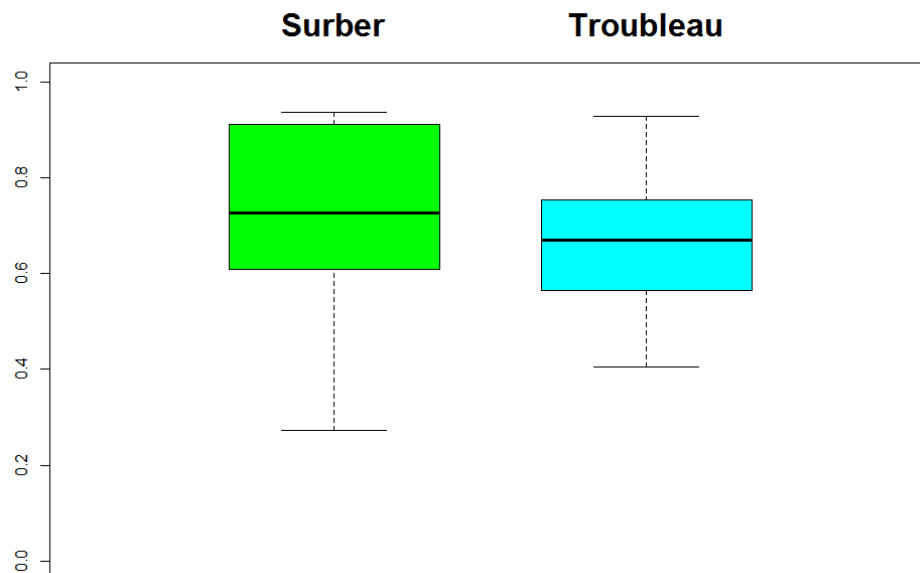


Figure 17 : boîtes à moustaches des indices d'équitabilité selon l'instrument d'échantillonnage

2.4 Richesse taxonomique

L'histogramme représentant les richesses taxonomiques par station (Figure 15) illustre qu'elles ne sont pas semblables selon la méthode d'échantillonnage. Les prélèvements faits au Troubleau semblent avoir une population plus riche que celles des prélèvements au Surber sauf dans le cas de Saut Léopard et Affluent Bois Bandé. Les données ne suivant pas une loi Normale (ANNEXE 9 Test de normalité de Shapiro-Wilk), un test de Wilcoxon est réalisé. Ce test montre qu'il existe une différence significative ($V = 6,5$, $p\text{-value} = 0,0002505$) pour les richesses taxonomiques entre les populations prélevées au Surber et celles prélevées au Troubleau. Le Troubleau présentant, globalement, une richesse plus importante (ANNEXE 5).

2.5 Indice de Shannon

Les indices de Shannon calculés pour les deux méthodes d'échantillonnage semblent être similaires (Figure 16). Les deux séries de données étant distribuées normalement (ANNEXE 9) un test de Student est réalisé. Ce test montre qu'il n'y a pas de différence significative ($t = 0,26747$, $df = 19$, $p\text{-value} = 0,792$) entre les deux méthodes d'échantillonnage pour l'indice de Shannon.

2.6 Équitabilité

Au niveau de l'équitabilité des peuplements, une légère différence est visible pour les médianes et pour les minimums (Figure 17). Les résultats d'équitabilité sont plus homogènes pour le Troubleau. Selon le test de Shapiro-Wilk, les valeurs pour le Troubleau ne suivent pas une loi Normale (ANNEXE 9). Un test de Wilcoxon est réalisé. Ce test montre que, malgré ces différences visuelles, il n'y a pas de différences significatives ($V = 135$, $p\text{-value} = 0,2774$) en terme d'équitabilité des peuplements.

Tableau 3 : notes SMEG en fonction de la méthode d'échantillonnage

Station	Troubleau		Surber	
	SMEG	Etat SMEG	SMEG	Etat SMEG
Affluent Bois Bandé	3,30	Bon	3,55	Bon
Apsik Isholi	5,72	Très bon	4,96	Très bon
Athanase	4,23	Très bon	4,86	Très bon
Bagot	5,10	Très bon	4,66	Très bon
Bastien	4,23	Très bon	3,93	Bon
Crique à l'Est	5,11	Très bon	4,90	Très bon
Crique Cacao	5,05	Très bon	4,57	Très bon
Crique Grillon	4,69	Très bon	4,10	Très bon
Crique Toussaint	4,33	Très bon	3,80	Bon
Leblond	4,19	Très bon	3,68	Bon
Léodate	4,19	Très bon	4,11	Très bon
Macouria "Matiti"	4,00	Bon	3,27	Bon
Petit Laussat	3,78	Bon	3,93	Bon
Saut Alexis	4,69	Très bon	4,70	Très bon
Saut Lezard	3,30	Bon	3,46	Bon
Saut Sonnelle	3,10	Bon	3,55	Bon
Athanase 2014	3,80	Bon	3,30	Bon
Para Itou 2014	4,66	Très bon	4,18	Très bon
Noussiri 2014	3,60	Bon	4,28	Très bon
Saut Alexis	3,30	Bon	3,65	Bon

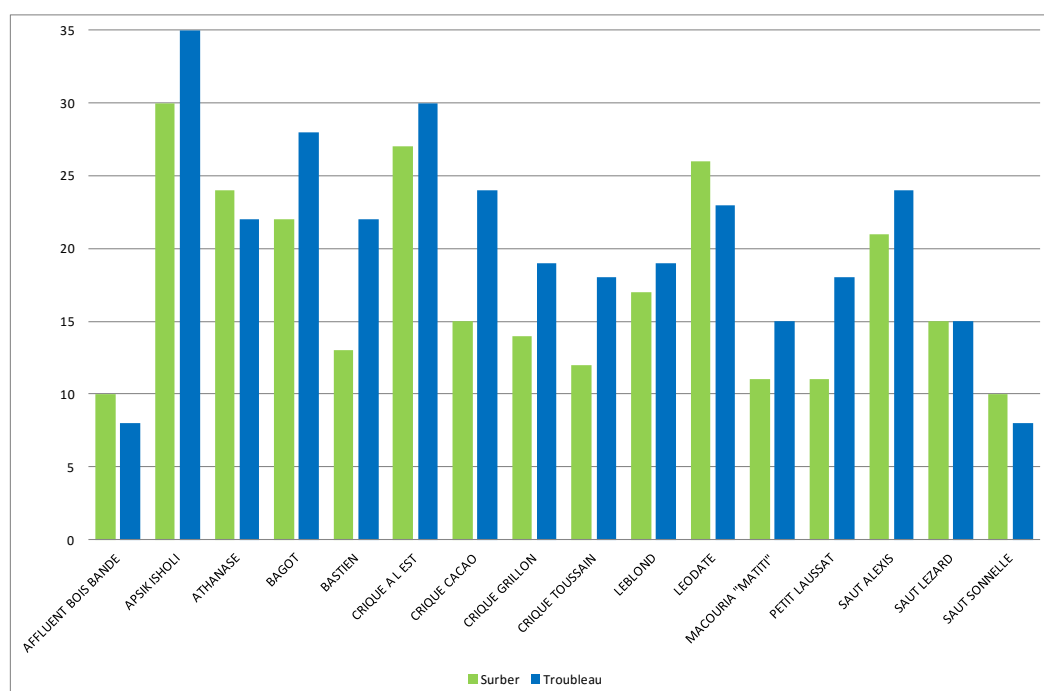


Figure 18 : richesses génériques des Ephemeroptères par station et en fonction de l'outil de prélèvement (en nombre de genres)

2.7 SMEG

Sur les 20 stations étudiées (Tableau 3), quatre obtiennent une classe de qualité définie par le SMEG différente entre le Surber et le Troubleau. Les stations Bastien, Crique Toussaint et Leblond passent d'un très bon état avec le Troubleau à un bon état avec le Surber. Au contraire, la station Noussiri 2014 est surclassée par le Surber avec un très bon état SMEG.

Les données suivant une loi Normale (ANNEXE 9), un test de Student est opéré. Ce test démontre alors qu'il n'y a pas de différence significative ($t = -1,4442$, $df = 19$, $p\text{-value} = 0,165$) entre les notes SMEG pour le Surber et le Troubleau.

2.8 Richesse générique en Ephéméroptères

La Figure 18 montre une légère différence de richesses générique pour les deux modes d'échantillonnage. Pour vérifier cette hypothèse et les données étant paramétriques (ANNEXE 9), un test de Student est effectué. Celui-ci met en valeur l'existence d'une différence significative ($t = 12,725$, $df = 15$, $p\text{-value} = 1,932.10^{-09}$), le Troubleau étant significativement plus diversifié en Ephéméroptères que le Surber.

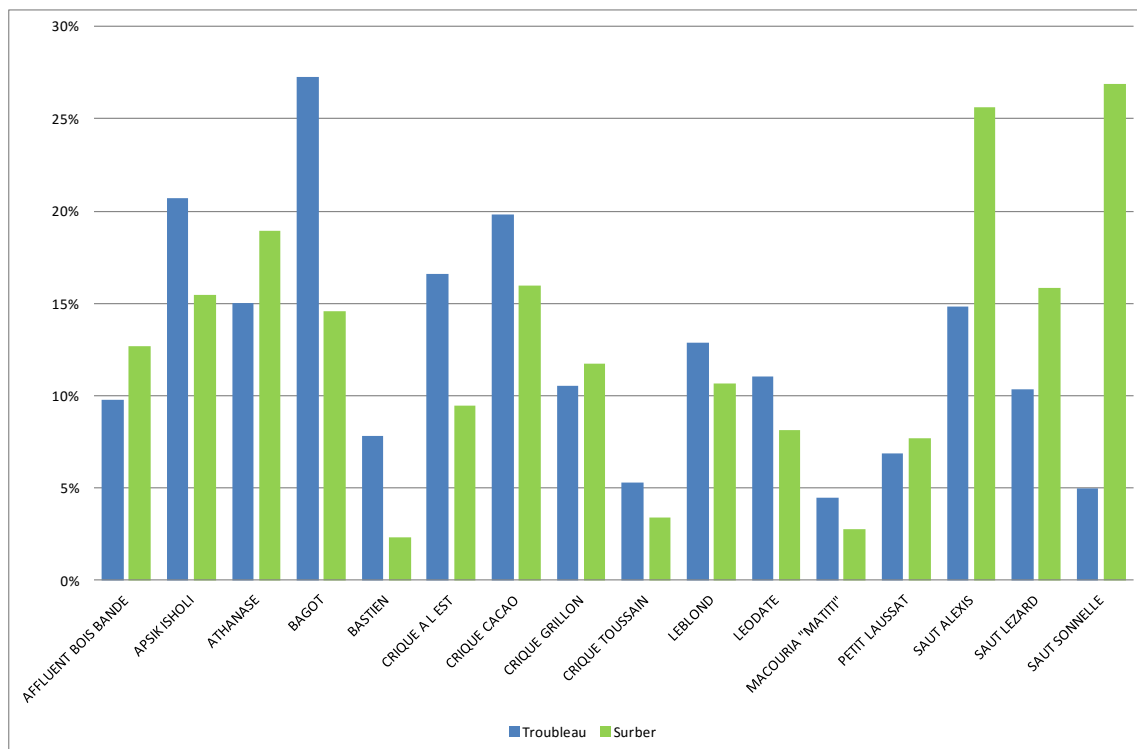


Figure 19 : proportions d'invertébrés nageurs en fonction de l'outil d'échantillonnage

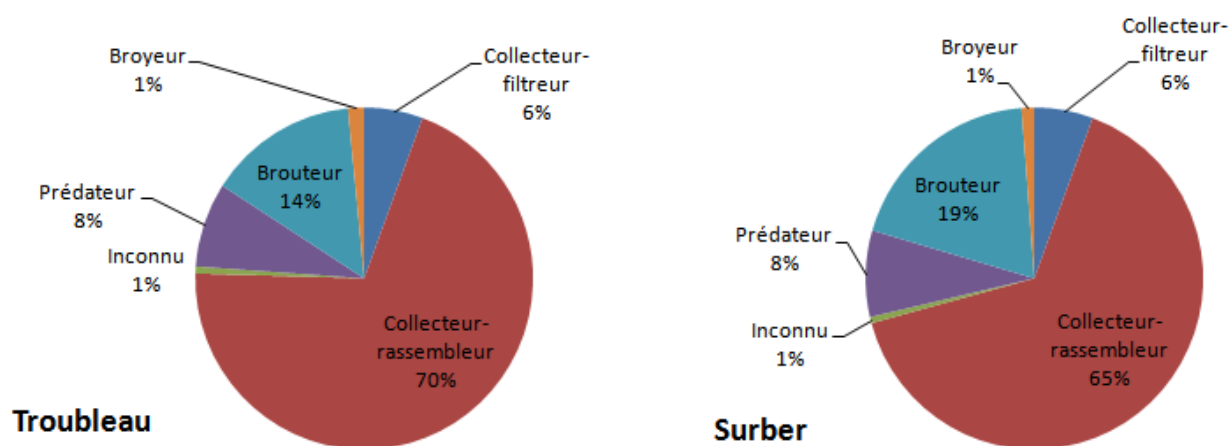


Figure 20 : proportion des modes d'alimentation en fonction de l'outil d'échantillonnage

Tableau 4 : p-value des tests de Wilcoxon pour les proportions de mode d'alimentation par outils d'échantillonnage

Mode d'alimentation	Résultats du test de Wilcoxon
Broyeur	V = 69, p-value = 0.9794
Brouteur	V = 60, p-value = 0.165
Prédateur	V = 102, p-value = 0.7936
Collecteur-rassembleur	V = 104, p-value = 0.7381
Collecteur-filtreur	V = 97, p-value = 0.6319

2.9 *Le mode de déplacement*

Rappelons que l'hypothèse est que les insectes et larves d'insectes aquatiques nageurs seraient plus échantillonnés avec le filet Troubleau dû notamment à un prélèvement mobile et donc plus « rapide ».

Les graphiques en mettent en évidence une disparité au niveau de la proportion d'invertébrés nageurs au sein des communautés (Figure 19). Les étant non paramétriques, un test de Wilcoxon est appliqué sur les proportions d'individus nageurs en fonction du type de prélèvements. Ce résultat montre qu'il n'existe pas de différence significative ($t = 0,11895$, $df = 15$, $p\text{-value} = 0,9069$) et que les proportions de nageurs dans le filet Troubleau et le filet Surber sont similaires. L'hypothèse n'est donc pas vérifiée.

2.10 *Mode d'alimentation*

Les proportions d'invertébrés selon leurs modes d'alimentation ne semblent pas différentes entre les prélèvements au Surber et Troubleau (Figure 20). Afin de confirmer observation, un test de Wilcoxon est effectué pour chacun des types trophiques dont les données ne suivent pas une loi normale (ANNEXE 9). Les résultats valident l'hypothèse, il n'y a pas de différences significatives (Tableau 4) entre les proportions des modes d'alimentation au sein des substrats échantillonnés au filet Surber et au filet Troubleau.

3 Discussion

La représentation des communautés grâce à l'AFC expose une proximité générale entre les deux types d'échantillonnage d'une même station. Les communautés échantillonnées avec le filet Surber et le filet Troubleau sont globalement similaires. Il n'y a donc pas d'impact de la méthode d'échantillonnage sur la structure des communautés. Excepté pour la station Saut Lézard échantillonnée au filet Troubleau (SLTR) qui est très éloignée de celle échantillonnée au filet Surber (SLS). Cet écart est expliqué par la présence de 1180 Leptoceridae dans le filet Troubleau contre 491 au sein du filet Surber. Cette différence d'abondance, localisée sur les prélèvements sur le tapis racinaire, est sûrement due à l'échantillonnage d'une surface plus importante avec le filet Troubleau, d'un substrat particulièrement riche en Leptoceridae.

Les abondances totales des prélèvements au filet Troubleau sont plus importantes que celles de prélèvements au filet Surber. De plus, une disparité apparaît aussi pour les abondances totales par substrats. Les tests de Wilcoxon montrent que des différences significatives d'abondances interviennent sur les prélèvements sur graviers, litière, macrophyte et tapis racinaire. Les abondances importantes obtenues grâce au filet Troubleau sont dues à l'absence de cadre limitant l'échantillonnage, ce qui aboutit pour ces substrats, à une surface d'échantillonnage plus vaste. De par sa conception, l'utilisation du filet Surber aboutit à un effort d'échantillonnage moins important, car le prélèvement est limité à la surface du cadre, et a tendance à « sous-échantillonner » sur ces substrats en particuliers.

Les richesses taxonomiques sont différentes selon la méthode d'échantillonnage, les prélèvements au filet Troubleau étant généralement plus riches que les prélèvements au filet Surber. Cette dissemblance pourrait provenir de la probabilité de prélever plus de taxons différents grâce à un effort d'échantillonnage supérieur et à une abondance totale plus élevée avec le Troubleau. De ce fait, des taxons non présents dans le filet Surber, sont identifiés dans le filet Troubleau, collectant des invertébrés sur une surface plus importante. L'échantillonnage au filet Surber sous-estime donc également la richesse taxonomique d'une station.

La différence notable d'abondance et de richesse taxonomique entre les deux méthodes d'échantillonnage influe directement sur temps de tri. En effet les invertébrés, étant plus nombreux et plus diversifiés, l'identification prend plus de temps. De plus, l'échantillonnage au filet Troubleau accumulant plus de matières organiques et de macroinvertébrés, les temps de lavage des échantillons augmentent. Les temps de tri les plus longs, quelque soit le type de filet, correspondent aux premières stations triées par les opérateurs novices. Ainsi, les derniers échantillons triés correspondent au temps les plus courts. Certains temps de tri n'ayant pas été rapportés, l'étude de ce paramètre n'a pas été faite sur toutes les stations.

Malgré cette inégalité d'abondance, l'analyse de la répartition des ordres au sein des communautés montre que, quelque soit l'outil utilisé, la composition du peuplement reste similaire. Les prélèvements au filet Troubleau ont donc un nombre d'individus total plus important que pour les prélèvements au Surber mais n'influent pas sur la proportion des ordres dans la population. Il en est de même pour les répartitions des invertébrés par substrats. L'analyse de ce paramètre démontre qu'il n'y a aucune différence de proportions entre chaque substrat échantillonné au Surber et au Troubleau. La méthode de prélèvement au filet Troubleau recueille donc plus d'individus sur certains substrats mais ces abondances restent

proportionnelles aux effectifs totaux. Cette technique n'affecte donc pas la structure des communautés d'invertébrés échantillonnées.

De ce fait, les indices de Shannon et d'Équitabilité sont similaires entre les deux techniques. Le filet Troubleau rassemblant plus d'individus et plus de taxons que le filet Surber, ces indices aboutissent à des valeurs similaires. Cependant, l'analyse descriptive du paramètre d'équitabilité montre que les prélèvements au filet Troubleau sont plus homogènes que ceux du filet Surber. Les valeurs d'équitabilité sont concentrées autour de la médiane. Cette différence n'étant pas significative, les deux instruments n'ont pas d'impact sur ces deux paramètres biotiques.

Bien que 4 états écologiques sur 20 soient modifiés entre le filet Surber et le filet Troubleau, les notes SMEG ne présentent pas de différences significatives sur le plan statistique. Il y a donc une influence de l'outil d'échantillonnage sur la note SMEG. Cependant, les communautés d'Ephéméroptères sont assez proches pour atteindre le même état écologique dans 80% des cas. Le jeu de données, pour cette étude, est donc insuffisant pour déterminer si une différence significative est à prendre en compte lors de la transition d'instrument d'échantillonnage. L'étude approfondie des communautés d'Ephéméroptères montre que les richesses génériques sont dissemblables. Les communautés issues de l'échantillonnage au filet Surber obtiennent des richesses génériques inférieures à celles du filet Troubleau. Cette différence est expliquée en partie par l'échantillonnage moins important en terme d'abondance du filet Surber.

Pour les traits biologiques, la proportion des invertébrés nageurs dans le filet Troubleau est semblable à celle dans le filet Surber. L'échantillonnage au Troubleau ne prélève pas plus d'insectes nageurs que le Surber. Le mouvement en 8 n'a donc pas d'impact sur ce trait bioécologique. Il en est de même pour les types trophiques. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différences significatives dans la répartition des modes d'alimentation des invertébrés prélevés, en fonction de la méthode d'échantillonnage. Ce qui montre que l'utilisation du filet Troubleau conduit au prélèvement des mêmes guildes que le filet Surber sur des substrats identiques. Ce trait biologique est important pour les analyses de communautés car il permet la comparaison de stations amont et aval d'un cours d'eau ou des suivis annuels, permettant la détection de perturbations. Les communautés d'invertébrés issues du Troubleau et du Surber pourront donc être comparées et les analyses comparatives pourront être poursuivies après la transition vers le prélèvement au filet Surber.

Afin d'obtenir plus de précisions sur les différences entre les deux méthodes d'échantillonnage, l'étude pourrait être reconduite, augmentant ainsi le jeu de données et permettant une analyse plus poussée des métriques. Le SMEG étant l'indice de référence pour évaluer la qualité d'un cours d'eau, l'étude approfondie pourrait déterminer si les outils d'échantillonnage ont un impact sur ces résultats SMEG. Une étude plus complète permettrait donc une transition d'outils d'échantillonnage en toute conscience de leurs différences.

D'autres paramètres auraient pu être analysés pour compléter l'étude comme par exemple la quantité de matières organiques ou minérales dans les échantillons. Cet élément pourrait ajouter de l'information pour expliquer les différences de temps de tri. Afin d'éviter le biais opérateur, le tri et l'identification de chaque station devrait être effectué par une seule personne.

Pour ne pas ajouter de biais lors de la transition vers le filet Surber, il est nécessaire d'établir des rapports entre les prélèvements au filet Troubleau et au filet Surber afin de trouver une possible équivalence entre les abondances issues de ces outils. Ces valeurs permettront de

rapporter les résultats des années précédentes obtenus au filet Troubleau à des valeurs comparables aux prélèvements au filet Surber. Le suivi des stations pourra être continué avec un biais limité.

Conclusion

Certaines dissemblances sont mises en évidence grâce à cette étude. D'abord, au niveau des abondances d'invertébrés prélevés par les deux types de filet, le filet Troubleau tend à recueillir plus d'individus que le filet Surber ainsi qu'une plus grande richesse. Ces dissemblances sont dues à un effort d'échantillonnage plus important avec l'échantillonnage au filet Troubleau. Les inégalités d'abondances et la différence de richesses taxonomiques ont un impact direct sur le temps de tri et de détermination qui est plus important pour le filet Troubleau. Le filet Surber présente donc un avantage au niveau de la durée de traitement des échantillons. Nonobstant, l'échantillonnage au filet Surber sous-estime la population réelle en prélevant une quantité moindre d'individus et donc une population moins diversifiée.

Malgré l'absence de différences significatives pour les notes SMEG entre le filet Surber et le filet Troubleau, l'état SMEG de 20 % des stations est modifié. Les stations déclassées ou surclassées peuvent se révéler problématiques pour l'évaluation de l'état écologique d'un cours d'eau dans le cadre de la DCE. Pour déterminer si ces dissemblances sont significatives, un jeu de données plus important est nécessaire.

Cependant, les communautés issues des deux outils d'échantillonnage sont similaires. Les indices de diversité, les proportions d'ordres et de traits biologiques ne présentent pas de différences entre le filet Surber et le filet Troubleau. Les communautés issues des deux techniques d'échantillonnages sont donc comparables et permettent le suivi écologique d'une station et la détection de perturbations.

La présente étude démontre donc que le filet Troubleau et le filet Surber peuvent mener à des résultats comparables. La transition vers le filet Surber nécessite tout de même l'élaboration de formules permettant de rapporter les abondances et richesses taxonomiques issues des prélèvements au Troubleau à celles issues du Surber. Une suite à cette étude permettrait d'analyser d'autres différences entre les deux instruments et ainsi mieux préparer le changement d'outil d'échantillonnage.

Bibliographie

- AFNOR, 2009. Norme XP T 90-333 : Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes, 23p.
- Clavier S., Guillemet L., Thomas A. & Descloux S. – 2010. Utilisation de substrats artificiels en Guyane Française : proposition d'un protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés, adapté aux milieux lentiques, en particulier les zones aval des fleuves. *Ephemera*, 11 (1) : 49-64.
- Barbour M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder & J.B. Stribling., 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, second edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, DC, 234p.
- Bouvier D., S. Clavier & A. Thomas, 2016. Guide technique pour la mise en oeuvre de l'indice Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais (SMEG), 38p.
- Buffagni A., Balestrini R., Marziali L. & Erba S. - 2009. Evaluation de la qualité écologique des cours d'eau sur la base du développement des communautés benthiques : développement d'un indice multimétrique pour le Guyane française. Convention DIREN – IRD / Réseau Qualité des eaux continentales de Guyane 2009. 61-117.
- Clavier S., Guillemet L., Thomas A. & Descloux S. – 2010. Utilisation de substrats artificiels en Guyane Française : proposition d'un protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés, adapté aux milieux lentiques, en particulier les zones aval des fleuves. *Ephemera*, 11 (1) : 49-64.
- Clavier S., M. Rhoné & R. Vigouroux, 2014. Redéfinition des limites de classes de qualité de l'indice SMEG. HYDRECO, 16p.
- Comité de Bassin de Guyane, 2014. Etat des lieux du district hydrographique du SDAGE de la Guyane, 6-123.
- Depuis F. & Thomas A. - 2001. Clés d'identification illustrées générales des macroinvertébrés des rivières de Guyane française. (Embranchement, Classes, Ordres). in: IRD – Qualité des eaux de rivière de Guyane, 1-21.
- DREAL Centre, 2014. Les macro-invertébrés benthiques bioindicateurs de la qualité de nos rivières, 6p.
- Guillemet L. & Manchon V. - 2007. Caractérisation de la faune benthique du fleuve Kourou. Mise en place d'un protocole d'échantillonnage des invertébrés aquatiques adapté aux zones amont des fleuves guyanais. 31p.

- Heckman W.C. - 2006. Encyclopedia of South American Aquatic Insects : Odonata - Anisoptera Springer Science + Business Media B.V., 725p.
- Heckman W.C. - 2008. Encyclopedia of South American Aquatic Insects : Odonata - Zygoptera. Springer Science + Business Media B.V., 691p.
- Lenat, D. (1988). Water Quality Assessment of Streams Using a Qualitative Collection Method for Benthic Macroinvertebrates. Journal of the North American Benthological Society, 7(3), 222-233
- Massemin D., Lamy D., Pointier J.-P. & Gargominy O. - 2009. Coquillages et escargots de Guyane. Seashells and snails from French Guiana. Biotope, Mèze (Collection Parthénope); Museum national d'histoire naturelle. Paris, 456p.
- Merritt R.W., K. W. Cummins & M.B. Berg, 2008. An introduction of aquatic insects of North America (4th edn), Kendall Hunt publishing company, 571-672.
- ONEMA, 2013. Bioindication : des outils pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques, 31p.
- Orth K. & A. Thomas, 2005. Les Ephémères de la Guyane Française. 11. Clés de détermination illustrées des familles (phases larvaires et adultes). Ephemera. Vol. 5 (2) : 85-94.
- Riera L.& S. Clavier, 2014. Evaluation environnementale du SDAGE 2016-2021- Bassin de la Guyane, 28-61
- Rosenberg D., Resh V., 1993. Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates, 488p.
- Scibona D. - 1999. Etude faunistique des trichoptères et mégaloptères des rivières des Antilles et de la Guyane Française. Rapport de Stage D.E.S.U./CESAC Univ., Toulouse.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. – 2010. Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. CNRS Editions, 587p.
- Thomas A., K.Orth & Y. Dominique, 2001. Etude des éphéméroptères de la Guyane française : Systématique, répartition géographique et élaboration d'un indice de qualité des eaux (SMEG). in IRD- Qualité des eaux de rivières de Guyane. Annexe 6. 1-84.

Résumé

La Guyane française faisant partie intégrante de l'Europe, elle est soumise aux mêmes directives. Dans le cadre de la DCE, l'Office de l'Eau de Guyane initie l'homogénéisation des techniques de prélèvement avec la France métropolitaine par la mise en place de l'utilisation du filet Surber. Les prélèvements de la macrofaune benthique étant jusqu'à maintenant effectués au filet Troubleau en Guyane, la présente étude a pour but mettre en lumière les différences possibles entre les échantillonnages au Surber et au Troubleau.

Les 480 échantillons triés puis utilisés pour l'étude sont issues de 20 stations des campagnes DCE 2015 et 2014. Les abondances totales par filet et par substrats, proportion d'invertébrés par ordres et par substrats, différents indices (richesses taxonomique et génériques, indices de Shannon et d'équitabilité) et deux traits bioécologiques (mode de déplacement et mode d'alimentation) sont comparés. Pour les comparaisons, toujours deux à deux, les tests de Student et de Wilcoxon sont utilisés.

Il est démontré que les prélèvements au Troubleau et au Surber ne montrent de différences significatives qu'au niveau des abondances totales par filet et par substrats, des richesses taxonomiques et génériques, de l'indice de Shannon des communautés d'Ephéméroptères et au niveau du temps de tri.

Cette étude permet d'identifier les différences significatives qui existent entre les deux méthodes dans le but d'atténuer les biais lors de la transition vers le filet Surber.

Mots clés : méthode d'échantillonnage, DCE (Directive européenne Cadre sur l'Eau), communauté d'invertébrés, temps de tri, métriques biotiques, indices de diversité, SMEG (Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais)

Table des illustrations

Figure 1 : Localisation des stations étudiées, issues de la campagne DCE 2015 et 2014 (Fond de carte : BD Carthage).....	3
Figure 2 : filet Surber ©Hydreco	4
Figure 3 : filet Troubleau ©Hydreco.....	4
Figure 4 : substrat pouvant être échantillonnés (de gauche à droite) : macrophyte, système racinaire, blocs, litière, graviers, algues © Hydreco	5
Figure 5 : enregistrement des coordonnées GPS de la station © Hydreco.....	6
Figure 6 : matériel de prélèvement au filet Troubleau (tamis de maille 2mm, fiches terrain, marqueur, récipient hermétique, alcool à 96%, bassine, filet Troubleau) © Hydreco	6
Figure 7 : prélèvement au filet Surber © Hydreco	6
Figure 8 : loupe binoculaire ©Hydreco.....	7
Figure 9 : microscope optique ©Hydreco	7
Figure 10 : boîtes à moustaches des temps de tri totaux en fonction de l'instrument d'échantillonnage (en heures)	13
Figure 11 : Analyse Factorielle des Correspondances des stations étudiées (axe 1 = 36% d'explication et axe 2 = 27% d'explication)	13
Figure 12 : boîtes à moustaches des abondances totales par outil d'échantillonnage (en nombre d'individus).....	15
Figure 13 : proportion des ordres d'invertébrés en fonction de l'outil d'échantillonnage.....	15
Figure 14 : abondances totales par substrat en fonction de l'outil d'échantillonnage (en nombre d'individus).....	15
Figure 15 : richesse taxonomique par station et en fonction de l'outil d'échantillonnage (en nombre de taxons)	17
Figure 16 : boîtes à moustaches des indices de Shannon en fonction de l'outil d'échantillonnage	17
Figure 17 : boîtes à moustaches des indices d'équitabilité selon l'instrument d'échantillonnage	17
Figure 18 : richesses génériques des Ephéméroptères par station et en fonction de l'outil de prélèvement (en nombre de genres)	19
Figure 19 : proportions d'invertébrés nageurs en fonction de l'outil d'échantillonnage	21
Figure 20 : proportion des modes d'alimentation en fonction de l'outil d'échantillonnage	21
Tableau 1 : définition des classes de vitesse	5
Tableau 2 : classification des substrats en fonction de leur caractère biogène pour les macroinvertébrés benthiques (d'après le protocole PEZADA DCE).....	5
Tableau 3 : notes SMEG en fonction de la méthode d'échantillonnage	19
Tableau 4 : p-value des tests de Wilcoxon pour les proportions de mode d'alimentation par outils d'échantillonnage	21
Tableau 9 : abréviation des stations utilisée pour l'AFC	33

ANNEXE 1. Tableaux des Unités Fonctionnelles et des notes SMEG

Unités Opérationnelles des Ephéméroptères permettant de calculer le SMEG

SCORE individuel (provisoire)	Polluosensibilité	43 Unités Opérationnelles (U.O.) (dont 42 Genres)	
1	Très peu polluosensibles	<i>Caenis</i> , <i>Cloeodes</i> ,	<i>Aturbina</i> , <i>Callibaetis</i> ,
2	Peu polluosensibles	<i>Asthenopus</i> , <i>Campsurus</i> , <i>Paracloeodes</i> , <i>Besserius</i> ,	<i>Lentvaaria</i> , <i>Apobaetis</i> , <i>Harpagobaetis</i> , <i>Hydrosmilodon</i> ,
3	Assez polluosensibles	<i>Hexagenia</i> <i>Tricorythodes</i> <i>Hermanella sensu lato</i> <i>Simothraulopsis</i> <i>Terpides</i>	<i>Waltzophius</i> <i>Oligoneuridae gen. Sp2</i> <i>Americabaetis</i> <i>Camelobaetidius</i> à paracerque long <i>Spiritiops</i>
4	Polluosensibles	<i>Brachycercus</i> <i>Leptohyphes</i> <i>Fittkaulus</i> <i>Hagenulopsis</i> <i>Microphlebia</i>	<i>Camelobaetidius</i> à paracerque court <i>Tomedontus</i> <i>Zelus</i> <i>Oligoneuridae gen. Sp 2</i>
5	Très polluosensibles	<i>Campylocia</i> <i>Coryphorus</i> <i>Miroculis</i> <i>Guajirolus</i> <i>Thraulodes</i> <i>Ulmeritoides</i>	<i>Genre X</i> <i>Genre Y</i> <i>Adebrotus</i> <i>Cryptonympha</i> <i>Genre U</i> <i>Rivudiva</i>

Nouvelles Limites de classes de l'indice SMEG avec le 25eme percentile (d'après Clavier et al., 2014)

Classes de qualité	Notes
Très bonne	$\geq 4,1$
Bonne	3,08 – 4,09
Moyenne	2,05 – 3,07
Médiocre	1,03 – 2,04
Mauvaise	$\leq 1,02$

ANNEXE 2. Tableau récapitulatifs des temps totaux de tri

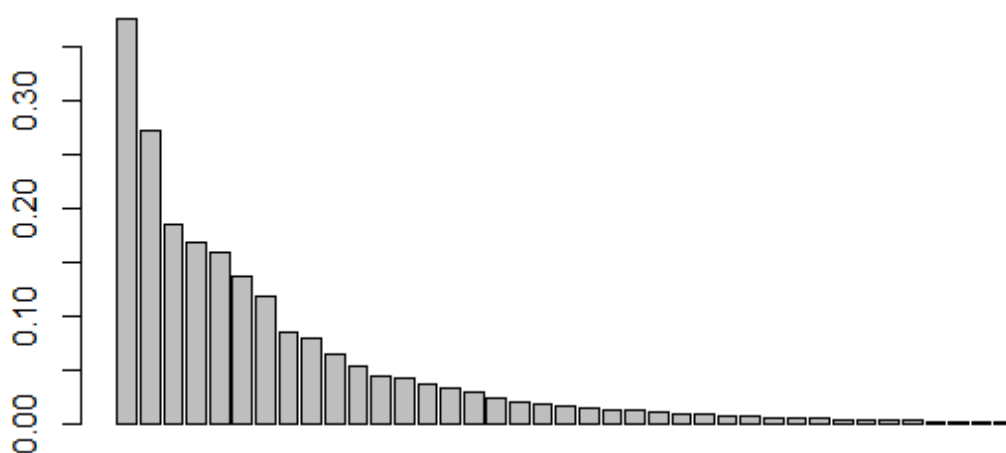
Totaux des temps de tri pour chaque station et selon les deux modes d'échantillonnage

Stations	Total de temps de tri pour le Troubleau (h)	Total de temps de tri pour le Surber (h)
Affluent Bois Bandé	3,5	2,3
Apsik Icholi	52,6	26,0
Athanase	22,3	11,0
Bagot	30,6	14,1
Bastien	34,5	43,5
Crique à l'Est	76,5	37,3
Grillon	13,2	3,8
Macouria « Matiti »	39,8	32,1
Petit Laussat	8,0	4,5
Saut Alexis	17,1	10,8
Saut Léodate	46,1	23,0
Saut Lézard	18,9	9,4
Saut Sonnelle	5,0	3,8
Toussaint	10,4	12,3
Moyenne	27	16,7

ANNEXE 3. Dimensions de l'AFC, pourcentages associés et abréviations des stations

Pourcentages d'explication par axe sectionnés de l'AFC

Axe	Pourcentage d'explication	Pourcentage cumulé d'explication
1	0,376127092	0,3761271
2	0,273128940	0,6492560



Pourcentages expliqués par les axes de l'AFC

Tableau 5 : abréviation des stations utilisée pour l'AFC

Station	Abréviation	Station	Abréviation
Affluent Bois Bandé	AffBB	Leblond	Lb
Apsik Icholi	AI	Macouria "Matiti"	M
Athanase	At	Noussiri	N
Bagot	B	Para Itou	PI
Bastien	Ba	Petit Laussat	PL
Crique Cacao	CC	Saut Alexis	SA
Crique à l'Est	CE	Saut Lézard	SL
Crique Grillon	G	Saut Sonnelle	SS
Léodate	L	Crique Toussaint	T

ANNEXE 4. Abondance et pourcentage d'invertébrés par substrats et p-value associées

Abondances totales et pourcentage d'invertébrés par substrats et par outils d'échantillonnage

Substrats	<i>Troubleau</i>	<i>%Troubleau</i>	<i>Surber</i>	<i>%Surber</i>
Blocs	1079	4%	1344	8%
Bryophytes	1185	4%	733	4%
Embacles	797	3%	59	0%
Galets	330	1%	215	1%
Graviers	2263	8%	853	5%
Helophytes	53	0%	41	0%
Latérite	121	0%	106	1%
Limon/vase	602	2%	570	3%
Litières	3575	13%	2599	15%
Macrophytes	5031	19%	2249	13%
Racines dans terre	187	1%	94	1%
Roches/dalles	103	0%	58	0%
Sable	794	3%	620	4%
Bois	15	0%	3	0%
Pierres	66	0%	49	0%
Systèmes racinaires	3386	12%	2627	15%
Tapis racinaires	5864	22%	4047	24%
Végétation aquatique	39	0%	18	0%
Végétation terrestre	1674	6%	771	5%

p-value résultants des tests de Wilcoxon pour les abondances totales et pourcentage d'invertébrés par substrats

Substrats	p-value pour les abondances totales	p-value pour le rapport $\frac{\text{abondance par substrat}}{\text{abondance totale de la station}}$
Blocs	p-value = 0.4688	p-value = 0.6875
Galet	p-value = 0.6875	p-value = 0.442
Graviers	p-value = 0.001953	p-value = 0.5195
Limon/Vase	p-value = 0.7209	p-value = 0.6103
Litière	p-value = 0.04263	p-value = 0.4143
Macrophytes	p-value = 0.03125	p-value = 0.8125
Roche/Dalle	p-value = 0.125	p-value = 0.2945
Sable	p-value = 0.4238	p-value = 0.4101
Système Racinaire	p-value = 0.3594	p-value = 1
Tapis Racinaire	p-value = 0.0166	p-value = 0.9032
Végétation Terrestre	p-value = 0.125	p-value = 0.1875

ANNEXE 5. Indices biotiques et effectifs en fonction de l'outil d'échantillonnage et par station

Tableau récapitulatif des indices calculés (indice de Shannon, richesse spécifique, indice d'équitabilité et effectif total)

<i>Indices</i>	<i>Indice de Shannon</i>		<i>Richesse taxonomique</i>		<i>Equitabilité</i>		<i>Effectif total</i>	
<i>Stations</i>	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>
Athanase 2014	3,96	2,82	20,00	33,00	0,92	0,56	37,00	485,00
Saut Alexis 2014	2,86	3,85	21,00	33,00	0,65	0,76	220,00	365,00
Para Itou 2014	3,99	3,82	34,00	49,00	0,78	0,68	266,00	1517,00
Noussiri 2014	3,26	3,77	29,00	33,00	0,67	0,75	271,00	2226,00
Bagot	2,19	2,25	37,00	47,00	0,42	0,41	1340,00	3378,00
Saut Alexis	4,23	4,09	44,00	50,00	0,78	0,73	1135,00	1747,00
Petit Laussat	3,24	3,37	31,00	39,00	0,65	0,64	394,00	633,00
Crique à l'Est	4,19	4,32	72,00	77,00	0,68	0,69	4868,00	4395,00
Aspik Icholi	3,36	3,94	59,00	72,00	0,57	0,64	3513,00	4964,00
Athanase	3,29	2,43	34,00	37,00	0,65	0,47	1127,00	2124,00
Matiti	4,62	4,99	32,00	42,00	0,92	0,93	94,00	159,00
Bastien	4,76	3,54	38,00	46,00	0,91	0,64	108,00	901,00
Toussaint	4,62	4,70	35,00	37,00	0,90	0,90	90,00	105,00
Crique Grillon	4,19	3,66	26,00	38,00	0,89	0,70	74,00	849,00
Léodate	2,93	3,03	43,00	45,00	0,54	0,55	1172,00	1716,00
Affluent Bois Bandé	2,81	2,84	33,00	31,00	0,56	0,57	337,00	370,00
Crique Cacao	5,09	3,94	44,00	63,00	0,93	0,66	167,00	1855,00
Saut Lézard	1,42	2,46	37,00	34,00	0,27	0,48	586,00	2612,00
Saut Sonnelle	4,51	4,63	28,00	33,00	0,94	0,92	51,00	57,00
Leblond	4,79	5,08	37,00	44,00	0,92	0,93	115,00	106,00
Moyenne	3,68	3,71	36,70	44,15	0,73	0,68	1066	1697,15

ANNEXE 6. Tableau de proportion d'ordres par technique d'échantillonnage

Proportions des ordres en fonction des outils d'échantillonnage

Ordres	Surber	Troubleau
Coleoptera	8%	7%
Decapoda	1%	1%
Diptera	44%	47%
Ephemeroptera	22%	23%
Heteroptera	0%	0%
Odonata	4%	4%
Plecoptera	0%	1%
Trichoptera	21%	17%

ANNEXE 7. Richesses taxonomiques des communautés d'Ephéméroptères

Richesses taxonomiques des communautés d'Ephéméroptères en fonction de l'outil d'échantillonnage

Indices	Richesse générique	
Stations	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>
Affluent Bois Bande	10	8
Apsik Isholi	30	35
Athanase	24	22
Bagot	22	28
Bastien	13	22
Crique à l'Est	27	30
Crique Cacao	15	24
Crique Grillon	14	19
Crique Toussaint	12	18
Leblond	17	19
Leodate	26	23
Macouria "Matiti"	11	15
Petit Laussat	11	18
Saut Alexis	21	24
Saut Lezard	15	15
Saut Sonnelle	10	8

ANNEXE 8. Tableau récapitulatif des modes d'alimentation en fonction du substrat échantillonné et de l'outil de prélèvement

Mode d'alimentation en fonction du substrat prélevé et de la méthode d'échantillonnage

Modes d'alimentation	Collecteur-filtreur		Collecteur-rassembleur		Inconnu		Prédateur		Brouteur		Broyeur	
Substrats	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>	<i>Surber</i>	<i>Troubleau</i>
BLOCS	14%	8%	8%	4%	5%	3%	5%	5%	8%	3%	2%	2%
BRYOPHYTES	8%	2%	5%	5%	0%	0%	2%	2%	1%	2%	19%	1%
EMBACLES	0%	0%	0%	4%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%
GALETS	1%	2%	2%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	2%	0%	4%
GRAVIERS	4%	11%	5%	8%	5%	10%	4%	9%	3%	4%	23%	45%
HELOPHYTES	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
LATERITE NUE	0%	0%	1%	1%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
LIMON/VASE	1%	1%	3%	2%	5%	1%	4%	2%	4%	4%	1%	0%
LITIERE	12%	11%	15%	14%	23%	34%	17%	14%	16%	11%	6%	3%
MACROPHYTES	24%	32%	13%	19%	6%	8%	7%	14%	14%	18%	12%	3%
RACINE DANS TERRE	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	3%	0%	0%
ROCHES/DALLES	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
SABLE	0%	0%	5%	4%	5%	2%	2%	2%	1%	2%	3%	1%
SUR BOIS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SUR PIERRE	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%
SYSTEMES RACINAIRES	7%	10%	14%	10%	11%	10%	25%	22%	18%	20%	21%	18%
TAPIS RACINAIRES	24%	17%	23%	21%	17%	26%	26%	22%	27%	25%	10%	15%
VEGETATION AQUATIQUE	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
VEGETATION TERRESTRE	4%	4%	5%	7%	19%	6%	6%	5%	3%	5%	1%	5%

ANNEXE 9. Test de normalité de Shapiro-Wilk

Test de normalité pour les temps de tri :

- Troubleau : $W = 0.91372$, $p\text{-value} = 0.1784$, les données suivent une loi normale
- Surber : $W = 0.88534$, $p\text{-value} = 0.06927$, les données suivent une loi normale

Test de normalité pour les abondances totales :

- Troubleau : $W = 0.84541$, $p\text{-value} = 0.01167$, les données ne suivent pas une loi normale

Surber : $W = 0.75291$, $p\text{-value} = 0.0006889$, les données ne suivent pas une loi normale

Test de normalité pour les abondances totales par substrat :

- Troubleau : $W = 0.78379$, $p\text{-value} = 0.0006708$, les données ne suivent pas une loi normale
- Surber : $W = 0.77033$, $p\text{-value} = 0.000437$, les données ne suivent pas une loi normale

Test de normalité pour les pourcentages d'ordres :

- Troubleau : $W = 0.80409$, $p\text{-value} = 0.02192$, les données ne suivent pas une loi normale
- Surber : $W = 0.8458$, $p\text{-value} = 0.03944$, les données suivent une loi normale

Test de normalité pour les pourcentages d'invertébrés par substrats :

- Troubleau : $W = 0.78379$, $p\text{-value} = 0.0006708$, les données ne suivent pas une loi normale
- Surber : $W = 0.77033$, $p\text{-value} = 0.000437$, les données ne suivent pas une loi normale

Test de normalité pour les richesses taxonomiques :

- Troubleau : $W = 0.83047$, $p\text{-value} = 0.002553$, les données ne suivent pas une loi normale
- Surber : $W = 0.8726$, $p\text{-value} = 0.01305$, les données ne suivent pas une loi normale

Test de normalité pour les indices de Shannon :

- Troubleau : $W = 0.96131$, $p\text{-value} = 0.5703$, les données suivent une loi normale
- Surber : $W = 0.94271$, $p\text{-value} = 0.2696$, les données suivent une loi normale

Test de normalité pour les indices d'équitabilité :

- Troubleau : $W = 0.94775$, $p\text{-value} = 0.3342$, les données suivent une loi normale
- Surber : $W = 0.89532$, $p\text{-value} = 0.03372$, les données ne suivent pas une loi normale

Test de normalité pour les notes SMEG :

- Troubleau : $W = 0.96384$, $p\text{-value} = 0.6231$, les données suivent une loi normale
- Surber : $W = 0.93712$, $p\text{-value} = 0.2114$, les données suivent une loi normale

Test de normalité pour les richesses génériques d'Ephéméroptère :

- Troubleau : $W = 0.95243$, $p\text{-value} = 0.5291$, les données suivent une loi normale
- Surber : $W = 0.931$, $p\text{-value} = 0.2529$, les données suivent une loi normale

Test de normalité pour les proportions de collecteur-filtreur :

- Troubleau : $W = 0.69172$, $p\text{-value} = 4.437\text{e-}05$, les données ne suivent pas une loi normale
- Surber : $W = 0.70243$, $p\text{-value} = 5.943\text{e-}05$, les données ne suivent pas une loi normale

Test de normalité pour les proportions de collecteur-rassembleur :

- Troubleau : $W = 0.79759$, $p\text{-value} = 0.001054$, les données ne suivent pas une loi normale
- Surber : $W = 0.79428$, $p\text{-value} = 0.0009451$, les données ne suivent pas une loi normale

Test de normalité pour les proportions de prédateur :

- Troubleau : $W = 0.72816$, $p\text{-value} = 0.0001228$, les données ne suivent pas une loi normale
- Surber : $W = 0.66558$, $p\text{-value} = 2.223\text{e-}05$, les données ne suivent pas une loi normale

Test de normalité pour les proportions de brouteur :

- Troubleau : $W = 0.70478$, $p\text{-value} = 6.341\text{e-}05$, les données ne suivent pas une loi normale
- Surber : $W = 0.72033$, $p\text{-value} = 9.812\text{e-}05$, les données ne suivent pas une loi normale

Test de normalité pour les proportions de broyeur :

- Troubleau : $W = 0.5306$, $p\text{-value} = 9.489\text{e-}07$, les données ne suivent pas une loi normale
- Surber : $W = 0.71416$, $p\text{-value} = 8.239\text{e-}05$, les données ne suivent pas une loi normale