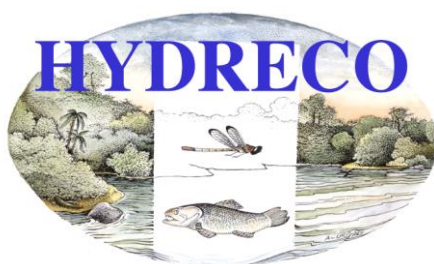


Etat des lieux piscicole sur la crique Orion

CONTRAT HYDRECO – RESERVE NATURELLE DES
NOURAGUES-GEPOG-ONF

JUILLET 2023



⇒ Commanditaires :



⇒ Rédacteurs :

Hydreco Guyane



**POTTIER Gaétan, LALAGÜE Hadrien, QUARTAROLLO Grégory,
VIGOUROUX Régis**

Laboratoire environnement, 12 Rue Gustave Eiffel – ZI Pariacabo – BP 823
97388 KOUROU CEDEX

gaetan.pottier@hydrecolab.com

Tel. : 05 94 32 40 79

SIRET n° : 49784575000015

⇒ Approbateur :

BARGIER Nicolas

Laboratoire environnement, 12 Rue Gustave Eiffel – ZI Pariacabo – BP 823
97388 KOUROU CEDEX

nicolas.bargier@hydrecolab.com

Mots clés : Pêche à l'électricité, Echantillonnage Ponctuel d'Abondance, Réserve des Nouragues, Poissons, Macroscutacés dulcicoles.

En bibliographie ce rapport sera cité de la manière suivante :

Pottier G., Bargier N., Quartarollo G., Vigouroux R. & Lalagüe H., 2022. Etat des lieux piscicole sur la crique Orion. 15 pages + Annexe

HYDRECO 2023 Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du client

Sommaire

1	INTRODUCTION	5
2	MATERIELS ET METHODES	5
2.1	Sites d'études	5
2.2	Protocole d'échantillonnage	12
2.2.1	<i>Le principe de la pêche à l'électricité</i>	<i>12</i>
2.2.2	<i>Le protocole d'échantillonnage ponctuel d'abondance (EPA)</i>	<i>12</i>
2.3	Traitement des données	13
2.3.1	<i>Evaluation de l'effort d'échantillonnage</i>	<i>13</i>
2.3.2	<i>Abondances et richesses spécifiques totales</i>	<i>13</i>
3	RESULTATS ET DISCUSSION	14
3.1	Sites d'études	14
3.2	Evaluation de l'effort d'échantillonnage	15
3.3	Bilan général des captures	16
3.4	Richesse spécifique et abondance en fonction des stations	16
3.5	Focus sur <i>Harttiella longicauda</i>	21
4	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	22
5	REMERCIEMENTS	22
6	BIBLIOGRAPHIE	23
7	ANNEXE	25

Sommaire des figures

Figure 1. Emplacement du site d'étude dans la réserve des Nouragues et des zones d'échantillonnages le long des cours d'eau. Les points représentent les limites amont et aval des stations.	7
Figure 2. Le Patagaï constitué du groupe électrogène et du boîtier de conversion et régulation du courant.....	7
Figure 3. Station Orion 1.....	8
Figure 4. Station Orion 2.....	9
Figure 5. Station Orion 3.....	10
Figure 6. Station Orion 4.....	11
Figure 7. Richesse spécifique en fonction du nombre de points d'échantillonnage. ..	15
Figure 8. Photographies des poissons capturés, échelle : 1cm	18
Figure 9. Richesse spécifique totale (à gauche) et moyenne par point (à droite).pour chaque station Il n'y a aucune différence significative entre les stations (test de Wilcoxon, pvalue <0,05). Barres d'erreur : erreur standard.	20
Figure 10. Abondance totale par station (à gauche) et abondance moyenne par point et par station (à droite). La significativité du test de Wilcoxon est représenté par les symboles (* < 0,05 ; ** < 0,01). Barres d'erreur : erreur-standard.	20
Figure 11. Abondance totale d'Harttiella longicauda par station.....	21
Figure 12. Répartition de l'abondance des Harttiella longicauda au sein des classes de taille et selon les stations.	21

Sommaire des tableaux

Tableau 1. Variables environnementales pour les stations échantillonnées pour évaluer la résilience du peuplement piscicole suite à l'impact de l'orpaillage.	14
Tableau 2. Paramètres physico chimiques analysés dans l'eau sur les différentes stations.	15
Tableau 3. Abondance de chaque espèce obtenue pour 33 points d'échantillonnage pour chaque station.	19
Tableau 4. Nombre moyen de spécimens et d'espèces capturés par point et par station. Les valeurs sont présentées sous la forme moyenne $\pm$ erreur standard.....	19
Tableau 5. Liste exhaustive des espèces capturées à l'aide de différents moyens de pêche (Patagaï, LR-24, épuisette) sur les stations.....	25

1 INTRODUCTION

Le Plateau des Guyanes est un haut lieu de l'ichtyodiversité d'eau douce et de l'endémisme en Amérique du Sud (Abell et al., 2008), représentant environ 44% de l'ichtyofaune totale observée dans les Néotropiques du sud de l'Argentine à la frontière sud du Mexique (Vari et al., 2009). Comme presque partout sur Terre, cette région est sujette aux perturbations anthropiques, comme le changement d'usage du sol (Sala et al., 2000). Avec l'exploitation du bois, l'orpaillage est la principale perturbation anthropique qui contribue au changement d'usage du sol (Peterson & Heemskerk, 2001). Par exemple, la perte annuelle moyenne de surface de forêt tropicale au profit de l'orpaillage avait triplé à partir de 2008 (Asner et al., 2013). Des mesures ont été adoptées pour réduire d'impact de l'orpaillage légal et pour lutter contre les activités illégales (Taubira, 2011). Ces restrictions ont été efficaces pour encadrer le développement de l'industrie minière, mais pas assez pour endiguer les activités illégales, dont les mines sont à plus petites échelles spatiales et plus discrètes que les mines légales (Hammond et al., 2007).

L'orpaillage illégal induit des perturbations diverses sur les écosystèmes aquatiques dulcicoles. Il augmente la charge en sédiments dans les cours d'eau ce qui augmente la turbidité (Wantzen & Mol, 2013), ce qui affecte la survie des espèces présentes en causant l'abrasion et l'obstruction de branchies et l'étouffement des œufs de poissons, des algues et des invertébrés benthiques (Wood & Armitage, 1997; Tudesque et al., 2012). Cette activité minière induit également une réduction du couvert de la canopée ce qui augmente la luminosité, la température de l'eau, et limite les intrants de litière et de débris végétaux dans les cours d'eau (Wright & Flecker, 2004). Par la suite, ces changements environnementaux perturbent la structure et la composition du peuplement piscicole (Wright & Flecker, 2004).

Quelques études ont évalué les effets de l'orpaillage sur les communautés piscicoles sur des sites hautement perturbés (Wright & Flecker, 2004; Yule et al., 2010) ou sur de petites exploitations (Mol & Ouboter, 2004; Brosse et al., 2011; Wantzen & Mol, 2013; Allard et al., 2016). Toutes ces études ont mis en évidence l'effet négatif de ces perturbations anthropiques sur la composition, la biomasse et la productivité des communautés de poissons.

A notre connaissance, une seule étude a évalué la résilience des peuplements piscicoles suite à une cessation d'activité de l'orpaillage (Brosse et al., 2011). Selon cette étude, la résilience n'a pas été complète après 6 mois d'arrêt de l'exploitation du site.

Dans ce contexte, le projet « Observatoire de la Résilience Orpaillage Illégal aux Nouragues » vise à mettre en place un suivi à long terme des communautés piscicoles pour évaluer la résilience face à la pression de l'orpaillage.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 Sites d'études

Face à l'absence d'état initial de la communauté piscicole avant l'arrivée des perturbations liées à l'orpaillage illégal, un protocole de type *Control impact* a été proposé. Cette méthode permet de comparer deux zones, une zone contrôle et une zone impactée par un seul facteur (l'orpaillage).

Les zones contrôles sont représentées par deux criques non impactées et les zones impactées sont représentées par deux criques :

- **Orion 1** : cette station est positionnée en aval du cours d'eau principal de l'étude. Elle est considérée comme **perturbée** du fait de la récente présence humaine (habitations) et d'être un réceptacle des perturbations causées en amont.
- **Orion 2** : cette station est positionnée immédiatement en aval d'anciennes barranques créées lors d'activités d'orpaillage illégal. Elle est donc considérée comme **perturbée**.
- **Orion 3** : cette station est positionnée en amont des récentes activités d'orpaillage. Elle est considérée comme **non impactée** du fait de sa proximité à la source. Il semblerait toutefois qu'il y ait eu une activité anthropique il y a une centaine d'années.
- **Orion 4** : Cette station est positionnée sur un affluent voisin. Tout comme la station Orion 3, elle est située à proximité de la source. Une activité anthropique ancienne (de l'ordre d'une centaine d'années) a également été notée. Du fait du laps de temps conséquent suite à l'arrêt de l'activité d'orpaillage sur cette zone, cette station est considérée comme **non impactée**. Cette station permet d'évaluer si le peuplement piscicole est similaire entre deux stations de tête de bassin-versant qui sont proches géographiquement.

Pour chaque station, une gamme de variables environnementales a été mesurée :

- La largeur du lit mouillé, la profondeur et la vitesse de courant sur les transects transversaux (espacés systématiquement de 5 mètres) ;
- La conductivité spécifique en utilisant une sonde multi-paramètres oxygène / pH / conductivité / turbidité (Tripod Ponsel Aqualabo). La conductivité ambiante a ensuite été calculée à partir de la conductivité spécifique (pour une température de référence de 25°C) et de la température ambiante de l'eau (Mackereth et al., 1978) ;
- Les pourcentages de recouvrement du substrat (sable, gravier, galet, blocs et dalles), des macrophytes et de litière ont été estimés visuellement.

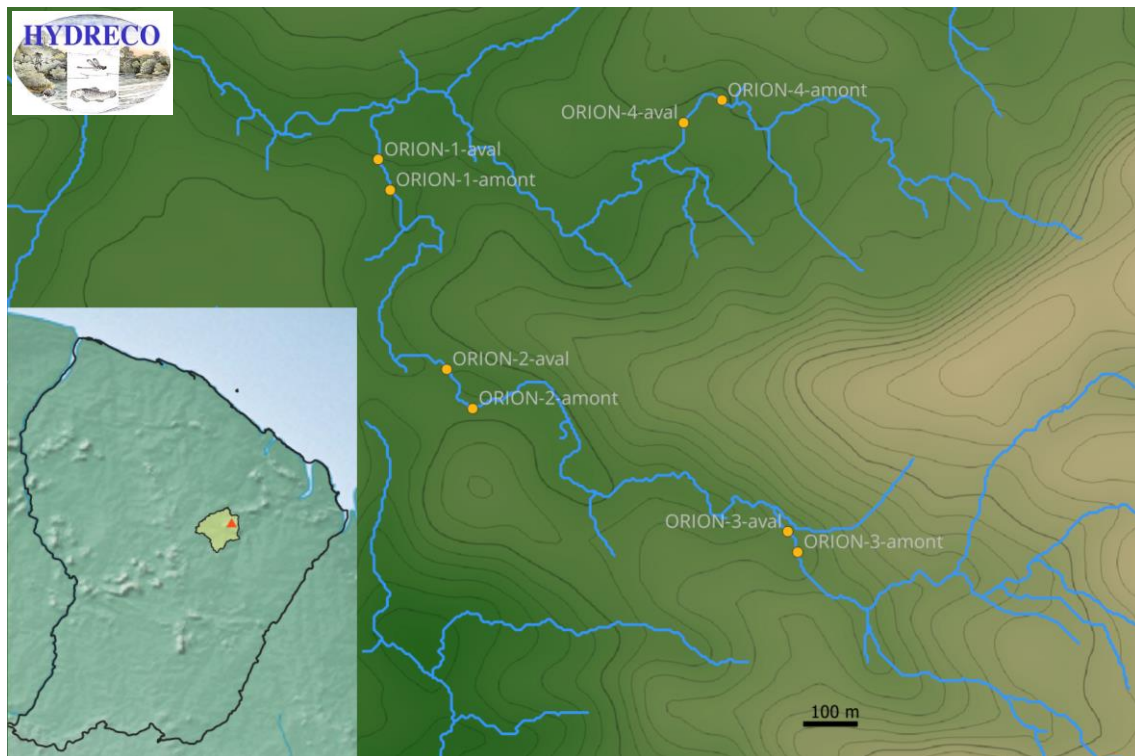


Figure 1. Emplacement du site d'étude dans la réserve des Nouragues et des zones d'échantillonnages le long des cours d'eau. Les points représentent les limites amont et aval des stations.



Figure 2. Le Patagari constitué du groupe électrogène et du boîtier de conversion et régulation du courant.



Figure 3. Station Orion 1



Figure 4. Station Orion 2

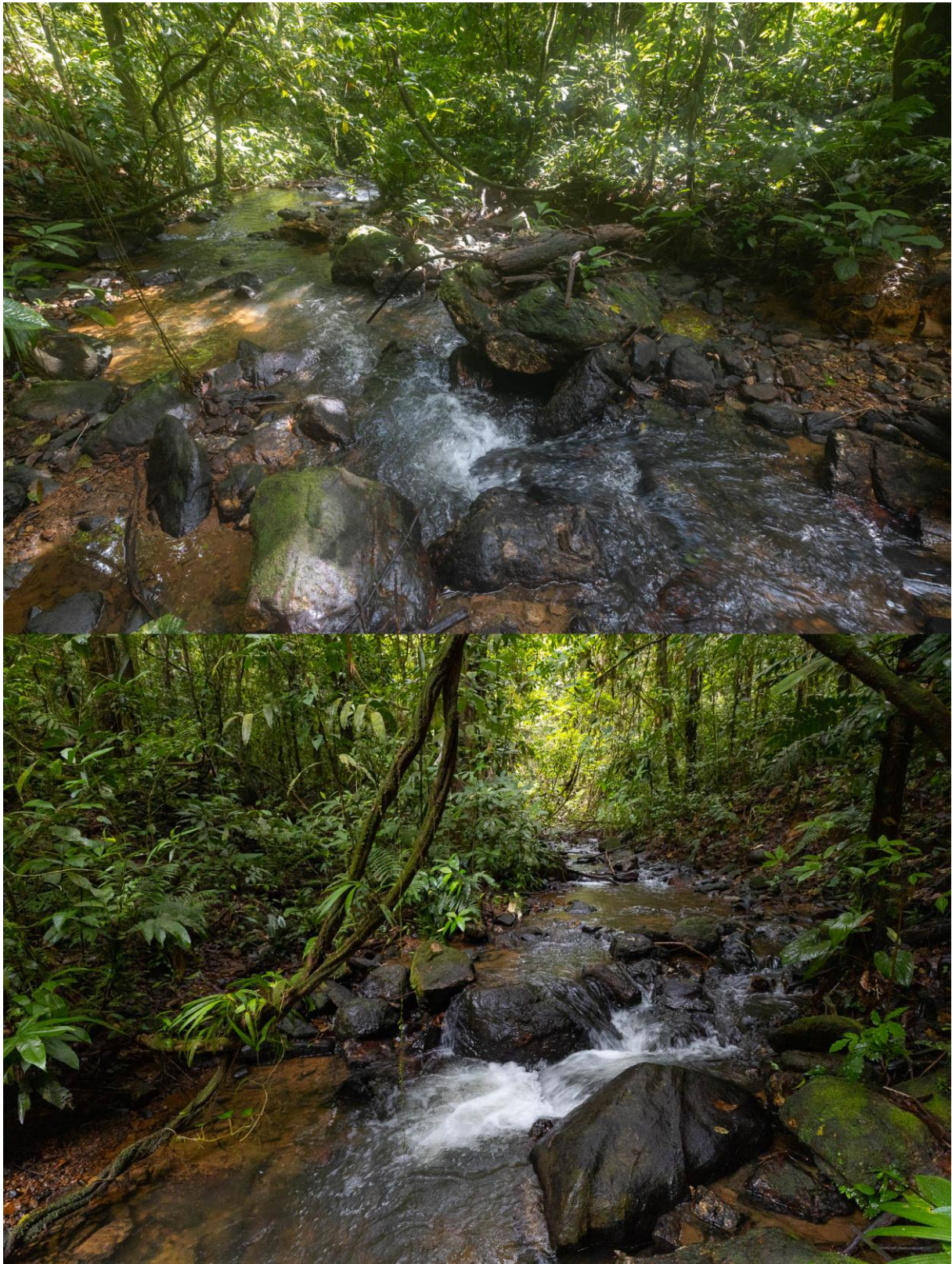


Figure 5. Station Orion 3



Figure 6. Station Orion 4

2.2 Protocole d'échantillonnage

2.2.1 Le principe de la pêche à l'électricité

La pêche à l'électricité est une méthode habituellement mise en œuvre pour étudier les poissons et les crustacés (Pottier et al., 2022a, 2022b). Le principe consiste à appliquer de l'électricité dans l'eau pour générer un champ électrique. Ce dernier va induire une attraction des animaux en direction de la source d'énergie. Avec ce procédé, il est possible de capturer les individus de manière active (avec la possibilité de les débusquer) tout en préservant leur intégrité physique.

Le protocole proposé pour la pêche à l'électricité respecte les consignes d'échantillonnage de la norme NF EN 14011 (T90-358) relative à l'échantillonnage des poissons à l'électricité, ainsi que le guide pratique de mise en œuvre des pêches à l'électricité dans le cadre des réseaux de suivi, édité par l'ONEMA en 2008. De plus, le nouveau guide OFB/INRAE coécrit par Gaétan POTTIER a été également utilisé à cette occasion (Pottier et al., 2022a) ainsi que l'article scientifique concernant l'optimisation des réglages pour capturer les poissons en Guyane (Pottier et al., 2019; Roussel et al., 2023).

Pour réaliser une pêche à l'électricité dans une eau de très faible conductivité, il est nécessaire de disposer d'un appareillage fournissant un courant continu (DC). Le choix de cette forme de courant résulte d'un compromis entre l'application de l'électricité dans des eaux de faible conductivité, son pouvoir attractif sur les poissons et son faible impact sur leur intégrité physique (Pottier et al., 2020b).

Pour cette étude, l'appareil utilisé est le Patagaï (4000 W, Atauce France, Figure 2). Il permet de délivrer du DC avec une tension et une intensité conséquente et stable (en fonction de la conductivité des zones de pêches) sur de longues durées. Sa configuration est détaillée par Pottier et al. (2019). L'anode est un anneau en aluminium de 35 cm de diamètre. La cathode est constituée d'une double tresse de cuivre de 300 cm.

La tension réglée sur l'appareil était de 1000 V pour correspondre aux conditions d'application dans ce contexte de basse conductivité (Pottier et al., 2019; Raitif et al., 2022).

Avant l'application de l'électricité dans l'eau, le champ électrique a été mesuré à l'aide d'une sonde « Penny » selon les recommandations de Pottier et al. (2019, 2020a, 2022a). Cela permet de vérifier la dispersion du champ électrique dans l'eau afin de garantir une bonne attractivité des individus tout en limitant l'impact sur leur intégrité physique.

2.2.2 Le protocole d'échantillonnage ponctuel d'abondance (EPA)

Un échantillonnage ponctuel d'abondance (EPA) a été réalisé pour chaque station. Cet échantillonnage standardisé consiste à pêcher plusieurs points spécifiques pendant un temps défini. Il permet de couvrir une plus grande superficie en moins de temps par rapport à d'autres méthodes plus intensives. Les EPA sont comparables entre eux ce qui donne une grande puissance statistique pour interpréter les données d'abondance entre différentes régions, habitats ou périodes de temps. L'EPA permet également d'obtenir des données sur la structure (abondances relatives, équitabilité, classes de taille) et la composition (richesse spécifique) des communautés piscicoles.

Le protocole proposé s'appuie sur les résultats et recommandations issus du rapport de Raitif *et al.* (2022). Afin d'obtenir une image représentative de la composition et de la structure de la communauté piscicole, un minimum de 33 points EPA ont été pratiqués sur chaque station.

Chaque point a été échantillonné avec une anode fixe positionnée au centre de la section du cours d'eau (si la largeur du cours d'eau < 3 m) ou en alternance à proximité des berges (si la largeur du cours d'eau > 3 m). Les points sont pêchés successivement, avec enlèvement

des poissons à chaque point. Ils sont espacés de 3 mètres au minimum sur l'axe aval-amont pour éviter tout chevauchement des surfaces pêchées.

Pour chaque point de pêche, la séquence suivante est réalisée :

- 20 secondes d'application de l'électricité dans l'eau ;
- Une coupure brève du courant (~ 1 seconde) ;
- Une nouvelle impulsion d'électricité est créée pendant 10 secondes.

Cette succession d'impulsions séparées par une coupure permet d'attirer les poissons qui sont éventuellement plus difficilement accessibles (par ex. ceux cachés sous des racines).

Le principe des pêches scientifiques est de récupérer l'information portée par l'ichtyofaune tout en essayant d'avoir un impact le moins fort possible sur les individus capturés. Ces derniers, après identification et mesures de tailles (mm) ont été remis à l'eau. La longueur standard est utilisée pour les poissons et la longueur séparant l'extrémité du rostre de celle du telson pour les macrocrustacés.

2.3 Traitement des données

2.3.1 Evaluation de l'effort d'échantillonnage

Sur la station Orion 4, nous avons ajouté 45 points supplémentaires en amont du transect afin de vérifier si l'effort d'échantillonnage de 33 points est suffisant dans le contexte des Nouragues.

Pour chaque station, nous séparons les résultats de la richesse spécifique (notée RS) au sein de chaque point d'échantillonnage dans le but d'avoir des données indépendantes. Les résultats issus de chaque combinaison de point d'échantillonnage (RS, notée RS_{EPA}) sont calculés 1000 fois pour la station Orion 4 en permutant la séquence des points échantillonnés. Ces 1000 simulations résultantes fournissent une moyenne pour chaque effort d'échantillonnage (nombre de points cumulés).

Pour évaluer la représentativité de la RS_{EPA} avec l'augmentation de l'effort d'échantillonnage sur chaque station, le nombre d'espèces est calculé pour chacun des 1 000 tirages effectués à chaque effort d'échantillonnage. La moyenne et la médiane de la RS_{EPA} sont ensuite calculées. Cette analyse est effectuée pour les crustacés et les poissons groupés. Les données sont analysées en utilisant le logiciel R, v. 4.1.0 (R Development Core Team, 2011).

2.3.2 Abondances et richesses spécifiques totales

Pour chaque station, nous avons calculé l'abondance totale et la richesse spécifique totale pour 33 points d'échantillonnage. Nous avons également calculé l'abondance et la richesse spécifique moyenne par point, ce qui a permis d'effectuer des comparaisons deux à deux entre les stations (test de Wilcoxon).

Étant donné qu'il s'agit des premières données quantifiées concernant *Harttiella longicauda*, nous présenterons des résultats spécifiques de cette espèce remarquable.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Sites d'études

L'ensemble des stations d'études présentent des faciès à dominante lotique. Cependant les stations ORION 3 et ORION 4 sont les seules être caractérisées par des faciès de types Rapide/Cascade/Mouille, ce qui est synonyme d'une plus forte pente. Bien que la proportion de ces faciès ne soit pas dominante, ces derniers peuvent avoir une influence sur l'abondance et la richesse spécifique des individus capturés. Les stations ORION 1 et ORION 2 hébergent principalement des faciès de type radier, plat courant et plat lent. Les proportions d'embâcles, de gravier, de galet et de litière est sensiblement équivalente entre les stations. La proportion de macrophyte est très faible, la station ORION 4 étant celle qui en possède le plus. La proportion de vase-limon diminue en se rapprochant de la source sauf pour la station ORION 4 qui est dans une position équivalente à la station ORION 3 mais qui présente pourtant un pourcentage de vase-limon supérieur à la station ORION 2 (Tableau 1).

L'analyse physico-chimique de l'eau a montré un profil similaire entre les stations (Tableau 2). L'eau de cette station est très peu chargée en carbone organique, en azote ou en phosphore. Cela correspond au profil des stations de tête de bassin versant guyanais. Cependant la station ORION 1 s'illustre par des valeurs légèrement plus élevées que les autres pour le phosphore et le mercure, prouvant l'existence d'une activité anthropique. Les analyses de contaminants (mercure et hydrocarbures) ne permettent pas de mettre en évidence leur présence dans l'eau (hormis le mercure sur ORION 1). Une analyse complémentaire des sédiments pourrait s'avérer utile pour détecter la présence de mercure potentiellement bio-assimilable.

Tableau 1. Variables environnementales pour les stations échantillonnées pour évaluer la résilience du peuplement piscicole suite à l'impact de l'orpaillage.

Stations	Orion 1	Orion2	Orion 3	Orion 4
Date	07/06/2023	08/06/2023	09/06/2023	10/06/2023
Conductivité spécifique (μS/cm)	31,5	35,5	39,1	28,5
Température (°C)	24,9	24,3	24,6	24,2
Longueur (m)	95	98	96,3	94,5
Largeur moyenne (cm)	302,7	328,3	306,4	210,0
Profondeur moyenne (cm)	14,5	17,3	13,3	12,1
Vitesse moyenne (cm/s)	19,8	16,9	17,3	19,4
Sable (%)	9	24	15	10
Gravier (%)	30	40	22	35
Vase-Limon (%)	30	10	5	15
Galet (%)	30	25	25	20
Bloc (%)	1	1	30	20
Dalle (%)			3	
Macrophytes (%)	1	1		5
Litière (%)	20	10	15	10
Embâcles/Racines/sous berge (%)	15	15	20	30
Radier (%)	32	25	20	10
Plat courant (%)	52	40	32	10
Plat lent (%)	15	15		25
Mouille (%)	1	5	10	15

Cascade (%)	3	15
Rapide (%)	35	25

Tableau 2. Paramètres physico chimiques analysés dans l'eau sur les différentes stations.

	ORION 1	ORION 2	ORION 3	ORION 4	Limite de quantification
Carbone Organique Total (mg/L)	0,5	0,53	0,51	0,84	0,3
Azote Total Kjeldahl (mg/L)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5
Azote Ammoniacal (en NH ₄) (mg/L)	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01
Phosphore Total (en P) (mg/L)	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01
Mercure (µg/L)	0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03
Indice Hydrocarbures (C10-C40) (mg/L)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01

3.2 Evaluation de l'effort d'échantillonnage

Pour les crustacés et les poissons, l'ajout cumulé de points induit une augmentation progressive de la RS (Figure 7). Cette progression est marquée par une inflexion de cette courbe qui se situe autour de 20 points.

Le fait d'effectuer 78 points correspond à l'effort d'échantillonnage maximal que nous étions capables de mettre en œuvre sur une station. Avec cet effort maximal, 14 espèces ont pu être détectées.

Le fait d'appliquer 33 points d'échantillonnage permet d'obtenir une RS_{EPA} moyenne de 11,9 (85% de la RS_{EPA} maximale observée). De plus, les percentiles indiquent qu'à 33 points, il est possible d'atteindre la valeur maximale de 14 espèces (valeur du 95^{ème} percentile) avec une valeur du 5^{ème} percentile de 10.

Le choix d'un nombre minimal de points doit résulter d'un compromis entre l'obtention d'une image correcte du peuplement de crustacés et de poissons (bonne représentativité de la RS_{EPA} maximale) et des moyens (techniques, temps, humains et budgétaires) à mettre en œuvre pour obtenir ces données. Le choix d'appliquer 33 points correspond à ce compromis au niveau de la RS_{EPA} en tant que pêche « de routine ».

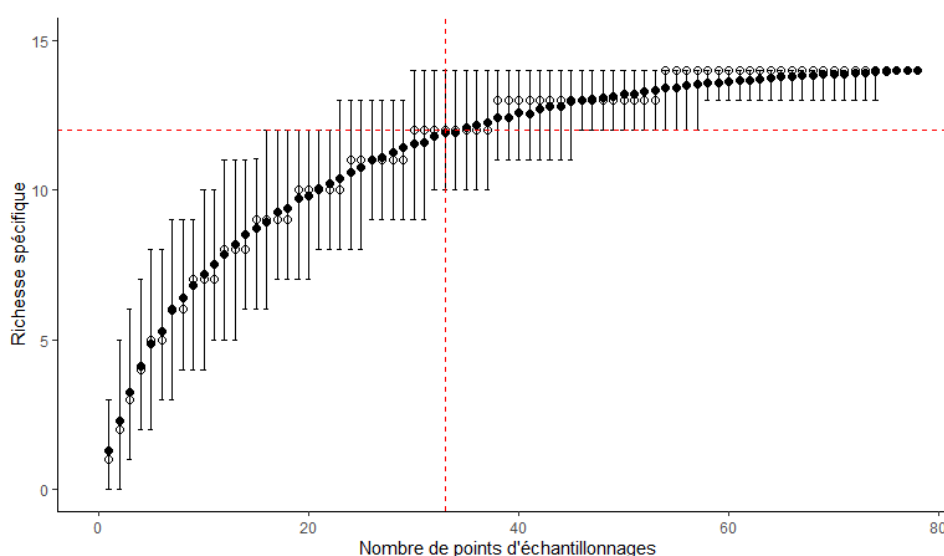


Figure 7. Richesse spécifique en fonction du nombre de points d'échantillonnage.

Les données proviennent de la station 4 (33 points d'échantillonnage) avec 45 points supplémentaires. La ligne pointillée verticale est le nombre de points d'échantillonnage réalisé de manière standardisée dans chaque station (33). La ligne pointillée horizontale correspond à la richesse spécifique moyenne obtenue pour cet effort d'échantillonnage (11,9 espèces, 85% de la

richesse spécifique totale observée). Points pleins : moyenne. Points vides : médiane. Barres d'erreur : 5^{ème} et 95^{ème} percentiles.

3.3 Bilan général des captures

A l'aide du protocole EPA et sur les quatre stations, 481 spécimens ont été capturés, 403 poissons et 78 crustacés appartenant à 14 espèces (11 espèces de poissons et 3 espèces de crustacées, Tableau 3, Figure 8). Le taux de mortalité a été de 2,3% (2,2% et 2,6% pour les poissons et crustacés respectivement), affectant principalement des individus juvéniles. Les paramètres utilisés pour la pêche électrique ont été efficaces pour capturer les crevettes du genre *Macrobrachium* tout en induisant une mortalité à peine supérieure à celle observée pour les poissons.

Des captures complémentaires ont été effectuées à l'aide d'un LR-24 (Smith-Root®) pour appréhender le pouvoir attractif du courant pulsé. De plus, un échantillonnage par épuisette a été ajouté pour augmenter l'effort d'échantillonnage. Les données exhaustives de l'ensemble des captures (Patagäi, LR-24, épuisette) sont présentées en Annexe.

3.4 Richesse spécifique et abondance en fonction des stations

La RS totale varie de 10 (ORION 1 et 3) à 12 espèces (ORION 2 et 4). De plus, la RS moyenne par point varie de 1,58 (ORION 1) à 2,12 (ORION 2) espèces (Figure 9 et Tableau 4). Nous ne constatons pas de différence significative de RS entre les stations.

Contrairement à la RS, l'abondance totale et l'abondance moyenne évolue entre les stations (Figure 10 et Tableau 4). L'abondance totale évolue de manière croissante selon un gradient aval-amont avec des valeurs de 91, 135 et 182 sur les stations ORION 1, ORION 2 et ORION 3 respectivement. La station ORION 4, située sur un affluent de la crique, présente une abondance totale similaire à celle d'ORION 1 avec 73 individus capturés. Ce gradient est similaire lorsque l'abondance moyenne par point est analysée : 2,76 ; 4,09 et 5,52 individus/point sont capturés pour les stations ORION 1, ORION 2 et ORION 3 respectivement. La station ORION 4 présente également une abondance moyenne similaire (2,21 individus / point) à celle d'ORION 1. Une différence significative (test de Wilcoxon, p-value<0,05) est observée entre les abondances moyennes des stations présentes en aval et celles présentes en amont.

En considérant la classification des stations suivant leur degré d'impact, nous avons détecté un total de 14 espèces sur les stations impactées (ORION 1 & 2) et 13 espèces sur les stations non-impactées (ORION 3 & 4). L'abondance moyenne par point d'échantillonnage n'est pas significativement différente entre les deux groupes (W = 284, p-value = 0,075).

La station ORION 4 était définie comme étant un réplica de la station ORION 3, soit une station non impactée. Le fait qu'elle ne présente pas des niveaux d'abondance similaire à la station ORION 3 ne permet pas de comparer de façon robuste les stations impactées et non-impactées. Il est intéressant de noter que le pourcentage de vase-limon suit la tendance inverse de l'abondance. Les deux stations les moins abondantes sont celles avec le plus fort pourcentage de vase-limon (ORION 1 et ORION 4). Néanmoins le faible nombre de station ne permet pas de vérifier de façon rigoureuse cette relation.

En ce qui concerne la caractérisation de l'impact de l'orpaillage, nous avons constaté que la richesse spécifique (RS) n'est pas un indicateur informatif pour mettre en évidence les différences entre les stations de cette zone. En revanche, l'abondance permet de mettre en évidence des différences significatives entre les stations. Par conséquent, ce protocole semble approprié pour évaluer des altérations environnementales peu marquées.

Le nombre d'espèces capturées correspond globalement à ce qui est attendu dans les conditions particulières des têtes de bassin versant guyanais avec les genres *Hartiella* et

Paralithoxus qui sont les plus abondants (Cilleros et al., 2017). Dans les stations les plus éloignées de la source, ce sont les genres *Bryconops*, *Bryconamericus* et *Ancistrus* qui sont les plus abondants. Des adultes de *Krobia* ont été observés dans les baranques, mais seulement six juvéniles ont été capturés dans les criques. Cette espèce a une préférence pour les eaux lenticues et il est possible que la colonisation de ces zones se fasse principalement grâce aux juvéniles.

Il y a une grande abondance de siluriformes (*Harttiella* et *Paralithoxus* principalement), consommateurs de petites algues et de biofilm ce qui indiquerait une bonne qualité de l'eau. Le deuxième groupe abondant est représenté par les Characidae (*Bryconops* et *Bryconamericus* principalement) qui se nourrissent majoritairement de petits insectes terrestres, ce qui indique un bon couvert forestier et donc un faible niveau de déforestation par les activités minières.

Une seule espèce piscivore (*Crenicichla* aff. *albopunctata* sp2) avec seulement six individus a été observée. La très faible abondance de prédateurs et l'absence d'espèces ubiquistes comme *Hoplias malabricus* est généralement le reflet d'un écosystème perturbé. En effet, en haut de la chaîne alimentaire les prédateurs sont particulièrement sensibles aux perturbations induites par des facteurs interdépendants tels que la diminution de proies, la perte d'habitat, la bioaccumulation et bioamplification de toxines ou métaux lourds etc.

L'absence d'autres espèces telle que *Hemibrycon surinamensis*, *Guyanancistrus brevispinis*, et les espèces de la famille des Crenuchidae est probablement la conséquence des altérations des écosystèmes de ces rivières et une possible recolonisation dans les stations les plus éloignées de la source sera à surveiller.

Les deux espèces de crevettes montrent une préférence d'habitats. *Macrobrachium brasiliense* est plus abondante dans les stations éloignées de la source et *M. inpa* est plus abondante dans les stations proches de la source (Tableau 4 et Tableau 5). Il est intéressant de noter que *M. inpa* est également très difficile à maintenir en captivité. Nous ne pouvons, avec ces données, déterminer si *M. inpa* est plus sensible à la qualité de l'eau (ou un autre facteur environnemental) ou si la compétition avec *M. brasiliense* la pousse dans les zones non occupées par cette dernière. Cette observation serait à confirmer avec des mesures complémentaires sur d'autres rivières.

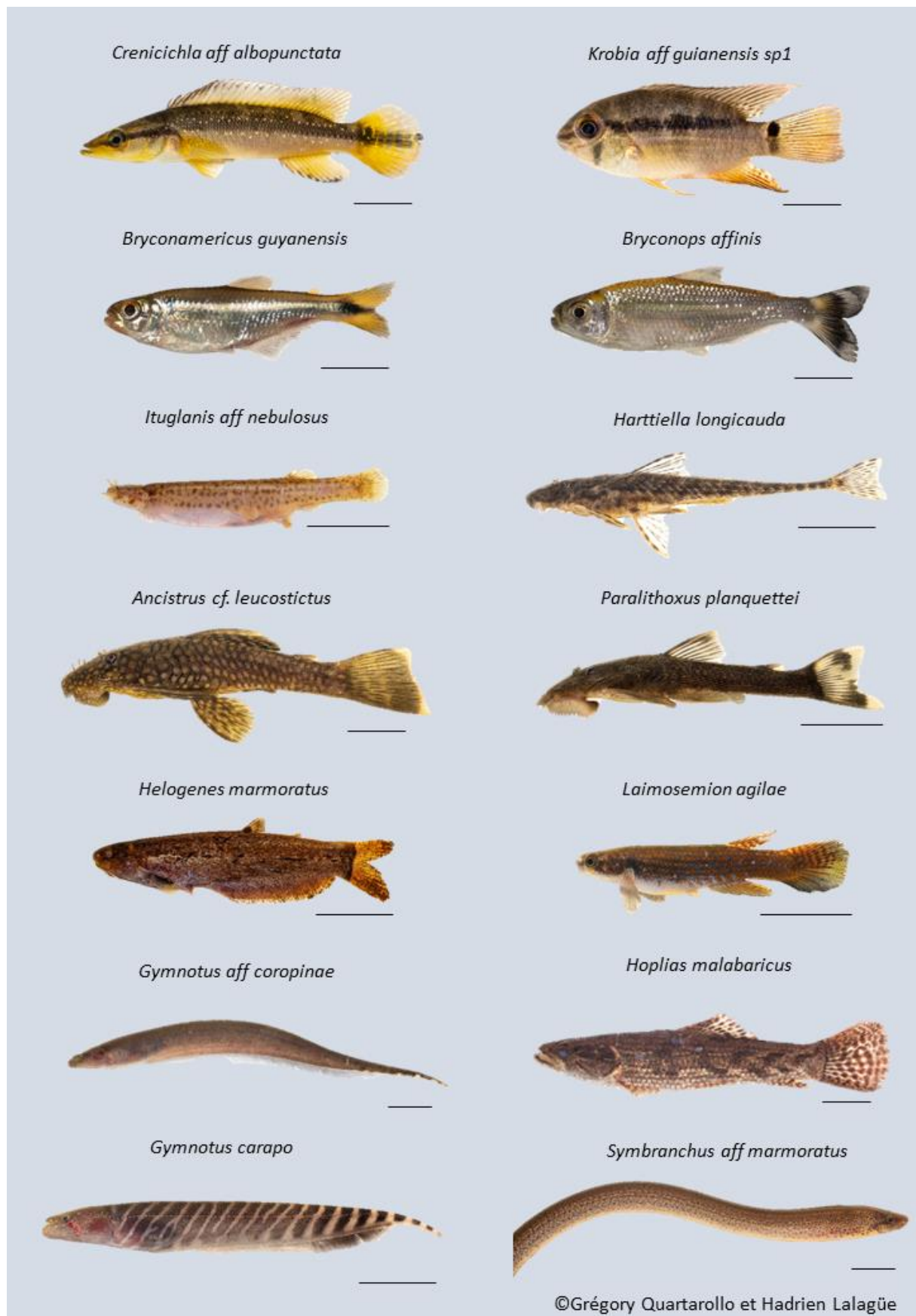


Figure 8. Photographies des poissons capturés, échelle : 1cm

Tableau 3. Abondance de chaque espèce obtenue pour 33 points d'échantillonnage pour chaque station.

Espèces		ORION 1	ORION 2	ORION 3	ORION 4
Poissons (Actinopterygii)	<i>Ancistrus</i> cf. <i>leucostictus</i>	15	13		3
	<i>Bryconamericus guyanensis</i>	41	43	13	3
	<i>Bryconops affinis</i>	17	2	3	
	<i>Crenicichla</i> aff. <i>albopunctata</i> sp2		2	1	3
	<i>Harttiella longicauda</i>	2	40	106	32
	<i>Helogenes marmoratus</i>	1	2		4
	<i>Ituglanis</i> aff. <i>nebulosus</i>		5	2	1
	<i>Krobia</i> aff. <i>guyanensis</i> sp. 1	4			2
	<i>Laimosemion agillae</i>		1	1	1
	<i>Paralithoxus planquettei</i>	2	11	23	3
	<i>Synbranchus</i> aff. <i>marmoratus</i>	1			
Crustacés (Malacostraca)	Crabe rouge (espèce non déterminée)		1	2	2
	<i>Macrobrachium brasiliense</i>	7	8	1	3
	<i>Macrobrachium inpa</i>	1	7	30	16
Total		91	135	182	73

Tableau 4. Nombre moyen de spécimens et d'espèces capturés par point et par station. Les valeurs sont présentées sous la forme moyenne $\pm$ erreur standard.

Station	Richesse spécifique moyenne	Abondance moyenne
ORION 1	1,58 $\pm$ 0,20	2,76 $\pm$ 0,44
ORION 2	2,12 $\pm$ 0,27	4,09 $\pm$ 0,58
ORION 3	2,06 $\pm$ 0,20	5,52 $\pm$ 0,77
ORION 4	1,52 $\pm$ 0,21	2,21 $\pm$ 0,43

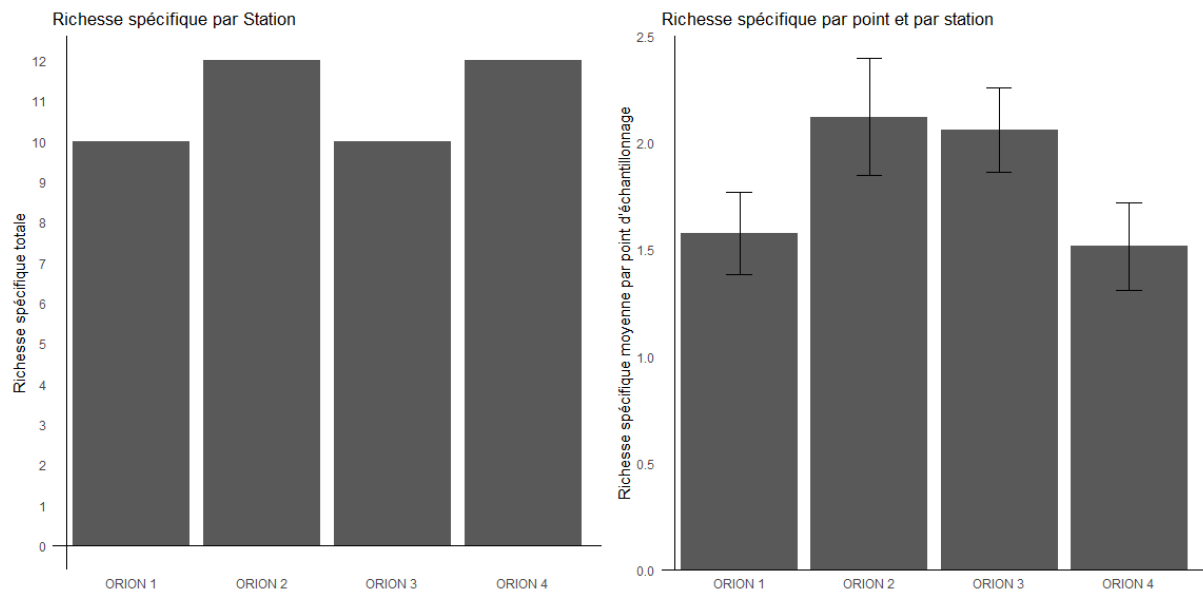


Figure 9. Richesse spécifique totale (à gauche) et moyenne par point (à droite).pour chaque station Il n'y a aucune différence significative entre les stations (test de Wilcoxon, pvalue <0,05). Barres d'erreur : erreur standard.

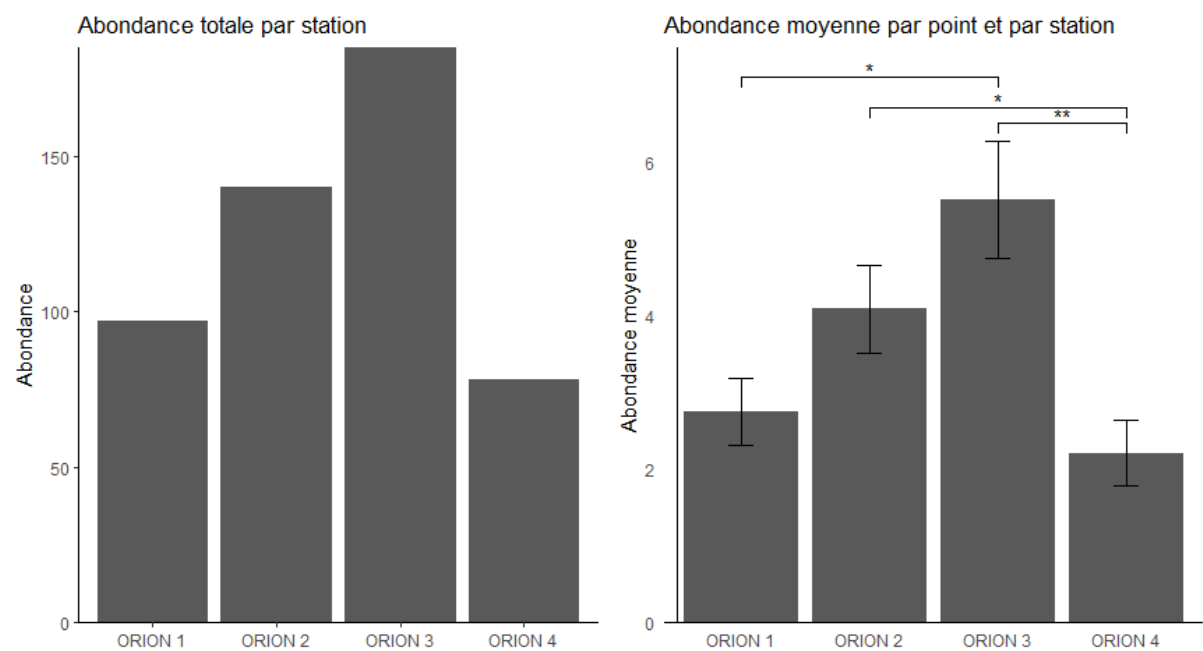


Figure 10. Abondance totale par station (à gauche) et abondance moyenne par point et par station (à droite). La significativité du test de Wilcoxon est représenté par les symboles (* < 0,05 ; ** < 0,01). Barres d'erreur : erreur-standard.

3.5 Focus sur *Harttiella longicauda*

En s'approchant de la source de la rivière, l'augmentation de l'abondance totale présentée dans la section 3.4 est principalement le reflet de l'augmentation du nombre d'*Harttiella longicauda* (Figure 11). Il s'agit d'une espèce benthique se nourrissant d'algues et de biofilm présents sur le substrat rocheux ou boisé, qui lui-même est plus présent en tête de bassin-versant et bénéficiant d'un meilleur accès à la lumière (eaux plus claires et plus faibles profondeurs).

L'abondance est plus élevée en tête de crique, il y a 106 individus dans la station ORION 3 contre seulement 40 et 2 sur ORION 2 et ORION 1 respectivement (Figure 11).

Au sein de chaque station, l'abondance d'*Harttiella longicauda* dans les différentes classes de tailles est globalement homogène (Figure 12). Cela indique que le peuplement est stable et que les individus s'y reproduisent. De plus, la proportion des individus au sein des classes est équivalente entre la station ORION 2 et ORION 3. Les individus de plus grandes tailles (50-60 mm) sont observés uniquement sur la station ORION 4 (Figure 12). Curieusement, dans cette station, l'abondance des *Harttiella* est bien plus faible que dans la station ORION 3 malgré la similarité de faciès entre ces deux stations. La plus forte proportion de vase-limon serait peut-être un des facteurs explicatifs, mais il faudrait augmenter le nombre de stations pour pouvoir le vérifier et améliorer les connaissances, pour l'instant très parcellaires, sur l'écologie de cette espèce.

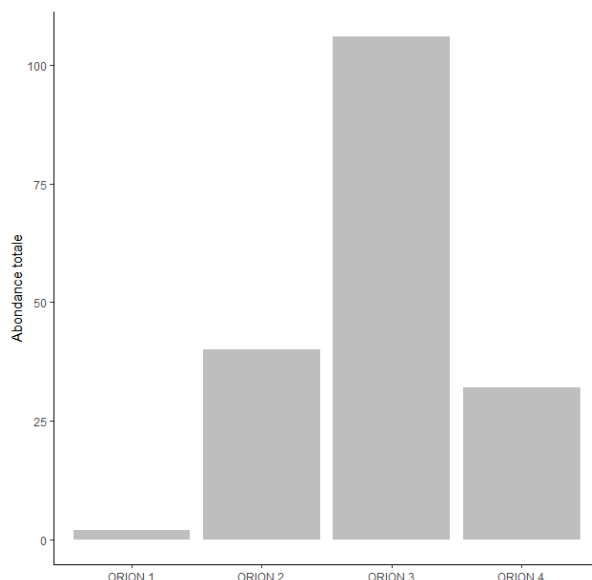


Figure 11. Abondance totale d'*Harttiella longicauda* par station.

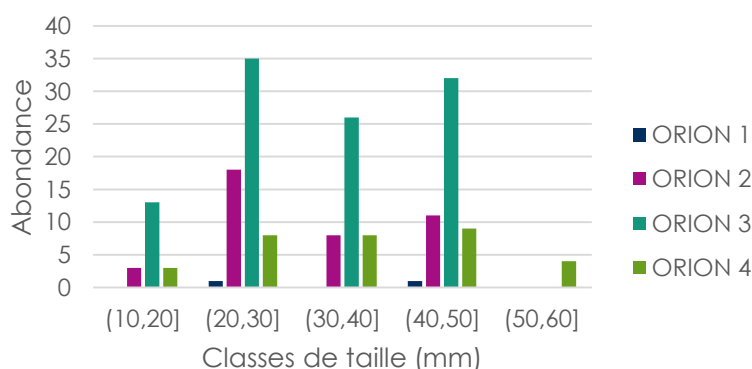


Figure 12. Répartition de l'abondance des *Harttiella longicauda* au sein des classes de taille et selon les stations.

4 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Sur l'ensemble des stations, la richesse spécifique s'est avérée égale. Le nombre d'espèces capturées correspond globalement à ce qui est attendu dans les conditions particulières des têtes de bassin versant guyanais. Par contre, nous avons constaté une évolution croissante de l'abondance lorsque les stations s'approchent de la source. Cette augmentation d'abondance est principalement due à deux espèces, *Harttiella longicauda* et *Lithoxus plaquettei*. Les mesures réalisées lors des captures ont indiqué une population d'*Harttiella longicauda* qui était bien installée dans la zone. Dans cette étude, la richesse spécifique (RS) n'est pas un indicateur informatif de l'impact de l'orpaillage contrairement à l'abondance. Par conséquent, notre protocole est adapté pour évaluer avec précision des perturbations subtiles et peu contrastées. En effet, la pêche à l'électricité permet d'obtenir des données d'abondance de manière standardisée et une comparaison fiable entre stations.

Néanmoins, la station ORION 4 était définie comme étant un réplica de la station ORION 3. Le fait qu'elle ne présente pas des niveaux d'abondance similaire à la station ORION 3 ne permet pas de répliquer la comparaison des communautés d'espèces entre les zones impactées et non-impactées. Il est possible que notre évaluation de l'impact de l'orpaillage, ainsi que notre classification *a priori* des stations, soient erronée en raison d'une connaissance limitée de l'intensité des activités illégales dans les zones de suivi. De plus, il est probable que d'autres facteurs environnementaux puissent expliquer les variations d'abondance observées. L'idéal, pour évaluer l'impact de l'orpaillage, serait de comparer ces stations (qui ont toutes été plus ou moins orpaillées) avec des stations qui n'ont jamais été orpaillées dans le même secteur et/ou suivre dans le temps l'évolution des communautés de poissons et crustacés. En effet, la datation des périodes d'activité minière est une information importante pour l'interprétation des résultats.

Pour compléter l'évaluation des pressions d'orpaillage, la mesure de mercure bio-assimilable ainsi qu'une analyse chimique des sédiments sont recommandées pour chaque station. En outre, l'analyse du peuplement de diatomées est un outil efficace pour évaluer la qualité chimique de l'eau. Cet outil complémentaire pourrait permettre de mieux appréhender l'impact de l'orpaillage illégal sur les cours d'eau.

5 REMERCIEMENTS

L'équipe d'Hydreco remercie l'équipe de la réserve nationale des Nouragues qui a permis la réalisation de la mission et en particulier à Jennifer Devillechabrolle, Guillaume Delaitre et Stefan Icho pour leur précieuse aide sur le terrain. Nous remercions également Pierre-Yves Le Bail pour son aide à l'identification de certains spécimens.

6 BIBLIOGRAPHIE

- Abell, R., Thieme, M.L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Balderas, S.C., Bussing, W., Stiassny, M.L.J., Skelton, P., Allen, G.R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J.V., Heibel, T.J., Wikramanayake, E., Olson, D., López, H.L., Reis, R.E., Lundberg, J.G., Sabaj Pérez, M.H., Petry, P., 2008. Freshwater Ecoregions of the World: A New Map of Biogeographic Units for Freshwater Biodiversity Conservation. *BioScience* 58, 403–414. <https://doi.org/10.1641/B580507>
- Allard, L., Popée, M., Vigouroux, R., Brosse, S., 2016. Effect of reduced impact logging and small-scale mining disturbances on Neotropical stream fish assemblages. *Aquat. Sci.* 78, 315–325. <https://doi.org/10.1007/s00027-015-0433-4>
- Asner, G.P., Llactayo, W., Tupayachi, R., Luna, E.R., 2013. Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 18454–18459. <https://doi.org/10.1073/pnas.1318271110>
- Brosse, S., Grenouillet, G., Gevrey, M., Khazraie, K., Tudesque, L., 2011. Small-scale gold mining erodes fish assemblage structure in small neotropical streams. *Biodivers. Conserv.* 20, 1013–1026. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0011-6>
- Cilleros, K., Allard, L., Vigouroux, R., Brosse, S., 2017. Disentangling spatial and environmental determinants of fish species richness and assemblage structure in Neotropical rainforest streams. *Freshw. Biol.* 62, 1707–1720. <https://doi.org/10.1111/fwb.12981>
- Hammond, D.S., Gond, V., Thoisy, B. de, Forget, P.-M., DeDijn, B.P.E., 2007. Causes and Consequences of a Tropical Forest Gold Rush in the Guiana Shield, South America. *AMBIO J. Hum. Environ.* 36, 661–670. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[661:CACOAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[661:CACOAT]2.0.CO;2)
- Mackereth, F.J.H., Heron, J., Talling, J.F., 1978. *Water Analysis*. Windemere : Freshwater Biological Association Scientific Publication.
- Mol, J.H., Ouboter, P.E., 2004. Downstream effects of erosion from small-scale gold mining on the instream habitat and fish community of a small neotropical rainforest stream. *Conserv. Biol.* 18, 201–214. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.00080.x>
- Peterson, G.D., Heemskerk, M., 2001. Deforestation and forest regeneration following small-scale gold mining in the Amazon: the case of Suriname. *Environ. Conserv.* 28, 117–126. <https://doi.org/10.1017/S0376892901000121>
- Pottier, G., Azam, D., Beaulaton, L., Vigneron, T., Rives, J., Marchand, F., Pénil, C., 2022a. *La pêche scientifique à l'électricité dans les milieux aquatiques continentaux*, Office Français de la biodiversité. ed.
- Pottier, G., Bargier, N., Bennevault, Y., Vigouroux, R., Azam, Marchand, F., Nevoux, M., Roussel, J.-M., 2022b. Optimising electrofishing settings for shrimp and fish in shallow tropical streams. *Fish. Res.* <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106457>
- Pottier, G., Beaumont, W.R., Marchand, F., Le Bail, P., Azam, D., Rives, J., Vigouroux, R., Roussel, J., 2019. Electrofishing in streams of low water conductivity but high biodiversity value: Challenges, limits and perspectives. *Fish. Manag. Ecol.* *fme.12384*. <https://doi.org/10.1111/fme.12384>
- Pottier, G., Marchand, F., Beaulaton, L., 2020a. A comprehensive guide to set up correctly an electrofishing gear. *Environ. Monit. Assess.* 192, 22. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8000-4>
- Pottier, G., Nevoux, M., Marchand, F., 2020b. Electrofishing eel, salmon and trout: impact of waveform and frequency on capture-per-unit-effort and spinal damage. *Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst.* 42. <https://doi.org/10.1051/kmae/2020034>

- R Development Core Team, 2011. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing [WWW Document]. URL <http://www.r-project.org/> (accessed 8.25.15).
- Raitif, J., Pottier, G., Beaulaton, L., Rivot, E., Le Bail, P.-Y., Roussel, J.-M., Azam, D., Marchand, F., 2022. La pêche scientifique à l'électricité en conductivité extrêmement basse. INRAE/OFB.
- Roussel, J.-M., Pottier, G., Azam, D., Vigouroux, R., Marchand, F., Bargier, N., Nevoux, M., Raitif, J., Penil, C., Cosson, E., Beaulaton, L., 2023. Inventaire de biodiversité des poissons et crustacés d'eau douce par pêche à l'électricité en petits cours d'eau tropicaux : réglages, efficacité et recommandations. *Sci. Eaux Territ.* 55–60. <https://doi.org/10.20870/Revue-SET.2023.42.7268>
- Sala, O.E., Stuart Chapin, F., Iii, Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287, 1770–1774. <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>
- Taubira, C., 2011. Rapport no 3314 fait au nom de la commission des affaires étrangères sur le projet de loi no 2845.
- Tudesque, L., Grenouillet, G., Gevrey, M., Khazraie, K., Brosse, S., 2012. Influence of small-scale gold mining on French Guiana streams: are diatom assemblages valid disturbance sensors? *Ecol. Indic.* 14, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.07.018>
- Vari, R.P., Ferraris, C.J., Radosavljevic, A., Funk, V.A., 2009. Checklist of the freshwater fishes of the guiana shield. *Bull. Biol. Soc. Wash.* 17, i–i. <https://doi.org/10.2988/0097-0298-17.1.i>
- Wantzen, K., Mol, J., 2013. Soil erosion from agriculture and mining: a threat to tropical stream ecosystems. *Agriculture* 3, 660–683. <https://doi.org/10.3390/agriculture3040660>
- Wood, P.J., Armitage, P.D., 1997. Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environ. Manage.* 21, 203–217. <https://doi.org/10.1007/s002679900019>
- Wright, J.P., Flecker, A.S., 2004. Deforesting the riverscape: the effects of wood on fish diversity in a Venezuelan piedmont stream. *Biol. Conserv.* 120, 439–447. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.02.022>
- Yule, C.M., Boyero, L., Marchant, R., 2010. Effects of sediment pollution on food webs in a tropical river (Borneo, Indonesia). *Mar. Freshw. Res.* 61, 204. <https://doi.org/10.1071/MF09065>

7 ANNEXE

Tableau 5. Liste exhaustive des espèces capturées à l'aide de différents moyens de pêche (Patagaï, LR-24, épuisette) sur les stations.

Espèces	ORION 1	ORION 2	ORION 3	ORION 4
<i>Ancistrus</i> cf. <i>leucostictus</i>	22	18	0	3
<i>Bryconamericus guyanensis</i>	65	74	19	4
<i>Bryconops affinis</i>	31	9	3	2
Crabe rouge (espèce non déterminée)	0	1	3	2
<i>Crenicichla</i> aff. <i>Albopunctata</i> sp.2	0	3	1	3
<i>Gymnotus carapo</i>	1	0	0	2
<i>Gymnotus coropinae</i>	0	1	0	0
<i>Harttiella longicauda</i>	8	66	147	36
<i>Helogenes marmoratus</i>	2	2	0	6
<i>Hoplias malabaricus</i>	0	0	1	0
<i>Ituglanis</i> aff. <i>nebulosus</i>	0	7	3	4
<i>Krobia</i> aff. <i>guianensis</i> sp.1	4	0	0	4
<i>Laimosemion agillae</i>	2	1	1	28
<i>Macrobrachium brasiliense</i>	25	12	2	24
<i>Macrobrachium inpa</i>	5	16	49	25
<i>Paralithoxus planquettei</i>	5	18	31	3
<i>Synbranchus</i> aff. <i>marmoratus</i>	1	0	0	0
Total	171	228	260	146