

# Observatoire de la Résilience des Impacts de l'Orpillage aux Nouragues

Diagnostic de l'état écologique des milieux  
aquatiques du projet ORION



*Novembre 2023*  
Rapport ONIKHA / RP2023-07

# Observatoire de la Résilience des Impacts de l'Orpaillage aux Nouragues

Diagnostic de l'état écologique des milieux aquatiques du projet ORION

## Etude réalisée pour le compte de :

Réserve naturelle nationale des Nouragues

Contact : Jennifer Devillechabrolle - Conservatrice de la réserve naturelle des Nouragues (co-gérée par l'ONF et le GEPOG)



Avec le concours financier de la DGTM Guyane



Par



**ONIKHA**  
SASU au capital de 1 000 euros  
PK 9 route Degrad Saramaca - 97310 Kourou  
Tél. : 06 94 25 06 21 - contact.onikha@gmail.com  
www.onikha.fr

Code	Version	Date	Rédigé par
ONIKHA / RP2023-07	V1	29/11/2023	S. Clavier, & P. Le Page.

*En bibliographie ce rapport sera cité comme suit :*

Clavier S., & Le Page P., 2023. Observatoire de la Résilience des Impacts de l'Orpaillage aux Nouragues. Diagnostic de l'état écologique des milieux aquatiques du projet ORION. Rapport ONIKHA RP 2023-07. 38p.

*Photo de couverture : Crique Mazin dans le secteur ORION. P. Le Page ©*

*© Ce document est protégé par des droits d'auteur. Toute reproduction partielle ou totale ne peut être effectuée sans l'autorisation du propriétaire : RN des Nouragues*

# SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>RESUME</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MATÉRIEL &amp; MÉTHODES</b> .....	<b>8</b>
3.1	STATIONS D'ETUDES .....	8
3.2	PERIODE D'ETUDE .....	11
3.3	PROTOCOLES D'ECHANTILLONNAGE .....	11
3.3.1	Mesures physico-chimiques <i>in situ</i> .....	11
3.3.2	Invertébrés aquatiques .....	12
<b>4</b>	<b>RÉSULTATS &amp; DISCUSSIONS</b> .....	<b>20</b>
4.1	QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX SUPERFICIELLES SOUS IMPACT DE L'ORPAILLAGE CLANDESTIN .....	20
4.2	QUALITE ECOLOGIQUE DES STATIONS SOUS IMPACT DE L'ORPAILLAGE CLANDESTIN .....	21
4.2.1	Inventaire .....	21
4.2.2	Métriques générales .....	27
4.2.3	Mesures de similarité/distance .....	29
4.2.4	Approche fonctionnelle .....	30
4.2.5	Indices biotiques .....	31
<b>5</b>	<b>CONCLUSION - PERSPECTIVES</b> .....	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>ANNEXES</b> .....	<b>39</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Milieu aquatique du projet ORION, ici la station 2 .....	5
Figure 2 : Panorama (très incomplet !) de la diversité des invertébrés aquatiques de Guyane .....	7
Figure 3 : Stations d'études du projet ORION .....	8
Figure 4 : Vues amont (à gauche) et aval (à droite) des stations d'échantillonnages.....	10
Figure 5 : Pluviométrie annuelle 2023 et mensuelle (11/2022) (Source Météo France).....	11
Figure 6 : Hydroécocoregions et zone d'étude du projet ORION.....	12
Figure 7 : Collecte des invertébrés aquatiques – protocole PEZADA DCE .....	15
Figure 8 : Opération de pré-tri sur le terrain.....	15
Figure 9 : Les formes Larva Z (à gauche) et Larva W (à droite) n'ont pu être attribuées à des genres d'Elmidae connus.....	24
Figure 10 : Courbes d'accumulations des familles (à gauche) et des genres (à droite) d'invertébrés aquatiques du projet ORION ...	25
Figure 11 : Les stations du projet ORION abritent tout un cortège de taxons polluo-sensibles comme les plécoptères Perlidae (à gauche, le genre <i>Anacroneuria</i> ), les mégaloptères Corydalidae (au centre, le genre <i>Corydalus</i> ) ou les trichoptères Philopotamidae (à droite, le genre <i>Chimarra</i> ).....	26
Figure 12 : Le genre <i>Baetodes</i> (Ephemeroptera : Baetidae) est nouvellement cité de Guyane .....	27
Figure 13 : Métriques des stations ORION vis-à-vis d'un milieu de référence .....	28
Figure 14 : Matrices de similarité/distance : abondances (à gauche) et : occurrences (à droite) - ORION.....	29
Figure 15 : Groupes trophiques fonctionnels – ORION .....	30

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des sites d'échantillonnages .....	9
Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques mesurés <i>in situ</i> .....	12
Tableau 3 : Liste des substrats et habitabilité du protocole PEZADA DCE –(Modifié d'après Guide méthodologique SMEG – à paraître) .....	14
Tableau 4 : Classes de vitesse du courant du protocole PEZADA DCE.....	14
Tableau 5 : Unités Opérationnelles et polluo-sensibilité de l'indice SMEG (Modifié d'après Thomas et al., 2001) .....	17
Tableau 6 : Classes de qualité de l'indice SMEG (d'après Clavier <i>et al.</i> , 2014) .....	18
Tableau 7 : Valeurs de référence des métriques de l'IBMB (d'après Dedieu et al., 2015) .....	19
Tableau 8 : Classes de qualité de l'indice IBMG .....	19
Tableau 9 : Classes de qualité physico-chimique des cours d'eau de Guyane (Source : Office de l'Eau Guyane 2020).....	20
Tableau 10 : Paramètres physico-chimiques <i>in situ</i> – <i>En bleu les valeurs de très bon état, en vert de bon état</i> .....	20
Tableau 11 : Inventaire des invertébrés aquatiques des stations du projet ORION ; ** Nouvel enregistrement pour la Guyane .....	21
Tableau 12 : Estimateurs de richesses des invertébrés aquatiques.....	25
Tableau 13 : Métriques générales – ORION .....	27
Tableau 14 : Indices SMEG – ORION .....	31
Tableau 15 : Indices SMEG – ORION avec <i>Baetodes</i> .....	31
Tableau 16 : Indices IBMG – ORION.....	32
Tableau 17 : Indices IBMG2 – ORION .....	32

# 1 RESUME

Un diagnostic de l'état écologique des milieux aquatiques sous emprise de l'orpaillage illégal a été mené sur le secteur dit « ORION » de la réserve naturelle nationale des Nouragues (RN des Nouragues). Quatre stations d'échantillonnages ont été prospectées sur le bassin de la crique Mazin en mai 2023, soit environ un an et huit mois après l'arrêt des activités d'orpaillage illégal. Une station sur un proche affluent et trois stations positionnées sur le même linéaire selon un gradient amont-aval ont permis d'évaluer, outre l'état de dégradation des milieux aquatiques, la continuité écologique. Le diagnostic écologique a porté sur la réalisation de mesures physico-chimiques de surface et sur les bio-indicateurs invertébrés aquatiques. Malgré les atteintes passées, toutes les stations ressortent en très bon état écologique, tant sur le plan physico-chimique que biologique. Les listes faunistiques sont très diversifiées. Elles comptent une forte proportion de taxons polluo-sensibles, les plus exigeants vis-à-vis de la qualité de l'eau et de l'habitat et donc les derniers à réinvestir le milieu suite à une perturbation. Aucune rupture de continuité écologique n'est mise en évidence et le milieu n'apparaît pas modifié sur le plan fonctionnel. Ainsi, un an et huit mois après l'arrêt des activités d'orpaillage illégal, une résilience quasi totale des milieux aquatiques est observée et peu ou pas de différences ne sont notées par rapport à un milieu de référence exempt de pressions anthropiques. Cette résilience est probablement due à trois facteurs :

- une pression d'intensité et de durée modérée (petits chantiers, démantèlement relativement rapide par les forces armées),
- un temps suffisamment long entre l'arrêt de la pression et le diagnostic écologique (1 an et 8 mois),
- et des cours d'eau énergétiques en tête de bassin favorisant le lessivage des fines, la restauration de l'hydromorphologie et des habitats aquatiques.

En raison de l'état de conservation très satisfaisant des milieux aquatiques, une nouvelle mission pourra intervenir dans un délai de cinq ans environ. Il sera alors intéressant de réitérer les mesures en saison sèche, afin de s'assurer que les forts débits de la saison des pluies n'ont pas contribué à sous-estimer la pression, et de s'attacher à trouver un milieu de référence sur le secteur afin d'affiner les résultats. La poursuite des inventaires est également d'intérêt, car les prospections ont permis la découverte de *Baetodes* (Ephemeroptera : Baetidae), un genre d'éphéméroptère nouvellement cité pour la Guyane.

Mots clés : RN des Nouragues, ORION, orpaillage illégal, bio-indicateurs, invertébrés aquatiques, physico-chimie, état écologique, *Baetodes*

## SUMMARY

An ecological assessment of the streams under the influence of illegal gold mining was carried out in the "ORION" sector of the Nouragues National Reserve (RN des Nouragues). Four sampling stations were surveyed in the Mazin basin in May 2023, approximately one year and eight months after the cessation of illegal gold-mining activities. One station on a nearby tributary and three stations positioned along the same river, following an upstream-downstream gradient, were used to assess not only the state of degradation of the aquatic environment, but also ecological continuity. The ecological diagnosis was based on surface physical-chemical measurements and aquatic invertebrate bioindicators. Despite past damage, all stations were found to be in very good ecological condition, both in physical-chemical and biological terms. The fauna lists are highly diversified. They include a high proportion of sensitive taxa, the most demanding in terms of water and habitat quality, and therefore the last to return to the environment following disturbance. No break in ecological continuity was detected, and the environment did not appear to have undergone any functional changes. As a result, one year and eight months after the end of illegal gold panning activities, the aquatic environment is almost completely resilient, with little or no difference compared with a reference environment free of pressure. This resilience is probably due to three factors:

- pressure of moderate intensity (small-scales illegal gold mining sites) and duration (relatively rapid dismantling of camps by armed forces),
- a sufficiently long time between the cessation of pressure and the ecological diagnosis (1 year and 8 months),
- and energetic watercourses at the head of the catchment area, helping to leach out fines and restore hydromorphology and aquatic habitats.

Given the very satisfactory state of conservation of the aquatic environments, a new mission could be carried out in around five years' time. It will then be interesting to repeat the measurements during the dry season, to ensure that the high flows of the rainy season have not contributed to underestimating the pressure, and to work towards finding a reference environment in the sector in order to refine the results. The continuation of the inventories is also of interest, as the surveys led to the discovery of *Baetodes* (Ephemeroptera: Baetidae), a new genus of Ephemeroptera for French Guiana.

Keywords: Natural Reserve des Nouragues, ORION, illegal gold panning, bioindicators, aquatic invertebrates, physicochemistry, ecological assessment, *Baetodes*



Figure 1 : Milieu aquatique du projet ORION, ici la station 2

## 2 INTRODUCTION

L'orpaillage illégal, qui consiste à extraire l'or des alluvions du cours d'eau (orpaillage alluvionnaire) ou directement de la roche dans le filon d'or (orpaillage primaire) sans respect de la réglementation, génère de multiples impacts tant sociétaux (droit humain, peuples autochtones, maladies, développement socio-économique, paix et stabilité politique, *etc.*) qu'environnementaux (pollution de la terre et de l'eau, destruction de la biodiversité, déforestation, *etc.*) (Zabyelina & van Uhm, 2020). Cette activité génère 48 milliards de revenus d'origine criminelle par an selon une évaluation réalisée en 2016 par INTERPOL et le Programme des Nations Unies pour l'environnement, principalement en Amérique latine qui est l'épicentre du phénomène. Depuis la pandémie COVID, le cours du métal précieux s'est encore accru, favorisant le développement de l'orpaillage illégal.

La Guyane, unique enclave européenne d'Amérique du Sud, est un petit territoire niché entre le Brésil et le Surinam. Ses 84 000 km<sup>2</sup> couverts à 90 % par de la forêt tropicale humide en état de conservation remarquable (Hammond, 2005), son exceptionnel réseau hydrographique (avec 800 000 m<sup>3</sup>/hab./an, la Guyane est le troisième territoire au monde en termes de disponibilité en eau, UNESCO 2003) et sa densité de population parmi les plus faibles au monde (3,4 hab/km<sup>2</sup>, Insee 2019), concourent à la préservation d'une biodiversité exceptionnelle : Plus de 7 000 espèces de plantes dont 1 200 espèces d'arbres, 205 espèces de mammifères, 290 espèces de reptiles et amphibiens, 711 espèces d'oiseaux et 416 espèces de poissons d'eau douce et saumâtre... Elle compte autant d'espèces de vertébrés que l'Europe entière et, sur un seul de ses hectares, plus d'espèces d'arbres. Son sous-sol est également riche en ressources minérales. Entre 1975 et 1985, Le Bureau de Recherche Géologique et Minières (BRGM) a réalisé l'inventaire minier et estimé un potentiel aurifère de 120 t<sup>1</sup> ainsi que d'autres potentialités importantes en bauxite, kaolin, étain, niobium, tantale, cuivre, nickel, molybdène, diamant, *etc.* Cette richesse attise la convoitise des orpailleurs illégaux et, quand 1 180 kilogrammes d'or sont produits légalement en Guyane en 2019, la production illégale est, elle, estimée à 10 t. Malgré les nombreuses opérations de lutte menées par l'État (opérations anaconda, harpie, *etc.*), on estime encore la présence de 500 chantiers actifs et de 10 000 « *garimpeiros* » (appellation locale des orpailleurs clandestins) principalement venus du Brésil.

Les impacts environnementaux de l'orpaillage illégal sont sans commune mesure pour le milieu aquatique qui est le cœur de cible de l'exploitation alluvionnaire. Afin d'extraire le précieux minerai des alluvions, les orpailleurs clandestins utilisent des lances Monitor et projettent de l'eau à haute pression pour décaper et débourber le lit du cours d'eau. Le cours d'eau est alors complètement détruit et des quantités considérables de matières en suspension sont relarguées (Dedieu *et al.*, 2014) asphyxiant la vie aquatique sur des kilomètres en aval. Le mercure (Hg), métal lourd bioamplifiable hautement toxique pour les organismes (Langford & Ferner, 1999 ; Bernhoft 2012) utilisé pour amalgamer l'or, <sup>2</sup>contribue, de plus, à empoisonner durablement l'ensemble de la chaîne trophique (Richard *et al.*, 2000 ; Lavoie *et al.*, 2013), jusqu'à l'homme en consommateur final (Fréry *et al.*, 2001, Fujimura *et al.*, 2012).

Les invertébrés aquatiques (insectes, crustacés, mollusques, vers, *etc.*) (Figure 2), définis comme les animaux dépourvus de colonne vertébrale, retenus par un vide de maille de 500 µm et dont une partie, au moins, du cycle vital est aquatique (Resh & Jackson, 1993), constituent la majeure fraction de la diversité aquatique. Indispensables au bon fonctionnement de l'écosystème (niveaux inférieurs du réseau trophique, bioturbation, recyclage de la matière organique, *etc.*), ce sont aussi les bio-indicateurs les plus utilisés au monde (Bonada *et al.*, 2006).

---

<sup>1</sup> Une note du BRGM de 2015 indique une ressource de 210 t d'or primaire et 167 t d'or alluvionnaire.

<sup>2</sup> On estime qu'entre 1,3 et 1,5 kilogramme de mercure sont utilisés pour extraire 1 kilogramme d'or soit entre 13 et 15 t de mercure rejeté annuellement en Guyane par l'exploitation illégale (Boudou *et al.*, 2006)



Figure 2 : Panorama (très incomplet !) de la diversité des invertébrés aquatiques de Guyane

Ils possèdent en effet des propriétés très intéressantes pour la conception d'outils de surveillance biologiques (Barbour *et al.*, 1999) :

- une sédentarité au sein de leur habitat permettant l'évaluation d'impacts localisés ;
- une large répartition géographique permettant une interpolation des méthodes à grande échelle ;
- une durée de vie relativement longue : de quelques mois à quelques années permettant d'évaluer la cinétique d'une perturbation ;
- une grande diversité permettant d'offrir une réponse différenciée à un vaste spectre de perturbations.

En Guyane, ils sont étudiés depuis les années 90 et utilisés comme bio-indicateurs dans le cadre de la surveillance DCE (Directive Cadre européenne sur l'Eau) depuis 2007. Ils bénéficient de méthodologies adaptées au territoire permettant une détection fine des pressions. Ils s'avèrent particulièrement pertinents dans la détection de la pression d'orpaillage illégale : diminution significative de la richesse taxonomique, modification fonctionnelle de la communauté d'éphéméroptères (Dedieu *et al.*, 2015 a, b). Les indices biotiques invertébrés, permettant de qualifier l'état écologique d'une station, sont également sensibles à cette pression (Laperche *et al.*, 2008, Clavier *et al.*, 2014) ; les plus récents l'ayant intégré dès leur construction (ex. : IBMG 1 et 2 — Dedieu *et al.*, 2016).

L'un des objectifs du projet ORION, Observatoire de la Résilience des Impacts de l'Orpaillage aux Nouragues, est de caractériser les impacts de l'orpaillage illégal sur une partie du réseau hydrographique de la Réserve. Dans cette optique, le bureau d'études Onikha a réalisé un diagnostic de l'état écologique de quatre stations exploitées illégalement sur le bassin de la crique Mazin. Les résultats des mesures et les conclusions associées sont exposés dans le présent rapport.

## 3 MATÉRIEL & MÉTHODES

### 3.1 Stations d'études

L'échantillonnage de la macrofaune benthique s'est déroulé sur le secteur dit « ORION » de la réserve naturelle nationale des Nouragues (RN des Nouragues). Plus précisément, l'étude s'inscrit dans le sous-bassin de la crique Mazin qui appartient au bassin versant de la Comté-Mahury. Quatre stations ont été prospectées. Trois sont situées sur un linéaire impacté par les activités d'orpaillage illégal (stations 1, 2 et 3) nommé ci-après Mazin Ouest. Elles sont positionnées selon un gradient amont-aval et permettent d'évaluer, outre l'état des stations, la continuité écologique. Une station est positionnée sur un proche affluent nommé ci-après Mazin Est. Cette station devait à l'origine servir de référence, mais des traces d'activités illégales, de moindre ampleur, ont également été observées sur ses environs. Ces éléments sont représentés Figure 3. L'impact apparent des chantiers d'orpaillage clandestin est figuré proportionnellement à la taille des symboles.

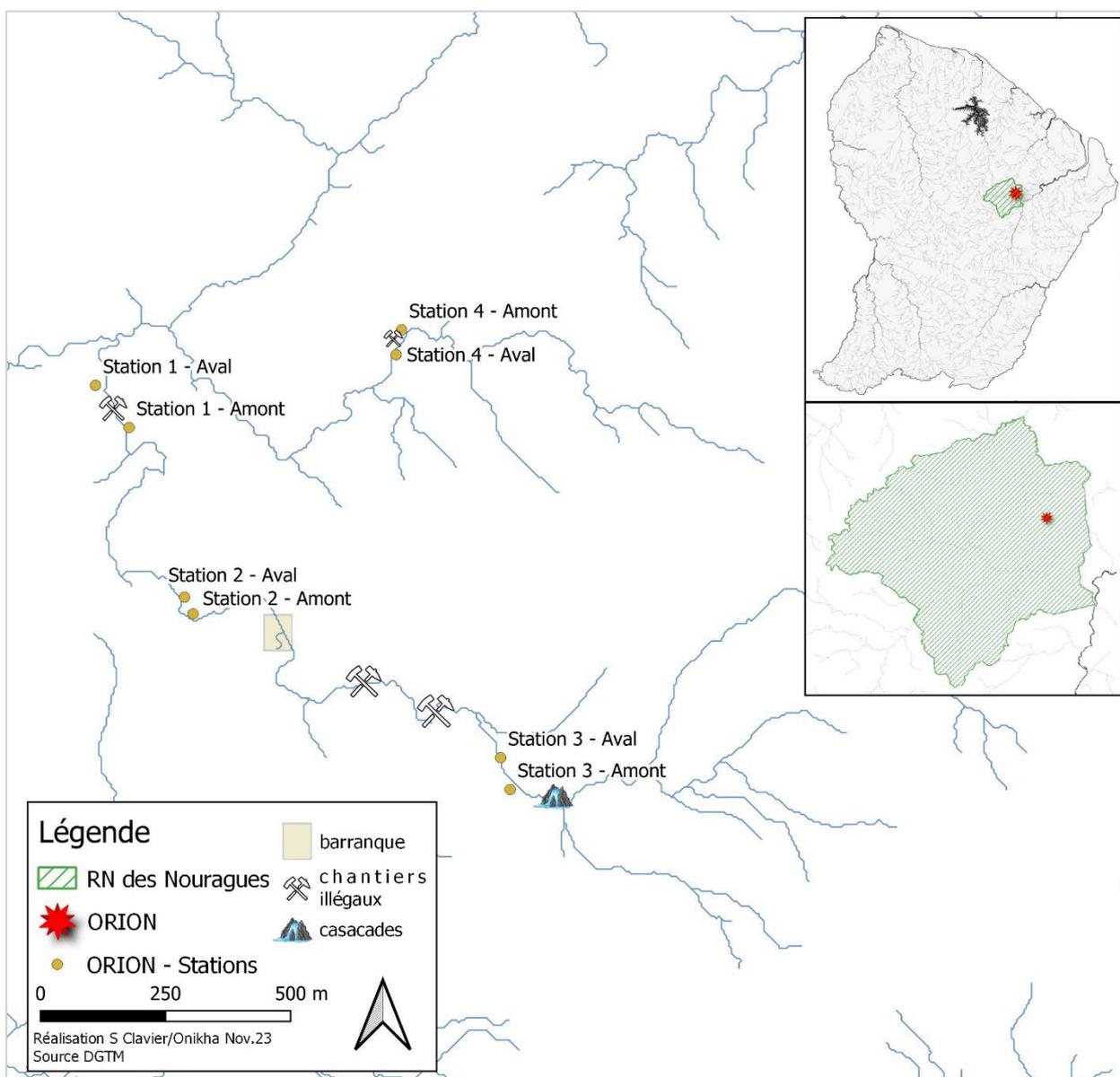


Figure 3 : Stations d'études du projet ORION

Les coordonnées géographiques des stations sont fournies en Tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des sites d'échantillonnages

STATION	AMONT		AVAL		date
	X (UTM 22)	Y (UTM 22)	X (UTM 22)	Y (UTM 22)	
Crique Mazin camp — <b>Station 1</b>	319108	454558	319041	454643	23/05/2023
Crique Mazin aval barranque — <b>Station 2</b>	319236	454182	319219	454216	23/05/2023
Crique Mazin cascades amont — <b>Station 3</b>	319870	453828	319851	453892	24/05/2023
Autre affluent — <b>Station 4</b>	319653	454755	319642	454705	25/05/2023

Au vu des éléments de terrain :

- La station 3 présente l'impact théorique minimal de Mazin Ouest : peu ou pas de traces d'orpaillage illégal ont été relevées dans ses environs.
- La station 2, localisée à l'aval immédiat d'une ancienne barranque (bassin d'orpaillage creusé dans le lit du cours d'eau) et de deux chantiers illégaux d'importance, présente l'impact théorique le plus important de Mazin Ouest
- La station 1 présente un impact théorique inférieur à la station 2. Un chantier d'orpaillage clandestin de moindre ampleur y est localisé.
- Enfin, la station 4 est située sur un autre petit affluent (Mazin Est) et présente un impact théorique de faible ampleur. D'anciennes traces d'orpaillage y ont été relevées, comme la présence d'un camp près de la station et des déchets domestiques.

Les stations présentent un faciès typique des zones de sources. Ce sont des petits cours d'eau dominés par les substrats minéraux grossiers (graviers et blocs) qui courent entre des reliefs de moyenne altitude (env. 200-300m). Le courant est vif (25-75 cm/s dans les sections de radiers, voire > 75 cm/s), la profondeur faible (< 30 cm) et l'ombrage important (> 75 %). Ces cours d'eau, situés en tête de bassin, ont une énergie importante. Les atteintes de l'orpaillage clandestin ne sont pas évidentes. Le sédiment n'est pas colmaté et les stations conservent une bonne diversité d'habitats (alternance de séquences mouilles-radiers, végétation terrestre au contact de l'eau, granulométrie diversifiée, etc. voir Figure 4).

St.1



St. 2



St. 3



St. 4



Figure 4 : Vues amont (à gauche) et aval (à droite) des stations d'échantillonnages

## 3.2 Période d'étude

Les actions d'échantillonnages se sont déroulées en mai 2023 (22-25/05/2023), soit environ un an et huit mois après l'arrêt des activités d'orpaillages illégal (sept. 2021).

Cette période correspond à la grande saison des pluies (avr. — juin). Traditionnellement, en Guyane, les études de qualité d'eau sont conduites en saison sèche (sept. — déc.), car les forts débits de la saison diluent les perturbations et les prospections biologiques sont facilitées par les faibles niveaux d'eau qui conduisent à une « concentration » des organismes aquatiques.

Le mois de mai 2023 est représentatif d'une saison des pluies avec un léger déficit pluviométrique (-17 % dans le secteur de Régina — Source Météo France Figure 5). L'année 2023 fait toutefois suite à deux années climatiques exceptionnelles : 41 % d'excédent pluviométrique en 2021, l'année de tous les records et 40 % l'année suivante en 2022, la seconde année la plus pluvieuse depuis le début des mesures météo France en Guyane (1967).

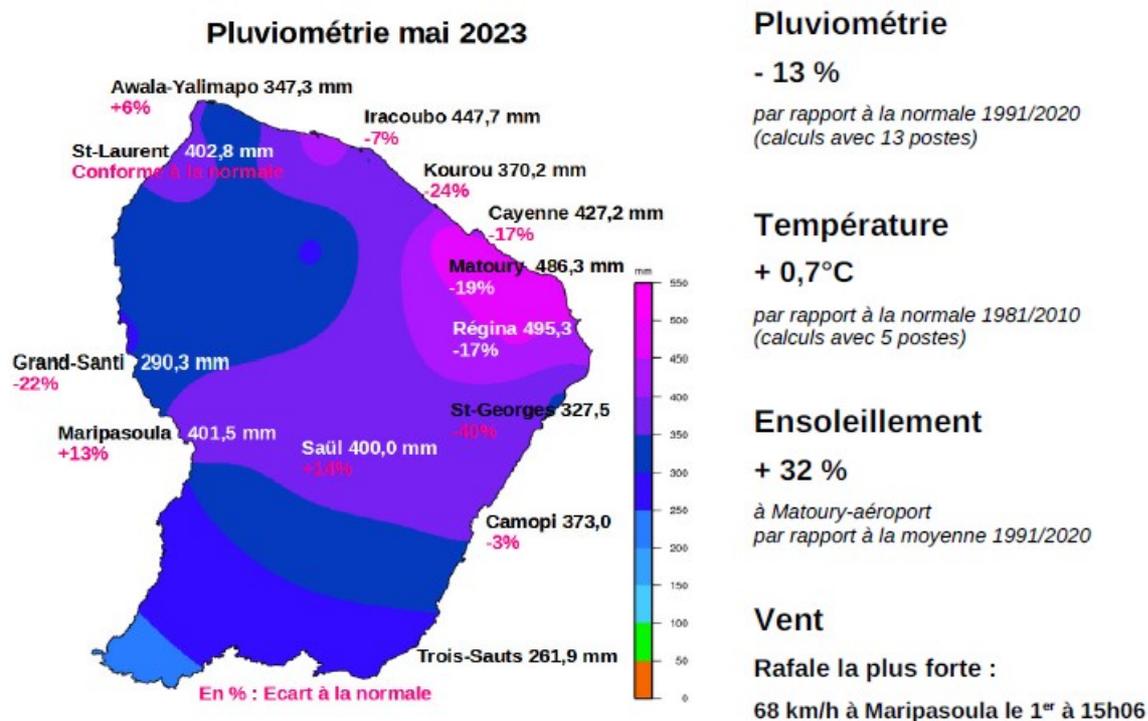


Figure 5 : Pluviométrie annuelle 2023 et mensuelle (11/2022) (Source Météo France)

Ces conditions climatiques exceptionnelles peuvent contribuer à sous-évaluer l'intensité réelle de la pression d'orpaillage clandestin en diluant les perturbations. Il sera intéressant de réitérer ces mesures en situation météorologique « normale ».

## 3.3 Protocoles d'échantillonnage

### 3.3.1 Mesures physico-chimiques *in situ*

Afin de vérifier l'impact de l'orpaillage clandestin sur la physico-chimie des eaux superficielles et de caractériser l'habitat de la faune benthique, les paramètres physico-chimiques que sont :

- Le pH ;
- la température (°C) ;
- l'oxygène dissous (mg/L et %) et
- la turbidité (NTU)

ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un pH-mètre WTW PH-3310, d'un oxymètre VWR DO220 et d'un turbidimètre Thermo Scientific *Eutech* Instruments TN 100. La conductivité, traditionnellement relevée, n'a pu être mesurée en raison d'un matériel défectueux. Les mesures ont été réalisées à pied dans la veine principale d'écoulement face au courant (contre-courant), loin des berges et des obstacles présents dans le lit. Conformément aux préconisations du guide technique pour le suivi de la turbidité en Guyane, les mesures sont réalisées en triplicata afin d'éviter que des éléments grossiers ponctuels faussent le résultat (Guiraud & Blum, 2014). Chaque instrument de mesure est étalonné avant de partir sur le terrain et vérifié en début de journée d'échantillonnage. En cas de non-respect les instruments sont réétalonnés par l'emploi de solutions étalons. Des sondes de rechange, préalablement étalonnées, sont également prévues afin de remédier à tout incident (casse, perte, etc.).

Tableau 2 : Paramètres physico-chimiques mesurés *in situ*

Paramètre	Code Sandre Paramètre	Unité	Code Sandre Unité
Température de l'eau	1301	°C	27
Concentration en O2 dissous	1311	Mg(O2)/L	175
Taux saturation en O2 dissous	1312	%	243
pH	1302	Unité pH	264
Turbidité	1295	NTU	233

### 3.3.2 Invertébrés aquatiques

#### 3.3.2.1 Protocole standardisé PEZADA-DCE

Les stations d'études se situent dans l'hydroécocorégion du bouclier guyanais (HER 52) (Figure 6). L'HER du bouclier guyanais couvre 93 % de la Guyane. Elle correspond à la région de péninsule avec quelques reliefs plus marqués (altitude max 792 m.) et des roches imperméables très érodées sur socle cristallin d'âge primaire, le tout dominé par la forêt tropicale humide (Chanderis *et al.*, 2005). Sur l'HER52 les invertébrés aquatiques sont étudiés par le protocole d'Échantillonnage des Zones Amont ou Difficiles d'Accès DCE (PEZADA-DCE) (Guide méthodologique SMEG – à paraître).

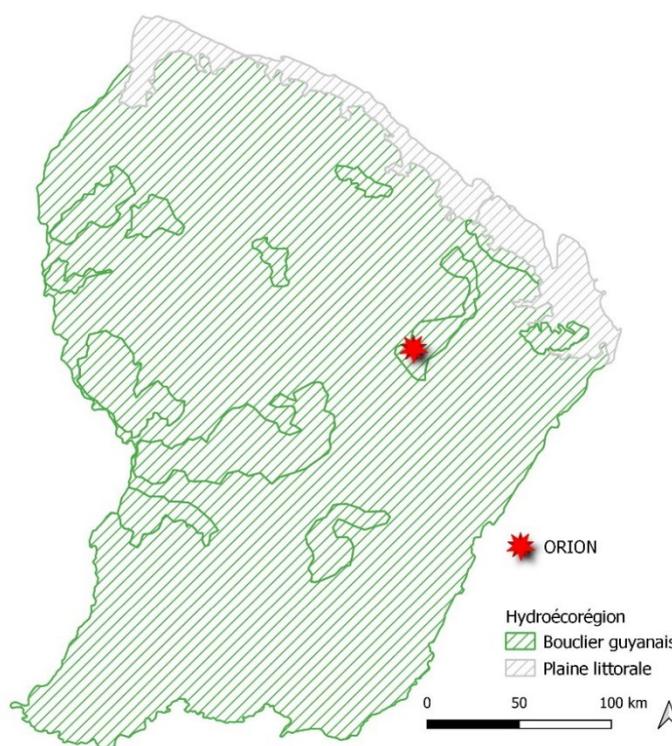


Figure 6 : Hydroécocorégions et zone d'étude du projet ORION

Le protocole PEZADA DCE, basé sur l'adaptation de la méthodologie NF T 90-333, est conçu pour répondre aux spécificités du contexte guyanais (accessibilité, substrats, etc.). Il est employé sur l'ensemble du réseau de suivi en Guyane dans les programmes de surveillance de la qualité de l'eau. Il permet donc une intercomparaison des résultats à l'échelle régionale.

Il s'applique aux cours d'eau dont la totalité ou la quasi-totalité des habitats présents dans le lit mouillé peuvent être prospectées en période de basses eaux, à pied ou au moyen d'embarcations légères. Il est majoritairement employé dans l'hydroécocorégion 52 du bouclier guyanais composée de la pénélaine et des reliefs où se situe la zone d'étude. Dans l'HER 51 de la plaine littorale du Nord, le marnage important inhibe souvent son utilisation. Il faut alors employer le protocole PEZSML-2010 (Clavier *et al.*, 2010).

Le protocole PEZDA DCE se décline de la façon suivante.

### **1. Sélection et positionnement de la station d'échantillonnage**

Dans un premier temps, l'opérateur délimite et positionne la station d'échantillonnage. Une station d'échantillonnage correspond à une portion de cours d'eau représentative de l'hydromorphologie d'un tronçon en termes de diversité des habitats physiques, y compris les éventuelles altérations hydromorphologiques. La station est ensuite calée préférentiellement sur des séquences de faciès radier<sup>3</sup>/mouille<sup>4</sup>. Le nombre de séquence radier/mouille à intégrer, fonction des caractéristiques du cours d'eau, est exposé ci-après. La largeur du lit à plein bord\* (Lpb) correspondant à la limite au-delà de laquelle l'eau se répand dans la plaine d'inondation peut également servir à estimer la longueur d'une station. En moyenne, une séquence radier/mouille inclut 6 Lpb.

- Cours d'eau de petite et moyenne importance : deux séquences radier/mouille (soit 12 x Lpb) ;
- Très petits cours d'eau (souvent plus hétérogènes) : trois séquences radier/mouille (soit 18 x Lpb) ;
- Grands cours d'eau : deux séquences radier/mouille (soit 12 x Lpb) en priorité ; si impossible une séquence (soit 6 x Lpb).

### **2. Construction du plan d'échantillonnage**

Dans un second temps, l'opérateur détermine visuellement le pourcentage de recouvrement des substrats organiques (ex. : macrophytes, *etc.*) et minéraux (ex. : graviers, *etc.*). La somme de chaque pourcentage (c.-à-d. organiques et minéraux) est égale à 100 %. La liste des substrats ainsi que leur habitabilité (capacité d'accueil de la faune) respective est donnée dans le tableau suivant (Tableau 3).

---

<sup>3</sup> *Écoulement lotique peu profond, à profil symétrique, profil en long pente plus forte, rupture de pente plus nette avec les faciès limitrophes. Turbulence plus forte liée à l'affleurement du substrat au ras de la surface libre. Rugosité relative H/S50 ~ 2 à 3 (Source Sandre)*

<sup>4</sup> *Écoulement lentique profond, à profil asymétrique, profil en long Mouille (h>60 cm) située dans la concavité d'un méandre. Partage généralement le profil en travers du cours d'eau avec un banc de convexité (immergé ou non) (Source Sandre)*

Tableau 3 : Liste des substrats et habitabilité du protocole PEZADA DCE –(Modifié d'après Guide méthodologique SMEG – à paraître)

Catégorie	Substrat	Habitabilité
<b>ORGANIQUE</b>	Salade coumarou ( <i>Mourera fluviatilis</i> )	10
	Système racinaire	9
	Litière	8
	Tapis racinaire	7
	Macrophytes	6
	Hélophytes	5
	Végétation terrestre	4
	Bryophytes	3
	Limon/Vase	2
	Algues filamenteuses	1
<b>MINÉRAL</b>	Galets (25 mm à 250 mm)	5
	Graviers (2 mm à 25 mm)	4
	Blocs (> 250 mm)	3
	Roches/Dalles	2
	Latérite nue	1

Les vitesses de courant présentes sur la station sont également estimées selon les classes ci-dessous (Tableau 4). La combinaison d'un substrat et d'une classe de vitesse forme un habitat.

Tableau 4 : Classes de vitesse du courant du protocole PEZADA DCE

Classe de vitesse (cm/s)	Vitesse
$v < 5$	Nulle
$5 < v < 25$	Lente
$25 < v < 75$	Moyenne
$v > 75$	Rapide

### 3. Prélèvement

Les habitats recensés sont ensuite échantillonnés en fonction de leur représentativité (pourcentage de recouvrement) et de leur habitabilité.

À l'intérieur de la station, l'opérateur réalise (Figure 7) :

- 8 prélèvements élémentaires d'habitat organique au filet Surber (500 µm) suivant l'ordre de représentativité
- 4 prélèvements élémentaires d'habitat minéraux au filet Surber (500 µm) suivant l'ordre de représentativité

L'échantillonnage est réalisé selon les consignes suivantes :

- en cas d'égalité d'occurrence de substrats, l'habitabilité la plus élevée est privilégiée ;
- pour un substrat donné, le premier prélèvement est réalisé dans sa classe de vitesse la plus représentée en superficie.
- Quand plusieurs prélèvements sont effectués sur un même substrat, varier la classe de vitesse par ordre décroissant de représentativité.



Figure 7 : Collecte des invertébrés aquatiques – protocole PEZADA DCE

### 3.3.2.2 Conditionnement des échantillons

Les prélèvements les plus volumineux sont soumis à un pré-tri directement sur le terrain (Figure 8) visant à éliminer les éléments volumineux (bois, racines, feuilles, etc.) qui pourraient endommager les organismes durant le transport et le stockage des échantillons. Ces éléments sont soigneusement examinés avant d'être remis dans le milieu naturel. Les gros individus directement identifiables *in situ* sont dénombrés et remis à l'eau afin de limiter au maximum la mortalité.



Figure 8 : Opération de pré-tri sur le terrain

Chaque échantillon est ensuite transvasé dans un bocal référencé de contenance 0,5L. Le fixateur utilisé est l'alcool éthylique de concentration finale 80°. En vue d'analyses moléculaires (ex. : barcoding), certains échantillons ont été fixés dans une solution d'alcool éthylique de concentration finale 96°.

#### 3.3.2.3 Tri et détermination

Une fois au laboratoire, les échantillons sont rincés sur deux tamis de vide de maille 2 mm (pré-tri) et 0,5 mm (tri final). Le refus de tamis est ensuite observé sous loupe binoculaire (grossissement X50). Aucun sous-échantillonnage n'est effectué, assurant une meilleure robustesse du jeu de données.

Le niveau de détermination requis est le niveau générique pour les insectes à l'exception des diptères identifiés à la famille. Les crustacés et les mollusques sont identifiés au genre ou à l'espèce. Les groupes mineurs (*Nemathelmintha*, *Hydrachnidia*, etc.) sont identifiés à un niveau taxonomique supérieur tels que la classe, l'ordre ou l'embranchement.

#### 3.3.2.4 Bancarisation

Les données générées sont ensuite saisies sous forme de tableau croisé dynamique dans le logiciel Microsoft Excel®.

#### 3.3.2.5 Métriques générales

Les stations échantillonnées par le protocole PEZADA DCE autorisent le calcul de métriques et d'indices biotiques d'évaluation de la qualité de l'eau. La richesse taxonomique familiale et générique (nombre de taxons), l'abondance relative (nombre d'individus), la densité (nombre d'individus/m<sup>2</sup>), l'indice de diversité de Shannon et l'équitabilité ont été calculés ainsi que le pourcentage de taxons polluo-sensibles.

#### 3.3.2.6 Mesures de similarité/distance

Des mesures de similarité (ou dissimilarité) et de distance ont été effectuées pour approcher la continuité écologique. La similarité, ou la dissimilarité, et la distance sont deux types de mesures d'association entre des objets. Une distance de 0 est mesurée chez deux objets identiques. La distance augmente au fur et à mesure que les objets sont dissociés. Une similarité ayant une valeur de 0 n'indique aucune association, tandis qu'une valeur de 1 indique une association parfaite. À l'opposé, la dissimilarité est égale à 1-similarité.

Différentes de mesures ont été réalisées. La dissimilarité de Bray-Curtis, aussi appelée l'indice de Steinhaus, de Czekanowski ou de Sørensen, souvent utilisée dans la littérature. Toutefois, la version originale de Bray-Curtis n'est pas tout à fait métrique (semimétrique). Conséquemment, la dissimilarité de Ruzicka (une variante de la dissimilarité de Jaccard pour les données d'abondance) est métrique, et devrait probablement être préférée à Bray-Curtis (Oksanen, 2006). La dissimilarité de Kulczynski, la distance de Hellinger, la distance de Chord, la métrique du chi-carré, ou chi-square, qui donne davantage de poids aux espèces rares qu'aux espèces communes...

#### 3.3.2.7 Indices biotiques

Les indices biotiques utilisés en Guyane sont spécifiques au territoire, car les contextes biogéographique et climatique ne permettent pas d'utiliser les indices développés en France métropolitaine ou dans les autres territoires d'outre-mer. Les trois indices actuellement utilisés sont le SMEG l'IBMG et l'IBMG2. Ils sont détaillés dans les paragraphes ci-après.

##### 3.3.2.7.1 Indice SMEG

Le SMEG (Score Moyen des Ephéméroptères Guyanais) est l'indice de référence des invertébrés aquatiques pour la qualification de la qualité écologique des cours d'eau en Guyane (Arrêté du 26 avril 2022 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010). Créé en 2001 par le professeur Alain Thomas (Université de Toulouse) dans le cadre du programme Qualité des eaux de rivières de Guyane (Thomas *et al.*, 2001), il permet de déterminer la qualité d'un milieu lotique (sont exclus les lacs, étangs, mares, pri-pri, etc.) grâce à la présence/absence des larves d'éphéméroptères. À chaque genre ou morphotype dénommé Unité Opérationnelles (U.O.) est attribuée une note de polluo-sensibilité variant de 1 (très tolérante) à 5 (très

intolérante). Les différentes U. O. considérées et leurs polluo-sensibilités respectives sont détaillées dans le tableau suivant (Tableau 5). Dans le cadre de la révision du guide méthodologique de l'indice SMEG, certaines U. O. et/ou polluo-sensibilité ont été modifiées par retour d'expérience afin de refléter au mieux l'évolution des avancées taxonomiques du territoire et d'améliorer ainsi le pouvoir de discrimination de l'indice SMEG (Guide méthodologique SMEG, à paraître).

Tableau 5 : Unités Opérationnelles et polluo-sensibilité de l'indice SMEG (Modifié d'après Thomas et al., 2001)

Famille	Genres	Polluo-sensibilité	Commentaires
<b>Euthyplociidae</b>	<i>Campylocia</i>	3	Polluo-sensibilité modifiée (initialement 5)
<b>Ephemeraidae</b>	<i>Hexagenia</i>	3	
<b>Oligoneuriidae</b>	<i>Genus 1</i>	5	Polluo-sensibilité modifiée (initialement 4)
	<i>Genus 2</i>	5	Polluo-sensibilité modifiée (initialement 3)
<b>Polymitarciidae</b>	<i>Asthenopus</i>	2	
	<i>Tortopus</i>	3	Genre supplémentaire
	<i>Campsurus</i>	2	
<b>Caenidae</b>	<i>Brachycercus</i>	4	Présence douteuse en Guyane
	<i>Brasilocaenis</i>	1	Genre supplémentaire
	<i>Caenis</i>	1	
<b>Coryphoridae</b>	<i>Coryphorus</i>	5	
<b>Leptohyphidae</b>	<i>Leptohyphes</i>	4	
	<i>Tricorythodes</i>	3	
	<i>Amanahyphes</i>	4	Genre supplémentaire
	<i>Tricorythopsis</i>	3	Genre supplémentaire
<b>Leptophlebiidae</b>	<i>Bessierus</i>	2	
	<i>Hagenulopsis</i>	4	
	<i>Ulmeritoides</i>	2	Polluo-sensibilité modifiée (initialement 5)
	<i>Lentvaaria</i>	2	
	<i>Hydrosmilodon</i>	2	
	<i>Hermanella</i>	3	
	<i>Paramaka</i>	4	Genre supplémentaire
	<i>Lisetta</i>	4	Genre supplémentaire
	<i>Terpides</i>	3	
	<i>Fittkaulus</i>	4	
	<i>Thraulodes</i>	5	
	<i>Genre U</i>	5	
	<i>Simothraulopsis</i>	3	
<i>Farrodes</i>	3	Genre supplémentaire	
<i>Miroculis</i>	2	Polluo-sensibilité modifiée (initialement 5)	
<i>Microphlebia</i>	4		
<b>Baetidae</b>	<i>Corinnella</i>	5	Genre supplémentaire
	<i>Camelobaetidius</i>		
	<i>Morphotype à paracerque court</i>	4	
	<i>Morphotype à paracerque long</i>	3	
	<i>Callibaetis</i>	1	
	<i>Harpagobaetis</i>	2	
	<i>Tomedontus</i>	4	
	<i>Cloeodes</i>	1	
	<i>Apobaetis</i>	2	
	<i>Paracloeodes</i>	2	
	<i>Rivudiva</i>	5	
	<i>Waltzoyphius</i>	3	
	<i>Spiritiops</i>	3	
	<i>Guajjrolus</i>	5	
	<i>Cryptonympha</i>	5	
	<i>Americabaetis</i>	2	Polluo-sensibilité modifiée (initialement 3)
	<i>Adebrotus</i>	5	
	<i>Aturbina</i>	1	
	<i>Zelusia</i>	4	

Le SMEG se calcule ensuite selon l'équation suivante :

$$\text{SMEG} = (\text{somme des scores U. O.} / \text{nombre d'U.O.}) + (0,1 \times \text{nombre d'U.O.})$$

La note ainsi obtenue est ensuite confrontée à aux limites de classe de qualité du Tableau 6. Ces classes de qualité ont été modifiées des classes originales en 2014 et réduites de 6 à 5 afin de répondre à la classification européenne (Clavier *et al.*, 2014).

Tableau 6 : Classes de qualité de l'indice SMEG (d'après Clavier *et al.*, 2014)

CLASSES DE QUALITÉ	NOTES SMEG
TRÈS BONNE	≥ 4,1
BONNE	3,08 - 4,09
MOYENNE	2,05 - 3,07
MÉDIOCRE	1,03 - 2,04
MAUVAISE	≤ 1,02

### 3.3.2.7.2 Indice IBMG

L'Indice Biologique Macroinvertébrés de Guyane (IBMG) (Dedieu *et al.*, 2015) est un indice multimériques répondant aux exigences de la DCE en termes de construction d'indice (ex. : prise en compte de l'ensemble de la communauté, etc.). Il a été créé par Nicolas Dedieu (Université de Toulouse) dans le cadre du Programme PME et permet de déterminer la qualité écologique des petits cours d'eau de Guyane (profondeur < 1 m ; largeur < 10 m ; exempté de marnage).

Dans un premier temps, la station échantillonnée est positionnée au sein de l'hydroécocorégion de la plaine littorale (HER51 = Coast dans le Tableau 7 ci-après) ou du bouclier guyanais (HER 52 = Shield dans le Tableau 7 ci-après).

Ensuite six métriques sont calculées :

1. Estimateur de Chao1 de la phase minérale
2. Nombre de familles de coléoptères de la phase organique et minérale
3. Log. abondance de la famille des Elmidae de la phase organique
4. % d'Ephéméroptères et de Trichoptères de la phase organique et minérale ;
5. % de Collecteurs de la phase organique et minérale ;
6. Indice de Shannon de la phase organique et minérale.

Chacune des métriques est ensuite convertie en EQR (= écart aux conditions de références) par les formules suivantes :

$$SES = \frac{(\text{Valeur brute} - \text{moyenne}_{ref\_HER})}{\text{écart-type}_{ref\_HER}}$$

avec « valeur brute », la valeur mesurée de la métrique pour un point d'échantillonnage donné

« moyenne ref\_HER » et « écart-type ref\_HER » la moyenne et l'écart-type de la distribution de la métrique en condition de référence pour l'Hydroécocorégion sélectionnée.

$$EQR_m = \frac{(SES_m - inf)}{(sup - inf)}$$

avec « SES<sub>m</sub> » : la valeur normalisée de la métrique pour un point d'échantillonnage donné ;

« sup » et « inf » correspondent aux « meilleur » et « pire » valeurs pour cette métrique dans le même type de cours d'eau.

*N. B. Si la valeur normalisée est supérieure à la plus forte valeur, la valeur d'EQR est fixée à 1. Inversement, si la valeur est inférieure à la pire valeur, la valeur d'EQR est fixée à 0.*

Les valeurs de référence utilisées dans les équations sont indiquées dans le tableau suivant (Tableau 6).

Tableau 7 : Valeurs de référence des métriques de l'IBMB (d'après Dedieu et al., 2015)

Ref Values	Chao1_B	Shannon_AB	CoGa_AB	ColeoS_AB	Log.Elmidae_ETQ_AB		
Mean_Ref_Coast	22,533	2,323	63,955	12,755	0,995	21,091	
SD_Ref_Coast	5,89	0,405	8,864	3,231	0,329	8,0766	
Mean_Ref_Shield	28,5	2,346	63,78	11,771	0,945	22,146	
SD_Ref_Shield	7,018	0,305	10,123	3,536	0,353	5,374	
EQR_Upper	1,945	1,398	1,518	1,485	1,735	1,749	
EQR_Lower	-3,395	-4,189	-4,13	-2,773	-2,786	-3,682	

La note de l'IBMG correspond à la moyenne pondérée des six métriques (EQRs) calculée en utilisant les poids (DE) indiqués dans le Tableau 7.

$$IBMG = \frac{\sum(DE_{moyen} \times EQR_{moyen})}{\sum DE_m}$$

La valeur ainsi obtenue est confrontée à une échelle de cotation afin de déterminer la classe de qualité de la station (Tableau 8).

Tableau 8 : Classes de qualité de l'indice IBMG

CLASSES DE QUALITÉ	Notes IBMG
TRÈS BONNE	0,68 - 1
BONNE	0,51 - 0,68
MOYENNE	0,42 - 0,51
MÉDIOCRE	0,36 - 0,42
MAUVAISE	0 - 0,36

### 3.3.2.7.3 Indice IBMG2

Un indice nouvellement employé sur le territoire a été calculé. Il s'agit de l'IBMG2 (Dedieu, 2015). Cette seconde mouture de l'IBMG a pour vocation de s'appliquer à l'ensemble des masses d'eaux cours d'eau (fleuve, rivière crique) échantillonnées par le protocole PEZADA DCE et ne se limite plus aux PME.

À l'instar de l'IBMG, il s'agit d'un indice multimétrique DCE-compatible. Il est composé de quatre métriques :

- Le pourcentage d'Ephéméroptères, Trichoptères et d'Odonates (%ETO),
- Le nombre de famille de prédateur (Npredator),
- L'indice de Brillouin (Brillouin),
- Logarithme de l'abondance des individus de la famille Elmidae (Log(Elmidae+1)) ;

et se calcule selon les mêmes préceptes.

Au vu du faible recul disponible, les données de l'IBMG2 restent à interpréter avec prudence.

## 4 RÉSULTATS & DISCUSSIONS

### 4.1 Qualité physico-chimique des eaux superficielles sous impact de l'orpaillage clandestin

Les paramètres physico-chimiques de surface soutenant la biologie ont été relevés sur les quatre stations d'échantillonnages. Ils sont confrontés aux classes de qualité de l'arrêté du 25 janvier 2010, dont certaines ont été adaptées au contexte guyanais (Office de l'Eau Guyane 2020 - Tableau 9) :

- adaptation des seuils liés à l'oxygène ;
- ajout de l'élément Particules en suspension composé des paramètres MES et Turbidité ;
- suppression des éléments température et acidification non pertinents dans le contexte guyanais.

Tableau 9 : Classes de qualité physico-chimique des cours d'eau de Guyane (Source : Office de l'Eau Guyane 2020)

Élément de qualité	Paramètres	Limites des classes d'état (inclus)					
		Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais	
Bilan de l'oxygène	Oxygène dissous (mg O <sub>2</sub> /L)	5,6	4,2	2,8	1,4		
	Taux de saturation en oxygène dissous (%)	70	52,5	35	17,5		
	DBO5 (mg O <sub>2</sub> /L)	3	6	10	25		
	Carbone organique dissous (mg C/L)	5	7	10	15		
Nutriments	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	0,1	0,5	2	5		
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	0,1	0,3	0,5	1		
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	10	50				
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L)	0,1	0,5	1	2		
	Phosphore total (mg P/L)	0,05	0,2	0,5	1		
Particules en suspension	MES (mg/L)	25	50	100	150		
	Turbidité (NTU)	15	35	70	100		

Le résultat des mesures et les classes de qualité correspondantes sont donnés en Tableau 10. Seuls les paramètres Turbidité et Oxygène dissous peuvent être évalués selon cette grille de lecture.

Tableau 10 : Paramètres physico-chimiques *in situ* – En bleu les valeurs de très bon état, en vert de bon état.

ORION	STATION 1	STATION 2	STATION 3	STATION 4
	23/05/2023 14 h 46	23/05/2023 9 h 30	24/05/2023 11 h	25/05/2023 10 h
pH	6,81	6,96	7,37	6,97
T (°C)	24,9	24,1	24,5	24,4
O <sub>2</sub> [%]	95,7	96,7	100	97,6
O <sub>2</sub> [mg/l]	7,93	6,96	8,84	8,16
Turbidité 1 (NTU)	11,5	5,67	6,78	5,59
Turbidité 2 (NTU)	7,22	7,36	7,6	7,5
Turbidité 3 (NTU)	7,17	6,53	10,38	5,46
Turbidité moyenne (NTU)	8,63	6,52	8,25	6,18

Les valeurs d'oxygénation sont très bonnes, supérieures à 95 % et optimales au développement de la faune aquatique. Le pH est proche de la neutralité, ce qui est classiquement observé sur les têtes de criques. La température est voisine de 24 °C et correspond à la moyenne régionale des criques sous couvert forestier. En règle générale, les orpailleurs clandestins ont tendance à limiter le déboisement afin d'éviter d'être repérés. En conservant la forêt ripicole, ils conservent l'ombrage nécessaire au maintien de la température dans le cours d'eau. Les mesures de turbidité sont également étonnamment « bonnes » au regard de la sensibilité de ce paramètre à la pression d'orpaillage, d'autant qu'elles ont été relevées en saison des pluies

où une augmentation de la charge est généralement constatée. Elles restent ici inférieures à 9 NTU et correspondent à un optimum pour le développement de la vie aquatique (Tub. < 15 NTU). En conclusion, toutes les stations ressortent en très bon état pour les paramètres évalués. Aucune perturbation n'est notée.

## 4.2 Qualité écologique des stations sous impact de l'orpaillage clandestin

### 4.2.1 Inventaire

Les résultats des inventaires conduits sur les différents groupes d'invertébrés aquatiques de la zone d'étude sont présentés en Tableau 11.

Lorsque l'abréviation *ind.* est employée (ex. : SCIRTIDAE IND.), l'identification n'a pu être poursuivie au-delà du niveau taxonomique cité en raison, bien souvent, du caractère trop immature des individus concernés.

Lorsque l'abréviation *prob.* est employée (ex. : *Aturbina prob. georgi*) l'identification n'a pu aboutir avec certitude (ex. : association larve-adulte nécessaire), mais un faisceau d'éléments convergents laisse préjuger de l'identification proposée avec une probabilité raisonnable. Ces données, *prob.*, devront toutefois être confirmées par la suite.

Lorsque deux taxons sont séparés d'une barre oblique (/), il s'agit soit de l'un soit de l'autre, mais la détermination n'a pu aboutir. Il s'agit souvent de taxons proches phylogénétiquement et morphologiquement indistinguables selon les critères actuels (ex. : *Perilestes/Perissolestes*).

Tableau 11 : Inventaire des invertébrés aquatiques des stations du projet ORION ; \*\* Nouvel enregistrement pour la Guyane

	STATION N°1	STATION N°2	STATION N° 3	STATION N° 4	Total
<b>ANNELIDA</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>52</b>
OLIGOCHAETA	11	20	5	16	52
<b>ARTHROPODA</b>	<b>479</b>	<b>913</b>	<b>672</b>	<b>666</b>	<b>2730</b>
HYDRACHNIDIA		5	6	1	12
COLLEMBOLA		2			2
ENTOMOBRYOMORPHA		2			2
<b>INSECTA</b>	<b>474</b>	<b>901</b>	<b>656</b>	<b>660</b>	<b>2691</b>
COLEOPTERA	38	73	85	58	254
<b>CURCULIONIDAE</b>			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
CURCULIONIDAE			1	1	2
<b>DRYOPIDAE</b>	<b>2</b>	<b>15</b>	<b>32</b>	<b>9</b>	<b>58</b>
DRYOPIDAE IND.	2	12	13	9	36
<i>Elmoparnus prob. collinsae</i>		3	19		22
<b>ELMIDAE</b>	<b>20</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	<b>28</b>	<b>143</b>
<i>Austrolimnius</i>	1				1
ELMIDAE IND.			1		1
<i>Gyrelmis</i>		3			3
<i>Heterelmis</i>	2	3	3	3	11
LARVA W			2	6	8
LARVA Z			6	3	9
<i>Neoelmis</i>	6	26	13	13	58
<i>Phanocerus</i>	9	17	21		47
<i>Stegoelmis</i>	2			3	5
<b>GYRINIDAE</b>	<b>1</b>	<b>2</b>		<b>2</b>	<b>5</b>
<i>Gyretes</i>	1	2		2	5
<b>HYDRAENIDAE</b>	<b>1</b>				<b>1</b>
<i>Hydraena</i>	1				1
<b>HYDROPHILIDAE</b>	<b>1</b>		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>6</b>
<i>Globulosis</i>				2	2
<i>Helochares</i>	1				1
HYDROPHILIDAE IND.				1	1
<i>Oocyclus</i>			2		2

<b>LUTROCHIDAE</b>			<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<i>Lutrochus prob. wao</i>			1	1	2
<b>PTILODACTYLIDAE</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
<i>Anchytarsus prob. palpalis</i>	3	6	1	10	20
<b>SCIRTIDAE</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>17</b>
<i>Ora</i>	1				1
<i>Scirtes</i>	2	1	2	4	9
SCIRTIDAE IND.	7				7
DIPTERA	181	442	248	340	1211
DIPTERA IND.			1	6	7
<b>CERATOPOGONIDAE</b>	<b>1</b>	<b>10</b>		<b>8</b>	<b>19</b>
CERATOPOGONINAE	1	10		8	19
<b>CHIRONOMIDAE</b>	<b>164</b>	<b>422</b>	<b>207</b>	<b>303</b>	<b>1096</b>
CHIRONOMIDAE	164	422	207	303	1096
<b>EMPIDIDAE</b>	<b>2</b>			<b>1</b>	<b>3</b>
EMPIDIDAE	2			1	3
<b>LIMONIIDAE</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>35</b>
LIMONIIDAE	5	10	9	11	35
<b>PSYCHODIDAE</b>				<b>3</b>	<b>3</b>
PSYCHODIDAE				3	3
<b>RHAGIONIDAE</b>				<b>1</b>	<b>1</b>
RHAGIONIDAE				1	1
<b>SIMULIIDAE</b>	<b>9</b>		<b>31</b>	<b>6</b>	<b>46</b>
SIMULIIDAE	9		31	6	46
<b>TABANIDAE</b>				<b>1</b>	<b>1</b>
TABANIDAE				1	1
EPHEMEROPTERA	125	178	128	82	513
<b>BAETIDAE</b>	<b>9</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>55</b>
<i>Americabaetis</i>	2	9	7	4	22
<i>Aturbina prob. georgi</i>				1	1
<i>Baetodes**</i>			2		2
<i>Camelobaetidius billi</i>		1			1
<i>Camelobaetidius anubis</i>			1		1
<i>Paracloeodes</i>		1			1
<i>Waltzoyphius</i>	1	3			4
<i>Zelusia</i>	6	6	7	4	23
<b>EUTHYPLOCIIDAE</b>	<b>42</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>98</b>
<i>Campylocia prob. anceps</i>	42	18	12	26	98
<b>LEPTOHYPHIDAE</b>	<b>6</b>	<b>58</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>88</b>
<i>Allenhyphes</i>		1	5		6
<i>Amanahyphes</i>	3	43	1	4	51
LEPTOHYPHIDAE IND.	1	2	2	3	8
<i>Tricorythodes</i>	2	11	3	5	21
<i>Tricorythopsis</i>			1		1
<i>Tricorythopsis rondoniensis</i>		1			1
<b>LEPTOPHLEBIIDAE</b>	<b>68</b>	<b>82</b>	<b>87</b>	<b>35</b>	<b>272</b>
<i>Farrodes</i>	2	8	19	1	30
<i>Fittkaulus</i>	19	4	8	3	34
<i>Hagenulopsis</i>	12	19		8	39
LEPTOPHLEBIIDAE IND.	2	14	7	1	24
<i>Miroculis</i>	7	11	38	14	70
<i>Paramaka</i>	10	1			11
<i>Terpides</i>	11	20	7	3	41
<i>Thraulodes</i>	5	5	6	5	21
<i>Ulmeritoides</i>			2		2
HEMIPTERA	6	10	6	4	26
<b>GERRIDAE</b>		<b>1</b>		<b>1</b>	<b>2</b>
GERRIDAE		1		1	2
<b>NAUCORIDAE</b>		<b>7</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>10</b>
<i>Ambrysus</i>		3	1	2	6
<i>Limnocoris</i>		2			2
NAUCORIDAE IND.		2			2
<b>NEPIDAE</b>	<b>1</b>				<b>1</b>
RANATRA	1				1
<b>VELIIDAE</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>13</b>

<i>Rhagovelia</i>	5	1	5	1	12
<i>Stridulivelia</i>		1			1
LEPIDOPTERA		15	23	4	44
<b>CRAMBIDAE</b>		<b>15</b>	<b>23</b>	<b>4</b>	<b>42</b>
CRAMBIDAE		15	23	4	19
MEGALOPTERA	1				1
<b>CORYDALIDAE</b>	<b>1</b>				<b>1</b>
<i>Corydalus/Chloronia</i>	1				1
ODONATA	12	36	25	26	99
<b>CALOPTERYGIDAE</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>19</b>
<i>Hetaerina/Mnesarete</i>	1	6	9	3	19
<b>COENAGRIONIDAE</b>			<b>2</b>		<b>2</b>
<i>Argia</i>			2		2
<b>GOMPHIDAE</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>18</b>
<i>Ebegomphus</i>	4				4
GOMPHIDAE IND.			1	1	2
<i>Phyllogomphoides</i>			1		1
<i>Progomphus</i>	1		1		2
<i>Zonophora</i>				5	5
<i>Epigomphus hylaeus</i>		1	2	1	4
<b>LIBELLULIDAE</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>15</b>
<i>Elasmothermis</i>	1	5	1	1	8
<i>Gynothemis</i>		1		1	2
LIBELLULINAE		4		1	5
<b>MEGAPODAGRIONIDAE</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>30</b>
MEGAPODAGRIONIDAE IND.	1	13	5	6	25
<i>Oxystigma</i>	1	4			5
<b>PERILESTIDAE</b>	<b>1</b>				<b>1</b>
<i>Perilestes/Perissolestes</i>	1				1
<b>PLATYSTICTIDAE</b>		<b>1</b>		<b>5</b>	<b>6</b>
<i>Palaemnema brevignoni</i>		1		5	6
<b>POLYTHORIDAE</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>8</b>
<i>Chalcopteryx beabrai</i>	2	1	3	2	8
PLECOPTERA	40	16	27	14	97
<b>PERLIDAE</b>	<b>40</b>	<b>16</b>	<b>27</b>	<b>14</b>	<b>97</b>
<i>Anacroneuria</i>	35	12	24	9	80
<i>Macrogynoplax</i>	5	4	3	5	17
TRICHOPTERA	71	131	114	132	448
<b>CALAMOCERATIDAE</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>17</b>	<b>5</b>	<b>40</b>
<i>Phylloicus</i>	11	7	17	5	40
<b>ECNOMIDAE</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>12</b>
<i>Austrotinodes</i>	2	4	2	4	12
<b>GLOSSOSOMATIDAE</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>14</b>
GLOSSOSOMATIDAE IND.			4		4
<i>Mortoniella</i>	5	3	1	1	10
<b>HELICOPSYCHIDAE</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>
<i>Helicopsyche</i>	2	1	1	1	5
<b>HYDROPSYCHIDAE</b>	<b>40</b>	<b>64</b>	<b>29</b>	<b>82</b>	<b>215</b>
HYDROPSYCHIDAE IND.	13	24	18	63	118
<i>Leptonema</i>	12	26	5	16	59
<i>Macronema</i>	1	8	6	3	18
<i>Smicridea</i>	14	6			20
<b>LEPTOCERIDAE</b>	<b>6</b>	<b>27</b>	<b>59</b>	<b>36</b>	<b>128</b>
LEPTOCERIDAE IND.		5	17	2	24
<i>Nectopsyche</i>	2	14	24	12	52
<i>Oecetis</i>	1	7		1	9
<i>Triplectides</i>	3	1	18	21	43
<b>ODONTOCERIDAE</b>				<b>3</b>	<b>3</b>
<i>Marilia</i>				3	3
<b>PHILOPOTAMIDAE</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>1</b>		<b>9</b>
<i>Chimarra</i>	2	6			8
PHILOPOTAMIDAE IND.			1		1
<b>POLYCENTROPODIDAE</b>	<b>3</b>	<b>19</b>			<b>22</b>
<i>Cernotina</i>		3			3
POLYCENTROPODIDAE IND.	1				1

<i>Polypectopus</i>	2	16			18
<b>MALACOSTRACA</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>22</b>
DECAPODA	4	5	7	5	21
<b>PALAEMONIDAE</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>19</b>
<i>Macrobrachium</i>	4	4	6	5	19
<b>PSEUDOTELPHUSIDAE</b>		<b>1</b>	<b>1</b>		<b>2</b>
PSEUDOTELPHUSIDAE IND.		1	1		2
ISOPODA			1		1
<b>MOLLUSCA</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>30</b>	<b>60</b>
<b>BIVALVIA</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>5</b>	<b>7</b>
<b>SPHAERIIDAE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>5</b>	<b>7</b>
SPHAERIIDAE IND.	1			5	6
<i>Afropisidium/Euglesa</i>		1			1
<b>GASTROPODA</b>	<b>4</b>		<b>21</b>	<b>21</b>	<b>46</b>
<b>PACHYCHILIDAE</b>	<b>4</b>		<b>21</b>	<b>21</b>	<b>46</b>
<i>Doryssa Hohenackeri</i>	4		21	21	46
<b>GASTROPODA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>		<b>4</b>	<b>7</b>
<b>AMPULLARIIDAE IND.</b>	<b>1</b>			<b>1</b>	<b>2</b>
<b>COCHLIOPIIDAE</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	<b>5</b>
<i>Aroapygus/Pyrgophorus</i>		2		3	5
<b>NEMATHELMINTHA</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	<b>5</b>
<b>NEMATODA</b>		<b>1</b>		<b>3</b>	<b>4</b>
<b>NEMATOMORPHA</b>		<b>1</b>			<b>1</b>
<b>PLATHELMINTHA</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>15</b>
<b>DUGESIIDAE</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>15</b>
<b>Total</b>	<b>496</b>	<b>949</b>	<b>697</b>	<b>717</b>	<b>2859</b>

2859 individus ont été collectés au cours du projet ORION représentant un total de :

- 7 taxons dont l'identification n'a pu aboutir à la famille (ex. : Oligochaeta, Nematoda, Isopoda) ;
- 52 familles ;
- 77 genres dont 5 à confirmer (ex. : *Aroapygus/Pyrgophorus*, *Perilestes/Perissolestes*) ;
- et 11 espèces dont 5 à confirmer (ex. : *Campylocia prob. anceps*, *Lutrochus prob. wao*).

Les taxons notés :

- Larva W et Larva Z (Coleoptera : Elmidae) correspondent à des stades larvaires de coléoptère Elmidae encore non identifiés (Figure 9) (Shepard, Clavier & Cerdan, 2020).



Figure 9 : Les formes Larva Z (à gauche) et Larva W (à droite) n'ont pu être attribuées à des genres d'Elmidae connus

#### 4.2.1.1 Complétude de l'inventaire

La complétude de l'inventaire est évaluée *via* une courbe d'accumulation (Figure 10) et des estimateurs de richesse. Elle est évaluée pour la zone d'étude (4 stations d'échantillonnages), pour le niveau taxonomique familial et générique. L'unité d'échantillonnage considérée ici est le nombre de prélèvements au filet Surber sur la zone, soit un total de 48 prélèvements (12/stations). Pour cet exercice, chaque taxon identifié au niveau taxonomique supérieur compte pour un taxon (ex. : Nematelmintha compte pour une famille dans la richesse familiale et Tipulidae compte pour un genre dans la richesse générique). Pour rappel, l'échantillonnage est réputé complet lorsqu'une courbe d'accumulation atteint un plateau où la pente est nulle.

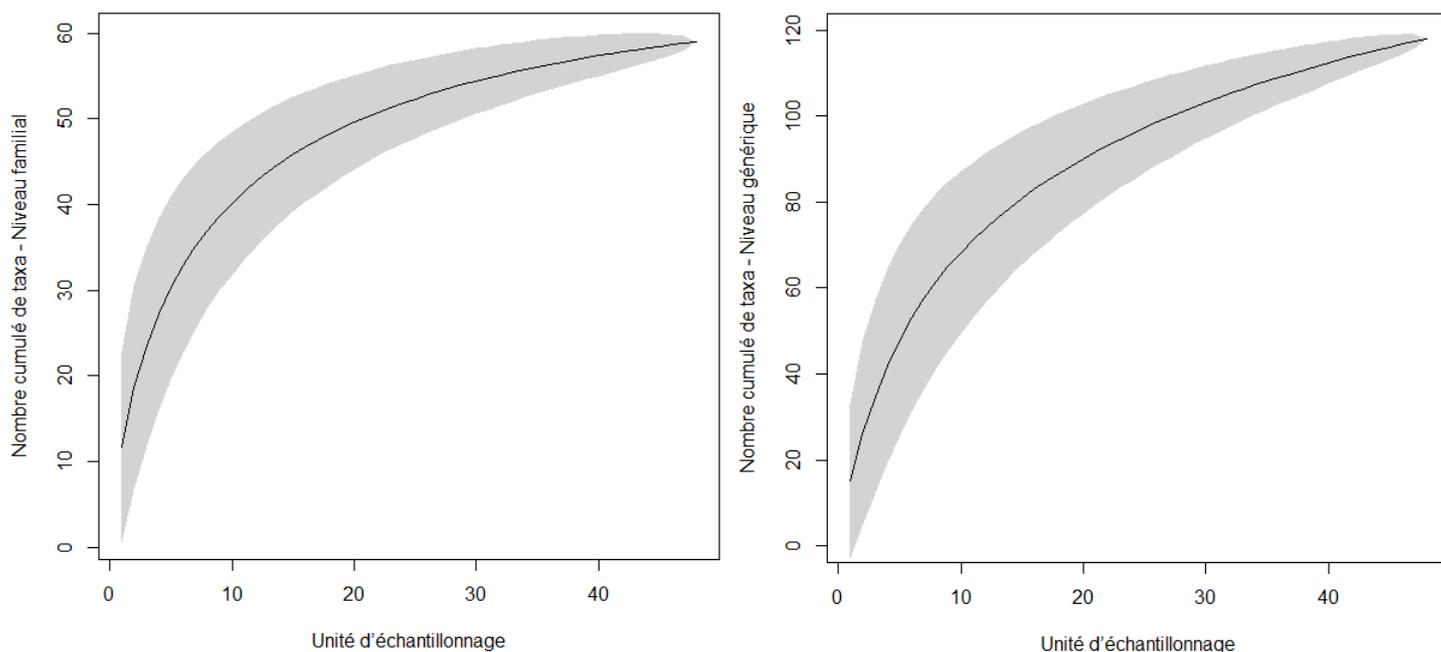


Figure 10 : Courbes d'accumulations des familles (à gauche) et des genres (à droite) d'invertébrés aquatiques du projet ORION

L'atteinte d'un plateau est proche, notamment au niveau familial. Logiquement, la situation est moins favorable au niveau générique et l'inflexion de la courbe est moins prononcée. La complétude moyenne de l'inventaire est comprise entre 82,8 % (niveau générique) et 91,5 % (niveau familial) (Tableau 12). Ces valeurs sont relativement élevées et traduisent un effort d'échantillonnage important. En règle générale, elles restent plus proches des 80 % pour le niveau familial et 70 % pour le niveau générique lors d'échantillonnages ponctuels. Bien évidemment, elles n'atteignent pas 100 %. Recenser de manière exhaustive l'intégralité des invertébrés aquatiques relève de l'utopie. À titre de comparaison, cela reviendrait à inventorier l'intégralité des arthropodes, mollusques, vers... de la forêt ; du sol à la canopée !

Tableau 12 : Estimateurs de richesses des invertébrés aquatiques

ORION	Niveau familial	Niveau générique
Nb de taxons identifiés	59	118
Estimateur Chao	62	138
Écart-type Chao	3	10
Estimateur Jackknife	67	147
Écart-type Jackknife	3	7
Complétude moyenne	91,5 %	82,8 %

#### 4.2.1.2 Primoanalyse des listes taxonomiques

Les listes taxonomiques obtenues sur les sites d'orpaillages illégaux du projet ORION sont très diversifiées, et abritent le cortège typique de taxons de tête de bassin sans impact notable. Notons la présence d'organismes polluo-sensibles comme les plécoptères Perlidae, collectés sur tous les sites, ou les mégaloptères Corydalidae (Figure 11), sur le site 1, dont le statut de top-prédateurs en fait des espèces « clés de voûte » (Rivera-Gasperín *et al.*, 2019). Les trichoptères Philoptamidae *Chimarra* récemment identifiés comme sensibles sur le bassin amazonien (Luiza-Andrade *et al.*, 2022) sont également présents.



Figure 11 : Les stations du projet ORION abritent tout un cortège de taxons polluo-sensibles comme les plécoptères Perlidae (à gauche, le genre *Anacroneria*), les mégaloptères Corydalidae (au centre, le genre *Corydalis*) ou les trichoptères Philopotamidae (à droite, le genre *Chimarra*)

#### 4.2.1.3 Nouvel enregistrement pour la Guyane

Les inventaires menés sur le secteur ORION ont permis la découverte d'un nouveau genre pour la Guyane : *Baetodes* Needham & Murphy, 1924. Il s'agit d'un éphéméroptère appartenant à la famille des Baetidae qui a été décrit du Brésil en 1924 d'après des larves. Le genre *Baetodes* est l'un des plus diversifiés de la famille des Baetidae. Il compte 46 espèces distribuées entre l'Arizona (USA) et l'Argentine (Nieto, 2016, Cruz *et al.*, 2023), dont environ 30 en Amérique du Sud. Le genre serait *a priori* absent du plateau des Guyanes ou recensé à sa périphérie (ex. : Venezuela, Brésil). Les larves sont caractéristiques des eaux vives bien oxygénées (Salles *et al.*, 2004) et offrent donc un potentiel bio-indicateur intéressant. *Baetodes* est également un complexe de genres qui inclut : *Baetodes* Needham & Murphy (1924), *Mayobaetis* Waltz & McCafferty (1985), *Moribaetis* Waltz & McCafferty (1985), et *Prebaetodes* Lugo-Ortiz & McCafferty (1996). Le genre *Spiritiops* Lugo-Ortiz & McCafferty (1998), également présent en Guyane, est très proche et ferait également partie du complexe (Nieto, 2016).

Au cours de cette étude, deux larves ont été collectées sur la seule station 3. Cette station présente l'impact théorique le plus faible et la meilleure oxygénation en raison de sa proximité avec des cascades confirmant les exigences écologiques et la sensibilité du genre. Un article scientifique est en préparation afin de publier cette découverte.



Figure 12 : Le genre *Baetodes* (Ephemeroptera : Baetidae) est nouvellement cité de Guyane

#### 4.2.2 Métriques générales

Les métriques générales des stations du projet ORION sont données dans le tableau ci-après (Tableau 13). Bien que plus informative écologiquement, la richesse taxonomique générique (*S gen.*) est exploratoire en Guyane en raison du manque de connaissances fondamentales (inventaires incomplets, nombreux taxons encore non décrits...). La richesse familiale (*S fam.*), plus robuste, est donc également présentée et les indices de diversité sont calculés à ce niveau taxonomique. Le % MEPT rassemble les principaux groupes polluo-sensibles des invertébrés aquatiques en Guyane : les Megaloptera (M), Ephemeroptera (E), Plecoptera (P) et Trichoptera (T). Classiquement, dans la littérature, seuls les EPT sont considérés (ex. Batista *et al.*, 2007). En Guyane, il est pertinent de leur adjoindre les Megaloptera qui comptent parmi les taxons les plus polluo-sensibles et sont des espèces « clés de voûte ».

Tableau 13 : Métriques générales – ORION

ORION	<i>S fam.</i>	<i>S gen.</i>	Abondance relative	Densité (ind.m <sup>2</sup> )	Indice de Shannon	Equitabilité de Piélou (I)	% MEPT
St. 1	40	61	496	661	2,389	0,6814	38,6
St. 2	41	68	949	1265	2,347	0,6321	31,8
St. 3	39	63	697	929	2,651	0,7237	47,8
St. 4	48	69	717	956	2,487	0,646	34,2

Les métriques confirment que les stations du projet ORION abritent des peuplements benthiques très diversifiés et que l'impact de l'orpillage clandestin n'est peu ou pas visible. En règle générale, en Guyane, une station peut être considérée comme diversifiée lorsque la richesse taxonomique est supérieure à 30 familles et très diversifiée lorsqu'elle atteint ou dépasse 40 familles. Toutes les stations ont des valeurs proches ou supérieures à 40. L'indice de Shannon confirme également un peuplement très diversifié. Une note indicielle supérieure à 2 témoigne, en Guyane, d'un peuplement diversifié. Cette interprétation est

appuyée par l'indice d'équitabilité (J) qui, supérieur à 0,6, indique une communauté équilibrée. L'abondance relative et/ou la densité sont des paramètres plus délicats à interpréter en raison de la biologie particulière des invertébrés. En effet, ce sont des organismes avec une stratégie de reproduction de type « r » qui implique un très grand nombre de descendants et une forte mortalité de ces derniers. Ainsi, il est parfois possible d'observer de fortes variations du nombre d'individus en fonction de la période de reproduction ou de la disponibilité des ressources. On retiendra toutefois 1000 ind.m<sup>2</sup> comme valeur seuil définissant une faune benthique abondante. Les valeurs enregistrées ici (env. 1 000 ind. m<sup>2</sup>) sont voisines de ce seuil, bien que légèrement inférieures sur la station 1. Enfin, les principaux groupes polluo-sensibles sont très bien représentés. En règle générale, en l'absence de perturbation, les MEPT affichent, en Guyane, une contribution supérieure à 25 %. Toutes les stations enregistrent des valeurs nettement plus élevées. Les groupes polluo-sensibles étant les plus exigeants vis-à-vis de la qualité de l'eau, mais également de l'habitat, ces fortes proportions traduisent des milieux peu ou pas impactés par l'orpaillage clandestin.

En l'absence de référence sur site, les valeurs obtenues pour les principales métriques sont confrontées à des stations de la réserve naturelle de la Trinité (RN La Trinité) représentative d'un milieu de référence (Figure 13). Ces stations présentent un faciès comparable (petites masses d'eau – zone de source) et ont été échantillonnées par le même protocole (PEZADA DCE). Afin de lisser « l'effet site », la comparaison est effectuée sur la moyenne de trois stations de la RN de La Trinité : crique Aya, crique Baboune et crique Kokioko (Clavier, 2019, 2022).

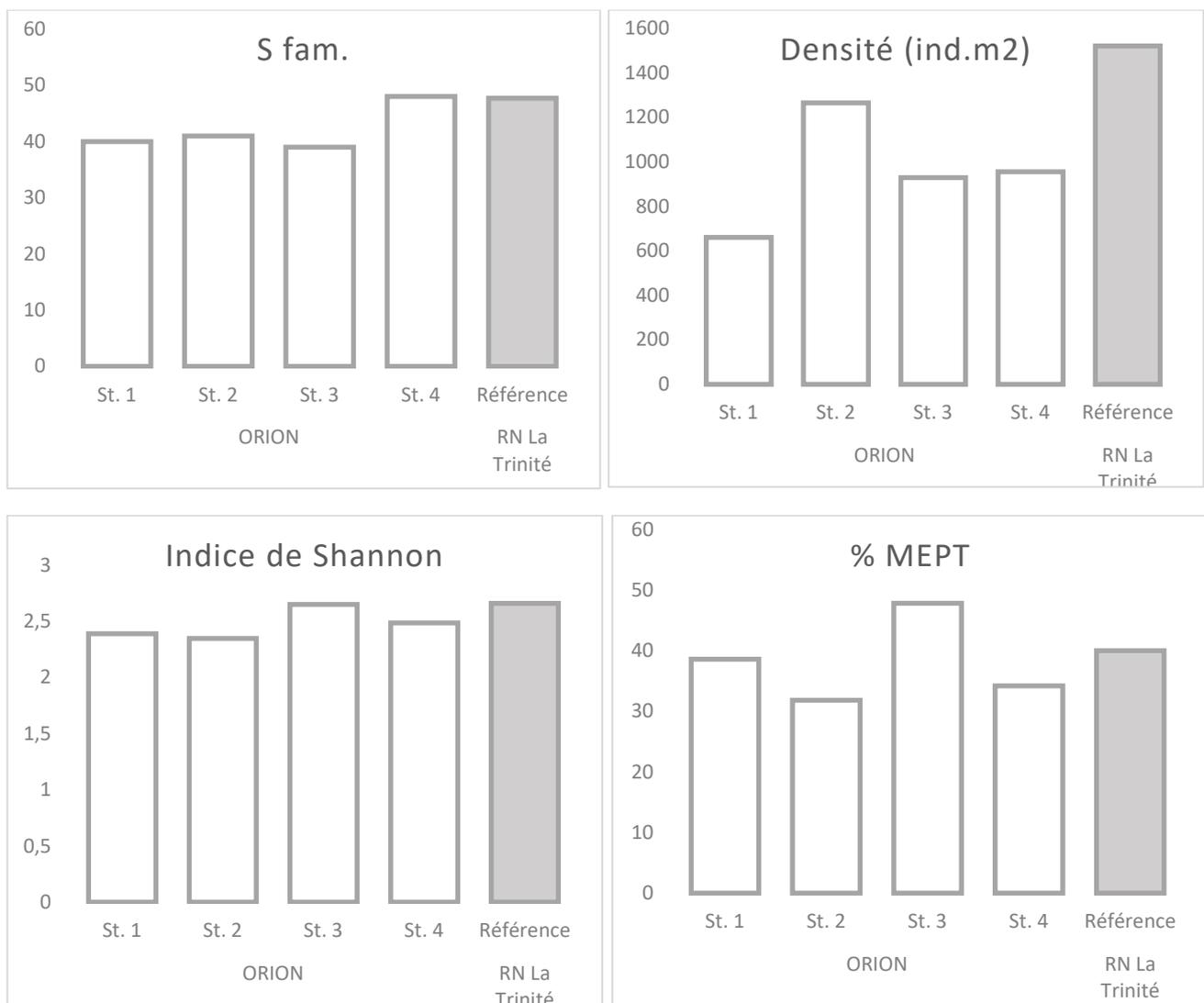


Figure 13 : Métriques des stations ORION vis-à-vis d'un milieu de référence

L'analyse confirme l'absence d'impact notable de l'orpaillage clandestin sur les stations du projet ORION. Sur l'ensemble de la zone d'étude, par rapport à un milieu de référence :

- le nombre moyen de familles d'invertébrés ne diminue que d'environ 12 %,
- l'indice de Shannon moyen d'environ 8 %,
- et le pourcentage de groupes polluo-sensibles moyen d'environ 8 % également.

Seule, la densité moyenne des invertébrés marque une diminution plus prononcée d'environ 37 %, mais ce paramètre étant sujet à de rapides fluctuations (cf. paragraphe précédent), il reste délicat à interpréter d'autant que la baisse sur les autres descripteurs est minime.

#### 4.2.3 Mesures de similarité/distance

L'impact de l'orpaillage clandestin sur la continuité écologique est approché par une analyse de similarité/distance<sup>5</sup>. La similarité, ou la dissimilarité, et la distance sont deux types de mesures d'association entre des objets. Une distance de 0 est mesurée chez deux objets identiques et elle augmente au fur et à mesure que les objets sont dissociés. Une similarité ayant une valeur de 0 n'indique aucune association, tandis qu'une valeur de 1 indique une association parfaite. À l'opposé, la dissimilarité est égale à 1-similarité. L'hypothèse sous-jacente est que, si l'orpaillage clandestin crée des ruptures de continuité écologique, il augmente la dissimilarité ou la distance. Des « ruptures » au sein des valeurs (ex. brusques augmentations) devraient donc également être observées. Différentes mesures de distance/similarité (ex. Bray Curtis, Hellinger, Jaccard) ont été calculées au niveau générique sur les abondances et les occurrences (présence/absence). Les résultats sont présentés ci-dessous (Figure 14).

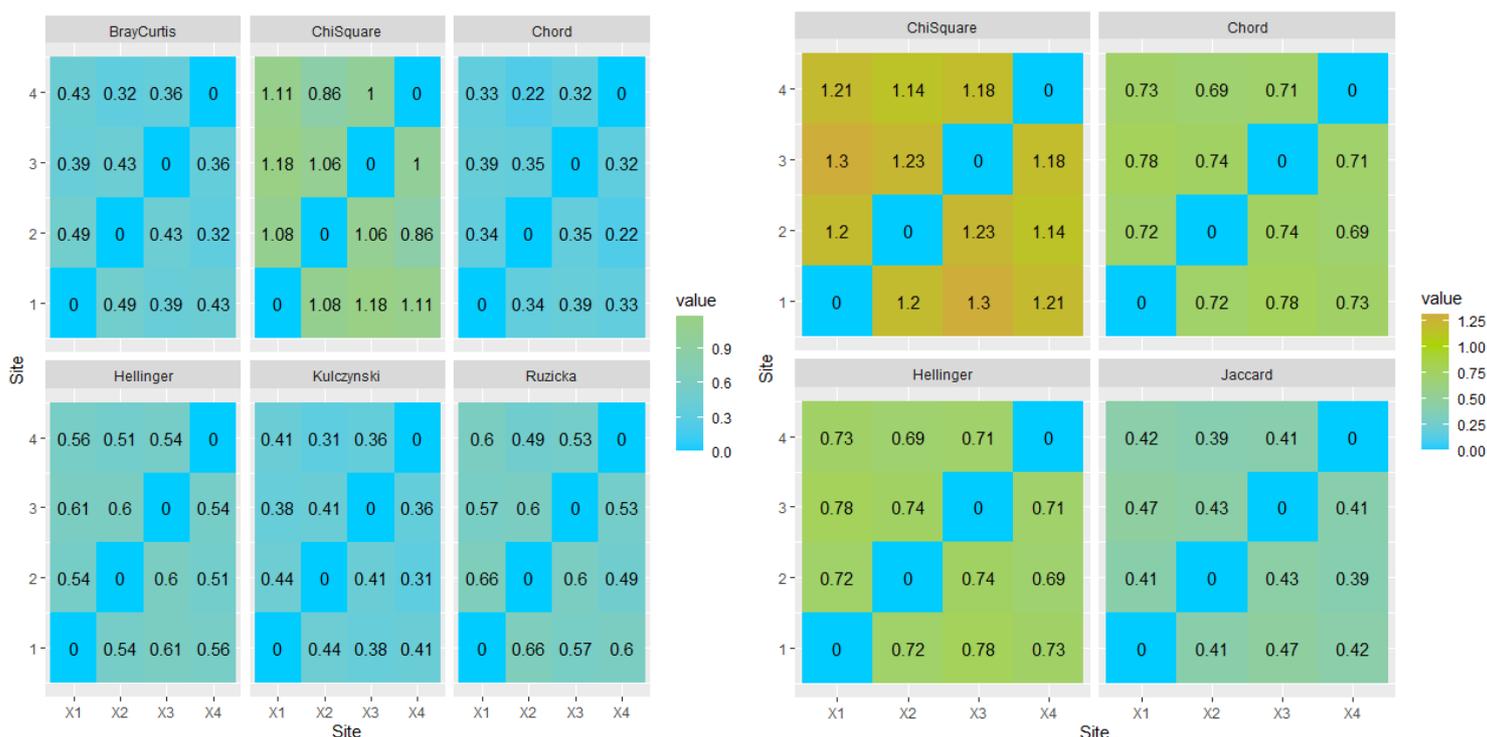


Figure 14 : Matrices de similarité/distance : abondances (à gauche) et : occurrences (à droite) - ORION

L'analyse des matrices de similarité/distance ne met en évidence aucune « rupture ». L'écart entre chaque site est très voisin et toutes les stations enregistrent des valeurs très proches. Les plus fortes distances ou dissimilarité sont notées entre le site 3 et le site 1, qui présentent l'éloignement maximal ou le site 2 et le

<sup>5</sup> Des recherches sur le terrain d'indicateurs de continuité écologique (ex. *Macrobrachium carcinus* ou *Macrobrachium olfersii*) n'ont pas permis la découverte de ces taxons.

site 1. Ces valeurs sont toutefois très proches et comparables à celles retrouvées avec le site 4 par exemple, ce qui traduit une variabilité pouvant être qualifiée de « naturelle ». Les communautés d'invertébrés n'apparaissent donc pas modifiées, tant qualitativement que quantitativement, par l'orpaillage clandestin entre les différentes stations.

#### 4.2.4 Approche fonctionnelle

La communauté n'apparaît pas modifiée qualitativement et quantitativement sur un plan taxonomique, mais qu'en est-il sur un plan fonctionnel ? L'approche fonctionnelle est centrée sur les rôles et fonctions des espèces. Elle permet d'expliquer la dynamique et le fonctionnement des écosystèmes tandis que l'approche taxonomique vise à expliquer leur composition et leur organisation (Hillebrand et Matthiessen, 2009).

Afin d'étudier l'impact de l'orpaillage clandestin sur un plan fonctionnel, le régime trophique fonctionnel des macroinvertébrés aquatiques est observé. Le régime trophique fonctionnel des invertébrés se caractérise non pas par ce qu'ils mangent, la grande majorité consommant de la matière organique en décomposition, mais comment ils mangent (en filtrant, en fouillant le sédiment, etc.). Le régime trophique fonctionnel est ainsi un proxy intéressant pour évaluer si les flux de matière organique (MO) sont modifiés dans le milieu.

Les groupes trophiques fonctionnels suivants sont considérés (Merrit & Cummins, 1996) :

- Les collecteurs : acquièrent leur nourriture (ex. particules organiques fines) en ingérant ou fouillant le sédiment.
- Les filtreurs : acquièrent leur nourriture (ex. fines particules organiques, microinvertébrés) en filtrant la colonne d'eau.
- Les racleurs : acquièrent leur nourriture (ex. périphyton, biofilm) en raclant-broutant le substrat.
- Les déchetteurs : acquièrent leur nourriture (ex. particules organiques grossières) en découpant-mastiquant de la matière organique grossière (ex. bois, feuilles) ou des tissus végétaux vasculaires vivants.
- Les prédateurs : acquièrent leur nourriture (ex. autres invertébrés) en capturant une proie.

La distribution des groupes fonctionnels des stations du projet ORION est présentée ainsi que celui de la RN de la Trinité (Figure 15).

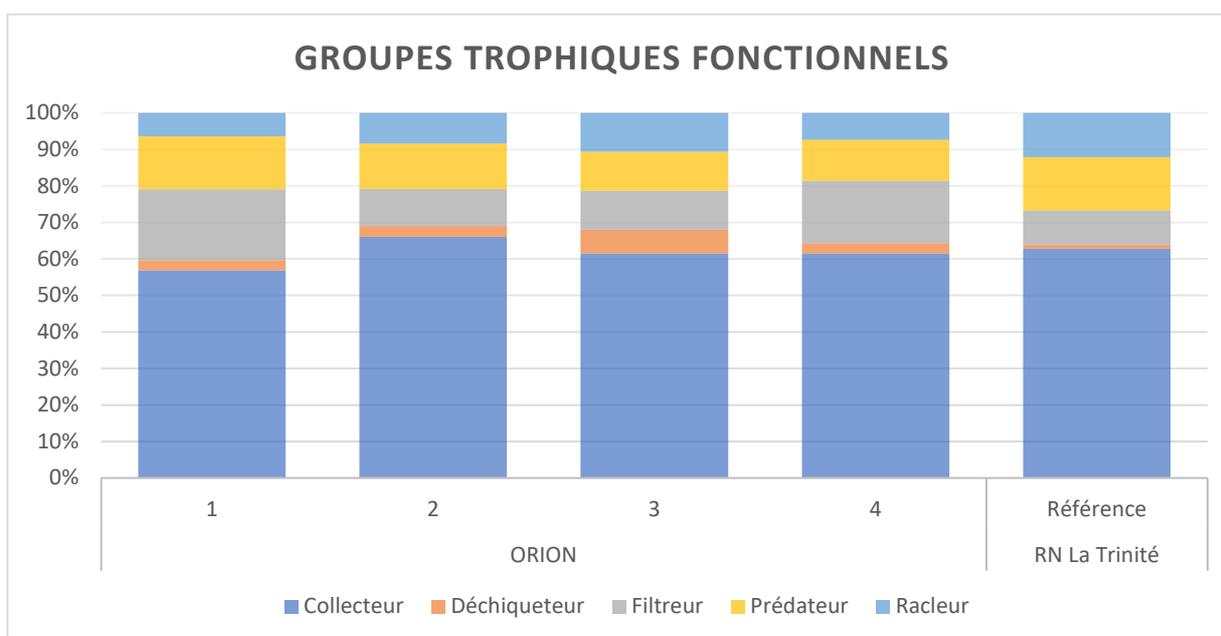


Figure 15 : Groupes trophiques fonctionnels – ORION

L'analyse des groupes trophiques ne met en évidence aucune modification sur un plan fonctionnel. Les invertébrés collecteurs sont dominants. Ils représentent 61 % du peuplement en moyenne (min. 56 % st. 1 et max. 66 % st. 3). Viennent ensuite les filtreurs (14 % en moyenne), les prédateurs (12 % en moyenne), puis les racleurs (8 % en moyenne). Les déchetiers ne sont que marginalement représentés (3 % en moyenne), ce qui s'observe classiquement dans certains cours d'eau tropicaux (Boulton *et al.*, 2001). La station 1 enregistre une proportion de filtreurs légèrement supérieure (19 % environ), mais la réalisation d'un test de Kruskal-Wallis confirme qu'il n'y a pas de différence significative ( $p = 0,738$ ) entre les stations. Aucune différence significative n'est également notée avec un milieu de référence ( $p = 0,718$ ).

#### 4.2.5 Indices biotiques

##### 4.2.5.1 Indice SMEG

Les résultats du calcul de l'indice SMEG sont présentés en Tableau 14. La robustesse a également été calculée et permet de tester l'évaluation de l'indice SMEG. Elle consiste à recalculer l'indice SMEG en supprimant l'Unité Opérationnelle (U.O.) la plus polluo-sensible (événement fortuit). Si aucune différence de classe n'est observée l'évaluation est robuste et la qualité écologique correctement estimée. Les données brutes nécessaires au calcul de l'indice sont incluses en Annexe 1.

Tableau 14 : Indices SMEG – ORION

SMEG	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
nb. U.O	13	17	14	12
Score U.O.	44	57	45	38
Polluo-sensibilité maximale	5	5	5	5
<b>SMEG</b>	<b>4,68</b>	<b>5,05</b>	<b>4,61</b>	<b>4,37</b>
<b>État écologique</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>
Robustesse	4,45	4,85	4,38	4,1
<b>État robustesse</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>

L'indice SMEG classe les stations du projet ORION en très bon état écologique et confirme l'absence d'impact notable de l'orpaillage clandestin. L'évaluation est robuste et aucune station n'est dégradée suite à l'application du test de robustesse. À noter que la polluo-sensibilité maximale (5) est atteinte sur chacune des stations.

À noter également que la station 3 compte un genre d'éphéméroptère supplémentaire : *Baetodes*. À défaut d'une note de polluo-sensibilité préalablement attribuée, ce dernier n'intervient pas dans le calcul de l'indice SMEG qui serait donc théoriquement plus élevé. En raison de la rareté apparente du genre et de sa capture sur l'unique station présentant l'impact théorique minimal, nous proposons de lui attribuer la note de polluo-sensibilité maximale c'est-à-dire 5. En prenant en compte cette nouvelle unité opérationnelle, l'indice SMEG de la station 3 s'élève désormais à 4,83 et la robustesse à 4,61 (Tableau 15).

Tableau 15 : Indices SMEG – ORION avec *Baetodes*

SMEG	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
nb. U.O	13	17	15	12
Score U.O.	44	57	49	38
Polluo-sensibilité maximale	5	5	5	5
<b>SMEG</b>	<b>4,68</b>	<b>5,05</b>	<b>4,83</b>	<b>4,37</b>
<b>État écologique</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>
Robustesse	4,45	4,85	4,61	4,1
<b>État robustesse</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>

#### 4.2.5.2 Indice IBMG

Les résultats du calcul des six métriques et de l'indice IBMG sont présentés en Tableau 16. Les données brutes nécessaires au calcul de l'indice sont incluses en Annexe 2.

Tableau 16 : Indices IBMG – ORION

IBMG	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
Chao1_B	1	1	1	0,37
Shannon_AB	0,856	0,780	0,918	0,832
CoGa_AB	0,633	0,838	0,733	0,682
ColeoS_AB	0,233	0,088	0,233	0,419
Log.Elmidae_A	0,738	0,940	1	0,939
ETQ_AB	1	1	1	0,945
<b>IBMG</b>	<b>0,773</b>	<b>0,790</b>	<b>0,836</b>	<b>0,691</b>
<b>ÉTAT ECOLOGIQUE</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>	<b>TRÈS BON</b>

L'indice IBMG confirme les évaluations de l'indice SMEG et l'absence d'impact sur les stations du projet ORION. Toutes les stations sont classées en très bon état écologique.

#### 4.2.5.3 Indice IBMG2

Les résultats du calcul des quatre métriques et de l'indice IBMG2 sont présentés en Tableau 17. Les données brutes nécessaires au calcul de l'indice sont incluses en Annexe 2.

Tableau 17 : Indices IBMG2 – ORION

IBMG2	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
Brillouin	0,794	0,731	0,882	0,789
Log.Elmidae+1	0,479	0,616	0,606	0,53
NPred	0,5	0,454	0,318	0,545
%ETO	0,749	0,648	0,679	0,587
<b>IBMG2</b>	<b>0,636</b>	<b>0,613</b>	<b>0,622</b>	<b>0,611</b>
<b>ÉTAT ECOLOGIQUE</b>	<b>BON</b>	<b>BON</b>	<b>BON</b>	<b>BON</b>

Contrairement aux indices SMEG et IBMG, l'indice IBMG2 détecte un faible impact sur les stations du projet ORION et les classent en bon état écologique. Le très bon état écologique n'est pas atteint. Toutefois, au vu du faible recul disponible, les données de l'IBMG2 restent à interpréter avec prudence. Cet indice est encore en phase de validation et n'a pas été officialisé sur le territoire. Son évaluation est donc fournie à titre indicatif. Il est davantage à considérer en valeur relative (différence amont/aval) qu'en valeur absolue (état écologique). Les valeurs mesurées ici sont toutes très proches et représentatives d'une qualité équivalente.

## 5 CONCLUSION - PERSPECTIVES

Un an et huit mois après l'arrêt des activités d'orpaillage clandestin, les stations du projet ORION sont classées en très bon état écologique et les différents indicateurs employés ne mettent en évidence aucun impact notable, tant sur le plan physico-chimique que biologique. La résilience des milieux aquatiques est quasi totale par rapport à un milieu de référence exempt de toutes pressions anthropiques et probablement due à :

- une pression d'intensité et de durée modérées (petits chantiers, démantèlement relativement rapide par les forces armées),
- un temps suffisamment long entre l'arrêt de la pression et le diagnostic écologique (1 an et 8 mois),
- et des cours d'eau énergétiques en tête de bassin favorisant le lessivage des fines, la restauration de l'hydromorphologie et des habitats aquatiques.

Ces résultats offrent des perspectives intéressantes dans la lutte contre l'orpaillage illégal en Guyane. En menant des actions rapides sur des sites de faibles ampleurs de têtes de bassins, il est possible d'éviter qu'une dégradation irréversible ne s'opère et d'assurer la préservation des milieux aquatiques en bon état écologique comme le requiert la Directive Cadre européenne sur l'Eau.

Au regard de ces conclusions, il n'apparaît pas essentiel d'assurer un suivi à court terme des populations d'invertébrés pour s'assurer de la résilience des milieux aquatiques. Une nouvelle action d'échantillonnage peut être envisagée dans cinq ans environ afin de s'assurer des présentes conclusions. Il sera également intéressant de conduire cette action en saison sèche afin de s'assurer que les forts débits de la saison des pluies n'ont pas contribué à trop sous-évaluer l'impact de la pression recherchée. La recherche de conditions référentielles dans le secteur permettra également d'affiner la quantification de la pression.

## 6 BIBLIOGRAPHIE

- Boulton, A. J., Boyero, L., Covich, A. P., Dobson, M., Lake, S., & Pearson, R. (2008). Are tropical streams ecologically different from temperate streams?. In *Tropical stream ecology* (pp. 257-284). Academic Press.
- Allard, L., Popée, M., Vigouroux, R., Brosse, S., 2016. Effect of reduced impact logging and small-scale mining disturbances on Neotropical stream fish assemblages. *Aquatic sciences* 78, 315–325.
- Baptista, D. F., Buss, D. F., Egler, M., Giovanelli, A., Silveira, M. P., & Nessimian, J. L. (2007). A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forest streams at Rio de Janeiro State, Brazil. *Hydrobiologia*, 575, 83-94.
- Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B.D., Stribling J.B., 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. 2nd edn. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water; Washington, D.C.
- Barr C. 2018. Amazonopsis, an unusual new genus of riffle beetle from South America with two new species (Coleoptera, Elmidae, Elminae). *ZooKeys* 803: 71–92. <https://doi.org/10.3897/zookeys.803.28124>
- Belmont, E. L. L., Salles, F. F., & Hamada, N. (2012). Leptohiphidae (Insecta, Ephemeroptera) do Estado do Amazonas, Brasil: novos registros, nova combinação, nova espécie e chave de identificação para estágios ninfais. *Revista Brasileira de Entomologia*, 56, 289-296.
- Belmont, E. L., Cruz, P. V., & Hamada, N. (2015). A new species of Tricorythopsis Traver, 1958 (Leptohiphidae) and occurrence of Pannota (Insecta: Ephemeroptera) species in Amapá state, Brazil. *Zootaxa*, 4007(1), 104-112.
- Bernhoft, R. A. (2012). Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. *Journal of environmental and public health*, 2012.
- Bonada N., Prat N., Resh V.H., Statzner B., 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.* 51 : 495-523.
- Boudou, A., Dominique, Y., Cordier, S., Frery, N., 2006. Les chercheurs d'or et la pollution par le mercure en Guyane française : conséquences environnementales et sanitaires. *Environnement, Risques et Santé* 5:12
- Bouvier D., Rochet M. & Clavier S., 2021. Réseau de Contrôle de Surveillance des eaux douces de surface 2020 — District hydrographique de Guyane — faune benthique invertébrée – Rapport Hydreco/Onikha/Office de l'Eau de Guyane. 114p.
- Boyero L, DeLope JL. 2002. Short-term recolonisation of stones in a tropical island stream. *Mar Freshw Res.* 53:993–998.
- Brosse, S., Grenouillet, G., Gevrey, M., Khazraie, K., Tudesque, L., 2011. Small-scale gold mining erodes fish assemblage structure in small neotropical streams. *Biodiversity and Conservation* 20, 1013–1026.
- Chandesris A. et Wasson J.G., 2005. Hydro-écorégions de la Guyane. Propositions de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Convention CEMAGREF. Rapport.
- Clavier S., & Rochet M. 2022. Invertébrés aquatiques de la crique Kokioko — Réserve Nationale de La Trinité — Inventaire & Bioindication. Rapport ONF/ONIKHA. 54p.

- Clavier S., 2019. Invertébrés aquatiques de la Réserve nationale de La Trinité - Inventaire & Bioindication. Rapport ONF/ONIKHA. 87p.
- Clavier S., Barr C., Cerdan A., Dominguez E., Post D., Shepard W., Sites B. 2018. Diversité et écologie des Invertébrés Aquatiques de Guyane — DIAG — Coleoptera & Heteroptera – 260 p.
- Clavier S., Bouvier D., Reynouard C. & Bargier N. 2017. Réseau de Contrôle de Surveillance des eaux douces de surface 2016 — District hydrographique de Guyane — MERCURE DANS LE BIOTE – Rapport HYDRECO/Office de l'Eau de Guyane. 51p.
- 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 lenticules, en particulier les zones aval des fleuves. *Ephemera*. 11 (1) : 49-64.
- Clavier S., Raymond E., & Bouvier D., 2017. Réseau de Contrôle de Surveillance des eaux douces de surface 2016 — District hydrographique de Guyane — INVERTEBRES AQUATIQUES – Rapport HYDRECO/Office de l'Eau de Guyane. 84p.
- Clavier S., Rhoné M., Vigouroux R., 2014. Redéfinition des limites de classes de qualité de l'indice SMEG. Rapport HYDRECO/ONEMA. 13p.
- Clavier, S., Pointier, J.-P. & Massemin, D. 2010. Découverte de *Gundlachia radiata* (Guilding, 1828) (Mollusca: Planorbidae) en Guyane française. *Novapex*, 11(4): 115-118.
- Cruz, P. V., De Lima, C. R., Nascimento, S. R., & Regina, M. (2023). Two new species of Baetodes Needham & Murphy, 1924 with an updated checklist of Baetidae (Ephemeroptera) of Rondônia state, Brazil. *Zootaxa*, 5311(1), 105-122.
- Cruz, P. V., Salles, F. F., & Hamada, N. 2013. A new genus and species of Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) from Brazil. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 49, No. 1, pp. 1-12). EDP Sciences.
- da Cruz, B. R., Cunha, M. C., Bueno, A. A. D. P., & Jacobucci, G. B. (2021). Natural diet of *Macrobrachium brasiliense* (Crustacea, Decapoda) in a Cerrado stream. *Iheringia. Série Zoologia*, 111
- Dedieu, N., Allard, L., Vigouroux, R., Brosse, S., Céréghino, R., 2014. Physical habitat and water chemistry changes induced by logging and gold mining in French Guiana streams. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 415.
- Dedieu, N., Clavier, S., Vigouroux, R., Cerdan, P., & Cereghino, R. 2016. A multimetric macroinvertebrate index for the implementation of the European Water Framework Directive in French Guiana, East Amazonia. *River Research and Applications*, 32(3), 501-515.
- Dedieu, N., Rhone, M., Vigouroux, R., Céréghino, R., 2015a. Assessing the impact of gold mining in headwater streams of Eastern Amazonia using Ephemeroptera assemblages and biological traits. *Ecological Indicators* 52, 332–340.
- Dedieu, N., Vigouroux, R., Cerdan, P., Céréghino, R., 2015b. Invertebrate communities delineate hydroecoregions and respond to anthropogenic disturbance in East-Amazonian streams. *Hydrobiologia* 742, 95–105
- Dias, L. G. ; Cárdenas López, T. ; Laython, M. 2016. Conocimiento actual y ampliación de la distribución de *Tricorythopsis rondoniensis* (Ephemeroptera, Leptohiphidae). *Revista Colombiana de Entomología* 42 (2): 197-198. Julio-Diciembre 2016. ISSN 0120-0488.

- Dias, L.G., Cruz, P.V., & Ferreira, P.S.F. (2009) A new species of Tricorythodes Ulmer (Ephemeroptera: Leptohiphidae) from northern Brazil. *Annales de Limnologie*, 45, 127-129.
- Durrieu, G., Boudou, A., & Maury-Brachet, R. (2001, October). The piscivorous fish *Hoplias aimara* as an indicator of mercury contamination in freshwater systems of French Guiana. In *6th International conference on Mercury as a global pollutant*.
- Durrieu, G., Maury-Brachet, R., & Boudou, A. (2005). Goldmining and mercury contamination of the piscivorous fish *Hoplias aimara* in French Guiana (Amazon basin). *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 315-32
- Fleck, G., & Haber, W. A. (2022). *Paracordulia calcarulata*, new species from Ecuador and notes on the genus *Paracordulia* Martin, 1907 (Odonata: Anisoptera: Corduliidae s. str.). *Zootaxa*, 5124(5), 551-564.
- Fleck, G., & Neiss, U. G. (2012). The larva of the genus *Paracordulia* Martin, 1907 (Odonata: Corduliidae ss) and a generic key to the larvae of Corduliidae s.l. occurring in South America. *Zootaxa*, 3412(1), 62-68.
- Fréry, N., Maury-Brachet, R., Maillot, E., Deheeger, M., De Mérona, B., & Boudou, A. (2001). Gold-mining activities and mercury contamination of native amerindian communities in French Guiana: key role of fish in dietary uptake. *Environmental Health Perspectives*, 109(5), 449-456.
- Fujimura, M., Matsuyama, A., Harvard, J. P., Bourdineaud, J. P., & Nakamura, K. (2012). Mercury contamination in humans in Upper Maroni, French Guiana between 2004 and 2009. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 88, 135-139.
- Gustafson, G. T., Short, A. E., & Miller, K. B. 2016. New species of diving beetles in the subgenus *Platynectes* s. str. from the Guiana Shield (Coleoptera: Dytiscidae : Agabinae). *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae*, 56(1), 79-102.
- Hamada, N., Thorp, J. H., & Rogers, D. C. (Eds.). 2018. Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Volume 3: Keys to Neotropical Hexapoda. (fourth ed.), Academic Press.
- Hammond, D.S. 2005. Tropical Rainforests of the Guianan Shield. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. 560p
- Herrera, F., & Springer, M. 2014. New species of *Potamocoris* Hungerford (Heteroptera, Potamocoridae) from Costa Rica and a key to the species. *Zootaxa*, 3884(5), 492-496.
- Keith P., Le Bail P.-Y. & Planquette P. (2000). Atlas des poissons d'eau douce de Guyane – Tome 2, fascicule I : Batrachoidiformes, Mugiliformes, Beloniformes, Cyprinodontiformes, Synbranchiformes, Perciformes, Pleuronectiformes, Tetraodontiformes. Collection Patrimoines naturels – Volume 43 (I). MNHN/Service du patrimoine naturel, Paris, France, 286 p.
- Langford, N. J., & Ferner, R. E. (1999). Toxicity of mercury. *Journal of human hypertension*, 13(10), 651-656.
- Laperche V., Maury-Brachet R., Blanchard F., Dominique Y., Durrieu G., Massabuau J.C., Bouillard H., Joseph B., Laporte P., Maury-Brachet R., Durrieu G., Dominique Y. & Boudou A. 2007. Mercury distribution in fish organs and food regimes: significant relationships from twelve species collected in French Guiana (Amazon basin), *Sci Total Environ*. 368: 262-270.
- Laperche V., Maury-Brachet R., Blanchard F., Dominique Y., Durrieu G., Massabuau J.C., Bouillard H., Joseph B., Laporte P., Mesmer-Dudons N., Duflo V. & Callier L. 2007. Répartition régionale du mercure dans les sédiments et les poissons de six fleuves de Guyane – Rapport BRGM/RP-55965-FR. 203 p.

- Lavoie, R. A., Jardine, T. D., Chumchal, M. M., Kidd, K. A., & Campbell, L. M. (2013). Biomagnification of mercury in aquatic food webs: a worldwide meta-analysis. *Environmental science & technology*, 47(23), 13385-13394.
- Le Bail P.-Y., Keith P., & Planquette P. (2000). Atlas des poissons d'eau douce de Guyane – Tome 2, fascicule II : Siluriformes. Collection Patrimoines naturels – Volume 43 (II). MNHN / Service du patrimoine naturel, Paris, France, 307 p.
- Llano, C., Villada-Bedoya, S., & Meza-S, A.M., 2016.- Registro del género *Hebrus* Curtis, 1879 (Hemiptera: Hebridae) para el departamento de Caldas: una contribución al conocimiento de la biota local. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 20 (2) : 225-230. DOI : 10.17151/bccm.2016.20.2.16
- Luiza-Andrade, A., Silva, R. R., Shimano, Y., Faria, A. P. J., Cardoso, M. N., Brasil, L. S., ... & Juen, L. (2022). Niche breadth and habitat preference of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (Insecta) in streams in the Brazilian Amazon. *Hydrobiologia*, 849(19), 4287-4306.
- Malzacher, P., & Molineri, C. (2021). A contribution to taxonomy of two Leptohiphidae larvae (Insecta: Ephemeroptera). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 80(2).
- Martin, R. (1907) [1906] Cordulines. Catalogue systématique et descriptif. Collections zoologiques du Baron Edm. de Selys Longchamps, 17, 1–98.
- Massemin, D., Clavier, S. & Pointier, J. P. 2011. First record of *Pisidium punctiferum* (Guppy, 1867) and *Eupera viridans* (Prime, 1865) (Mollusca: Sphaeriidae) from French Guiana. *Novapex*, 12 (3-4) : 109-118.
- Maury-Brachet, R., Gentes, S., Dassié, E. P., Feurtet-Mazel, A., Vigouroux, R., Laperche, V., ... & Legeay, A. (2020). Mercury contamination levels in the bioindicator piscivorous fish *Hoplias aimara* in French Guiana rivers: mapping for risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 3624-3636.
- MNHN, UICN Comité français & Hydreco (2020). La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Poissons d'eau douce de Guyane. Paris, France. Rapport d'évaluation.
- Molles MC. 1985. Recovery of a stream invertebrate community from a flash flood in Tesuque Creek. *New Mexico. Southwest Nat.* 30:279–287.
- Nieto, C. (2016). The Baetodes complex (Ephemeroptera: Baetidae), phylogeny, biogeography, and new species of *Mayobaetis*. *Freshwater Science*, 35(1), 55-64.
- Nogueira, C. S., Pantaleão, J. A. F., Almeida, A. C., & Costa, R. C. (2020). Male morphotypes of the freshwater prawn *Macrobrachium brasiliense* (Decapoda: Caridea: Palaemonidae). *Invertebrate Biology*, 139(1), e12279.
- Oláh, J., & Johanson, K. A. (2012). New species and records of Neotropical Macronematinae and Smicrideinae (Trichoptera: Hydropsychidae). In *Annales Historico-Naturales Musei Nationalis Hungarici* (Vol. 104, pp. 215-297).
- Paprocki, H., & Moreira-Silva, L. (2018). New species of *Plectromacronema* Ulmer 1906 (Trichoptera: Hydropsychidae) from Brazil, with association of immature stages and aspects of its biology. *Plos one*, 13(6), e0197573.
- Planquette P., Keith P. & Le Bail P.-Y. (1996). Atlas des poissons d'eau douce de Guyane – Tome 1. Collection du Patrimoine Naturel – Volume 22. Institut d'écologie et de gestion de la biodiversité, MNHN, INRA, Conseil Supérieur de la Pêche, Ministère de l'Environnement, Paris, France, 429 p.
- Polhemus, D. A., & Carrie, R. H. 2013. A new species of *Potamocoris* (Heteroptera: Potamocoridae) from Belize, and synonymy of the genus *Coleopterocoris*. *Tijdschrift voor Entomologie*, 156(2-3), 141-149.

- Resh, V.H. and J.K. Jackson. 1993. Rapid assessment approaches to biomonitoring using benthic macroinvertebrates. Pages 195-233 in D.M. Rosenberg and V.H. Resh (editors). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York.
- Richard, S., Arnoux, A., Cerdan, P., Reynouard, C., & Horeau, V. (2000). Mercury levels of soils, sediments and fish in French Guiana, South America. *Water, Air, and Soil Pollution*, 124, 221-244.
- Rivera-Gasparín, S. L., Ardila-Camacho, A., & Contreras-Ramos, A. 2019. Bionomics and ecological services of Megaloptera larvae (dobsonflies, fishflies, alderflies). *Insects*, 10(4), 86.
- Rosenberg D.M. et Resh V.H., 1993. Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall. Springer. 488p.
- Roussel J-M., Le Bail P-Y., Treguier A. & Vigouroux R., 2015. Communauté de poissons des criques de Guyane : organisation des réseaux trophiques et incidence de l'orpaillage. Rapport de fin de contrat. 41p.
- Salles, F. F., J. D. Batista, and H. R. S. Cabette. 2004. Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) de nova xavantina, Mato Grosso, Brasil: novos registros e descrição de uma nova espécie de Cloeodes Traver. *Biota Neotropica* 4(2):1-8.
- Shepard, W. D., Clavier, S., & Cerdan, A. 2020. A generic key to the known larval Elmidae (Insecta: Coleoptera) of French Guiana. *Papéis Avulsos De Zoologia*, e202060-si.
- Short, A. E. Z. García M. & Girón J. C. (2017). Revision of the Neotropical water scavenger beetle genus *Globulosis* García, 2001 (Coleoptera: Hydrophilidae: Acidocerinae). *Zootaxa*, 4232(2), 271-281.
- Short, A. E. Z., Benetti, C. J., & Gustafson, G. T. (2020). New records of *Platynectes* (s. str.) diving beetles from South America with description of two new species (Coleoptera: Dytiscidae : Agabinae). *Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae*, 60(2), 437-447.
- Thomas A., Orth K., Dominique Y. 2001. Étude 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.
- UNESCO, 2003. Première évaluation des ressources mondiales en eau par l'ensemble du système des Nations-Unies. Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau. Résumé. Doc. 129 556f. UNESCO-WWAP. 36p.
- Uriot, 2020. Détermination des *Argia* de Guyane. 9p. [https://cdnfiles2.biolovision.net/www.faune-guyane.fr/pdf/files/news/Fiche\\_d-identification\\_des\\_Argia-4595.pdf](https://cdnfiles2.biolovision.net/www.faune-guyane.fr/pdf/files/news/Fiche_d-identification_des_Argia-4595.pdf)
- Van Doesburg, P. H. 1984. A new species of *Potamocoris* Hungerford, 1941 from suriname (Heteroptera: Naucoridae). *Zoologische Mededelingen*, 59(2), 19-26.
- Zabyelina, Y., & van Uhm, D. (Eds.). (2020). *Illegal Mining: Organized Crime, Corruption, and Ecocide in a Resource-Scarce World*. Springer Nature.

## 7 ANNEXES

### Annexe 1 — Data SMEG —

STATIONS	1	2	3	4
<i>Allenhyphes</i>		1	5	
<i>Amanahyphes</i>	3	43	1	4
<i>Americabaetis</i>	2	9	7	4
<i>Aturbina</i>				1
<i>Baetodes</i>			2	
<i>Camelobaetidius pc court</i>		1		
<i>Camelobaetidius pc long</i>			1	
<i>Campylocia</i>	42	18	12	26
<i>Farrodes</i>	2	8	19	1
<i>Fittkaulus</i>	19	4	8	3
<i>Hagenulopsis</i>	12	19		8
<i>Miroculis</i>	7	11	38	14
<i>Paracloeodes</i>		1		
<i>Paramaka</i>	10	1		
<i>Terpides</i>	11	20	7	3
<i>Thraulodes</i>	5	5	6	5
<i>Tricorythodes</i>	2	11	3	5
<i>Tricorythopsis</i>		1	1	
<i>Ulmeritoides</i>			2	
<i>Waltzoyphius</i>	1	3		
<i>Zelusia</i>	6	6	7	4

## Annexe 2 — Data IBMG — IBMG2-

STATION 1	ORGANIQUE								MINERAL			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(OLIGOCHAETA)	1	3		1		1				3	1	1
AMPULLARIIDAE									1			
BAETIDAE		1			2	5	1					
CALAMOCERATIDAE	4					4	3					
CALOPTERYGIDAE							1					
CERATOPOGONIDAE					1							
CHIRONOMIDAE	21	15	3	14	38	8	13	9	1	21	15	6
CORYDALIDAE						1						
DRYOPIDAE		1						1				
DUGESIIDAE										1		
ECNOMIDAE		1		1								
ELMIDAE	1	1			3	8		1	2	2		2
EMPIDIDAE		1				1						
EUTHYPLOCIIDAE				1		3	1			37		
GLOSSOSOMATIDAE									2	3		
GOMPHIDAE	4										1	
GYRINIDAE				1								
HELICOPSYCHIDAE	2											
HYDRAENIDAE						1						
HYDROPHILIDAE								1				
HYDROPSYCHIDAE		2	1		31	1				5		
LEPTOCERIDAE	2		1			2	1					
LEPTOHYPHIDAE	1	1		1	1	1				1		
LEPTOPHLEBIIDAE	6	1		3	28	4		7	5	14		
LIBELLULIDAE					1							
LIMONIIDAE		1								3		1
MEGAPODAGRIONIDAE	1							1				
NEPIDAE							1					
PACHYCHILIDAE			1	1	3							
PALAEMONIDAE	2			1								
PERILESTIDAE	1											
PERLIDAE			1	2	10	18		6	2	1		
PHILOPOTAMIDAE						1			1			
POLYCENTROPODIDAE		3										
POLYTHORIDAE					1	1						
PTILODACTYLIDAE		1						1		1		
SCIRTIDAE		1			9							
SIMULIIDAE					9							
SPHAERIIDAE										1		
VELIIDAE		2				1	1		1			

STATION 2	ORGANIQUE								MINERAL			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(COLLEMBOLA)	1			1								
(HYDRACARINA)				5								
(NEMATODA)	1											
(NEMATOMORPHA)			1									
(OLIGOCHAETA)		2	5	6			1		3			3
BAETIDAE	1		4	5		3	1	5			1	
CALAMOCERATIDAE		1	1	1	3			1				
CALOPTERYGIDAE	1	2	1				2					
CERATOPOGONIDAE	2		1			1	2		2			2
CHIRONOMIDAE	49	45	58	148	18	29	33	24	5		6	7
COCHLIOPIDAE			1				1					
CRAMBIDAE			1	14								
DRYOPIDAE		1		11	1			1			1	
DUGESIIDAE				11								
ECNOMIDAE			4									
ELMIDAE	4	9		8	3	2	3		16	2	1	1
EUTHYPLOCIIDAE		5		1			9			2		1
GERRIDAE					1							
GLOSSOSOMATIDAE								1		2		
GOMPHIDAE							1					
GYRINIDAE		1		1								
HELICOPSYCHIDAE											1	
HYDROPSYCHIDAE		1	4	34		3		18	2	2		
LEPTOCERIDAE	8	4	3	8	1	2						1
LEPTOHYPHIDAE	3	2	1	45	2	1	2	1				1
LEPTOPHLEBIIDAE	3	11	6	28	3		2	3	14	11		1
LIBELLULIDAE			1	5		1		2	1			
LIMONIIDAE	2	2	1		1				4			
MEGAPODAGRIONIDAE				16	1							
NAUCORIDAE		1	2	3					1			
PALAEMONIDAE		1	1		1		1					
PERLIDAE	2	3		3			1	4	2	1		
PHILOPOTAMIDAE	3				3							
PLATYSTICTIDAE												1
POLYCENTROPODIDAE	1		1	13		1	3					
POLYTHORIDAE				1								
PSEUDOTELPHUSIDAE		1										
PTILODACTYLIDAE	2	3			1							
SCIRTIDAE			1									
SPHAERIIDAE												1
VELIIDAE		1	1									

STATION 3	ORGANIQUE								MINERAL			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(DIPTERA)												1
(HYDRACARINA)				5								1
(ISOPODA)						1						
(OLIGOCHAETA)				2							3	
BAETIDAE	1	1		4	1			5	3	1	1	
CALAMOCERATIDAE	4		1	1	1	1	2	3	1			3
CALOPTERYGIDAE	1	4		1		2		1				
CHIRONOMIDAE	31	28	3	38	1	61	14	14		1	9	7
COENAGRIONIDAE									1		1	
CRAMBIDAE		16		1		3		3				
CURCULIONIDAE										1		
DRYOPIDAE	1			26			4				1	
DUGESIIDAE				1								
ECNOMIDAE				1		1						
ELMIDAE	5	1	5	16	4	4	3		3		5	
EUTHYPLOCIIDAE						2			4		6	
GLOSSOSOMATIDAE									3	2		
GOMPHIDAE				2			2				1	
HELICOPSYCHIDAE		1										
HYDROPHILIDAE	1							1				
HYDROPSYCHIDAE	3	1	1	6	2	6		7	2			1
LEPTOCERIDAE	11	4	7	10	3	3	14	6				1
LEPTOHYPHIDAE	5		1	2	2			2				
LEPTOPHLEBIIDAE	16	11	1	16	1	12	9	10	10			1
LIBELLULIDAE	1											
LIMONIIDAE	1			5	1	1			1			
LUTROCHIDAE			1									
MEGAPODAGRIONIDAE				5								
NAUCORIDAE				1								
PACHYCHILIDAE	2	9		3	3	1		2	1			
PALAEEMONIDAE	1	1		2							2	
PERLIDAE	8		5	6		1		6	1			
PHILOPOTAMIDAE			1									
POLYTHORIDAE			1	1		1						
PSEUDOTELPHUSIDAE									1			
PTILODACTYLIDAE								1				
SCIRTIDAE						2						
SIMULIIDAE		3	23	1	4							
VELIIDAE		1				3				1		

STATION 4	ORGANIQUE								MINERAL			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(DIPTERA)	1	1				4						
(HYDRACARINA)					1							
(NEMATODA)		3										
(OLIGOCHAETA)	1	11		1	2		1					
AMPULLARIIDAE						1						
BAETIDAE		2	1	3	2				1			
CALAMOCERATIDAE	1			1		2	1					
CALOPTERYGIDAE		1			2							
CERATOPOGONIDAE	1	5		1		1						
CHIRONOMIDAE	34	141	1	48		38	3	31			4	3
COCHLIOPIDAE				1	2							
CRAMBIDAE					4							
CURCULIONIDAE				1								
DRYOPIDAE	3			1	2	1	2					
DUGESIIDAE									2			
ECNOMIDAE		3		1								
ELMIDAE	3	10		2	4	1	2	2	3			1
EMPIDIDAE									1			
EUTHYPLOCIIDAE	1	13			6			2	2	2		
GERRIDAE	1											
GLOSSOSOMATIDAE										1		
GOMPHIDAE		4			2		1					
GYRINIDAE		1				1						
HELICOPSYCHIDAE			1									
HYDROPHILIDAE			1		2							
HYDROPSYCHIDAE	1	49			5		10		11	3	3	
LEPTOCERIDAE	6	5		12	1	2	1	7			2	
LEPTOHYPHIDAE	1	3		4	2	1	1					
LEPTOPHLEBIIDAE	2	14	2	7	1		1	1	5	2		
LIBELLULIDAE					1		1		1			
LIMONIIDAE		4		6				1				
LUTROCHIDAE					1							
MEGAPODAGRIONIDAE		5						1				
NAUCORIDAE				2								
ODONTOCERIDAE									1			2
PACHYCHILIDAE		20		1								
PALAEMONIDAE		2		1	1	1						
PERLIDAE		4		7	1			1			1	
PLATYSTICTIDAE									3	1	1	
POLYTHORIDAE									1	1		
PSYCHODIDAE		2		1								
PTILODACTYLIDAE		8		1	1							
RHAGIONIDAE								1				
SCIRTIDAE		1						3				
SIMULIIDAE		4			1			1				
SPHAERIIDAE		5										
TABANIDAE		1										
VELIIDAE								1				