



# ÉTUDES SUR LES POISSONS

MISE AU POINT DE L'INDICE POISSON  
ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DES PETITES MASSES D'EAU



**Bernard de Mérona**



## Sommaire

1	Introduction.....	4
2	L'échantillonnage.....	5
3	Les données disponibles.....	5
4	Analyses exploratoires.....	6
4.1	Analyse du tableau des échantillons par famille.....	6
4.1.1	Une première analyse est passée sur l'ensemble des échantillons. ....	6
4.1.2	Analyse du tableau réduit.....	6
4.2	Analyse des paramètres chimiques.....	6
4.3	Les relations entre habitat et peuplement.....	12
5	Les descripteurs des peuplements.....	13
5.1	Des descripteurs globaux.....	13
5.1.1	La capture par unité d'effort .....	13
5.1.2	La diversité de l'échantillon .....	13
5.1.3	L'équitabilité .....	13
5.1.4	Le nombre d'espèces présentes dans l'échantillon.....	13
5.1.5	La richesse théorique .....	13
5.2	Des descripteurs taxonomiques .....	13
5.3	Des descripteurs trophiques .....	13
6	Méthode de construction de l'indice.....	14
6.1	Préparation des données.....	14
6.2	Calcul des relations de référence habitat/peuplement.....	17
6.3	Calcul des résidus et sélection des métriques.....	18
6.4	Transformation des métriques en notes.....	20
6.5	Résultats.....	20
6.6	Validation.....	25
7	Le logiciel.....	25
8	Etude préliminaire des petites masses d'eau.....	25
8.1	Comparaison des méthodes.....	25
8.2	Caractéristiques de l'habitat.....	26
8.3	Structure des peuplements de poissons .....	26
9	Discussion et Conclusions .....	50
9.1	Limites de la notation et de son interprétation.....	50
9.2	Localisation des stations du réseau de surveillance.....	50
10	Références bibliographiques.....	51
11	Annexes.....	52
11.1	Modes d'emploi des macros Excel pour le calcul de l'indice poisson.....	52
11.1.1	mode d'emploi du fichier IRD_Modèle feuille biologie_v9.3.xls.....	52

<a href="#"><u>11.1.2mode d'emploi du fichier IRD_Modèle feuille habitat_v6.xls.....</u></a>	<a href="#"><u>52</u></a>
<a href="#"><u>11.1.3mode d'emploi du fichier IRD_Modèle feuille TABGENE_v3.2.xls.....</u></a>	<a href="#"><u>52</u></a>
<a href="#"><u>11.2Fichiers macros Excel .....</u></a>	<a href="#"><u>52</u></a>
<a href="#"><u>11.3Tableau des données.....</u></a>	<a href="#"><u>52</u></a>
<a href="#"><u>11.4diaporama photos.....</u></a>	<a href="#"><u>52</u></a>

## 1 Introduction

L'utilisation des peuplements de poissons pour mesurer la qualité des cours d'eau est déjà ancienne. En 1999 un ouvrage de synthèse faisait suite aux nombreux travaux entrepris dès les années 1980 (Simon 1999a). C'est en effet en 1981 qu'aux Etats Unis, Karr (1981) publiait la première mention d'un indice de qualité des cours d'eau basé sur les poissons qu'il a appelé l'IBI (Index of Biotic Integrity). Un certain nombre de considérations ont conduit à proposer l'évaluation de la qualité des cours d'eau par l'observation des communautés de poissons. La première était que l'utilisation d'indicateurs chimiques assumait que la dégradation de la qualité était seulement causée par des contaminations chimiques, alors que la fragmentation des habitats, les invasions par des espèces exotiques, les modifications hydrologiques, ou la pêche sont souvent plus impactants pour les poissons que les seules toxines. Du fait que les mesures biologiques sont basées sur des organismes vivants qui s'adaptent à leur environnement, les évaluations biologiques peuvent diagnostiquer des impacts chimiques, physiques et biologiques autant que des effets cumulatifs (Karr 1987). Herricks & Schaeffer (1985)(in Simon 1999b) ont défini 6 critères pour déterminer si un programme de surveillance biologique atteint les objectifs de l'intégrité biologique :

La mesure doit être biologique

La mesure doit être interprétable à différents niveaux trophiques ou a des connexions avec d'autres organismes non directement impliqués dans la surveillance. Les peuplements de poissons présentent des attributs fonctionnels tels que l'omnivorie, l'insectivorie, la carnivorie, qui fournissent une mesure à différents niveaux trophiques,

La mesure doit être sensible aux conditions environnementales surveillées. Les communautés de poissons ont la capacité de répondre à un large panel de conditions locales et de les assimiler,

La sensibilité de la mesure doit être adaptée à la surveillance visée. Les indices biologiques basés sur les poissons ont montré qu'ils étaient sensibles à des changements subtils de l'environnement dans une large gamme de perturbations (Karr et al. 1986),

La mesure doit être reproductible,

La variabilité de la mesure doit être faible.

Comparé à d'autres indices biologiques, l'indice poisson présente un certain nombre d'avantages. Les poissons sont présents dans pratiquement tous les milieux aquatiques, leur taxonomie et leur écologie est généralement mieux connue que celles d'autres assemblages et ils occupent une variété de niveaux trophiques et d'habitat. De plus, les poissons représentent une valeur tant économique qu'esthétique, un aspect qui favorise la prise de conscience sociétale de la nécessité de conserver les écosystèmes aquatiques.

L'Indice d'Intégrité Biotique (IBI) a été formulé pour les rivières du Middle Ouest Américain (Karr 1981). Sa construction apparaît dans le Tableau . Comme on peut le voir la constitution de l'indice suppose une connaissance *a priori* approfondie de la faune en place et de son comportement vis-à-vis des perturbations. Dans la même région il est nécessaire de caler les notes de richesse en fonction des caractéristiques du cours d'eau surveillé et, lorsqu'on se place dans une autre région biogéographique, il faut transformer l'ensemble des métriques pour les adapter à la faune locale. De nombreux travaux font état de l'adaptation de l'IBI dans des zones géographiques différentes (Hughes and Oberdorff 1999). Cette adaptation suppose une connaissance approfondie de la biologie et de l'écologie des poissons. Or dans la plupart des régions tropicales ce n'est pas le cas. C'est pourquoi il est alors nécessaire de rechercher des métriques sans *a priori* tout en respectant les principes de base qui ont conduit à l'utilisation des indices biotiques (Tableau ).

**Tableau . Constitution de l'IBI pour les cours d'eau du Middle Ouest Américain**

Métrique	Not e 5	Not e 3	Note 1
Richesse spécifique			
Nombre total d'espèces	a	a	a
Nombre d'espèces de Percidae	a	a	a
Nombre d'espèces de Centrarchidae	a	a	a
Nombre d'espèces de Catostomidae	a	a	a
Guildes d'habitat			
Nombre d'espèces intolérantes	a	a	a
% d'individus de <i>Lepomis cyanellus</i>	<5	5-20	>20
Guildes trophiques			
% d'individus omnivores	<20	20-	>45
% d'individus Cyprinidae insectivores	>45	45	<20
% d'individus piscivores	>5	20- 45 1-5	<1
Abondance			
Nombre total d'individus	a	a	a
Reproduction et condition			
% d'individus hybrides	0	0-1	>1
% d'individus avec anomalies	0-2	2-5	>5

a : La valeur de référence varie avec la taille du cours d'eau, la région et le bassin  
**Tableau . Principes de constitution d'un indice poisson (Hughes and Oberdorff 1999).**

1. Sélectionner une région relativement homogène. Une région peut être une écorégion, un bassin ou une région faunistique homogène en ce qui concerne un ensemble de caractéristiques environnementales (climat, physiographie, sol, végétation, etc.) et qui abrite une ichtyofaune similaire.
2. Déterminer des conditions de référence, basées sur un ensemble de sites très peu perturbés, ou un gradient de perturbations ou encore des données historiques
3. Échantillonner les poissons de manière standardisée
4. Déterminer des métriques, soit en collectant des informations sur l'écologie des espèces, soit en comparant les sites de référence à des sites perturbés.
5. Calculer les valeurs de chaque métrique
6. Développer des critères de note. Les notes peuvent être continues ou basées sur des classes
7. Calculer les notes pour chaque métrique et les sommer pour obtenir l'indice
8. Évaluer les métriques et la note de l'indice. Relever les différences entre valeurs attendues et observées, comparer les variances pour les échantillons répétés et évaluer la réponse aux stress environnementaux. Modifier ou rejeter les métriques trop variables ou peu sensibles.
9. Interpréter l'indice pour indiquer l'état du milieu comme excellent, bon, passable, mauvais ou très mauvais.

Ce sont ces principes et cette méthodologie qui ont été adoptés pour la confection d'un indice poisson en Guyane dans les années 1998-2000 (Tejerina-Garro et al. 2006). A l'époque les auteurs disposaient d'un nombre réduit de stations et d'échantillons et il s'agissait donc plutôt de définir une méthode d'élaboration d'un indice propre à la Guyane et l'indice proposé était donc très préliminaire.



L'objectif de cette étude est de renforcer la validité de cet indice préliminaire en utilisant une grande quantité de données nouvelles, tant acquises en 2007 et 2008 qu'issues d'une campagne d'échantillonnage en fin de saison sèche 2009 (voir introduction).

## 2 L'échantillonnage

Des travaux antérieurs ont permis la mise au point d'une méthode standardisée d'échantillonnage des poissons (Tejerina-Garro and Mérona 2000). L'échantillonnage des poissons est réalisé à l'aide de filets maillants. On utilise 4 batteries de 5 filets maillants de maille croissante 15, 20, 25, 30 et 35mm entre nœud, de 25m de long et 2 de haut.

Dans le même secteur de rivière de 800m déterminé pour la description de l'habitat (voir paragraphe 2), les filets maillants sont disposés au hasard dans des zones de bordure en évitant les zones de courant. Ils sont posés le soir avant le coucher du soleil (en pratique entre 17h et 18h) et relevés le matin après le lever du jour à partir de 7h. Le type de maille sélectionné ainsi que le nombre de filets ont été déterminés après une analyse des captures de batteries de filets de maille comprises entre 10mm et 70mm (Tejerina-Garro and Mérona 2000). Le choix de n'utiliser que les captures de nuit est issu de l'examen de nombreux échantillons qui a montré que les captures de jour n'apportaient qu'un supplément d'information négligeable (Mérona and Albert 1999).

Sur le terrain les captures individuelles de poissons sont déterminées à l'espèce à partir des ouvrages systématiques sur les poissons de Guyane (Planquette et al. 1996; Keith et al. 2000; Le Bail et al. 2000). Les poissons sont mesurés et pesés individuellement (toutefois si le nombre d'individus de la même espèce dans un filet est élevé, une dizaine prélevé au hasard est pesé et le reste mesuré et pesé en groupe). Les poissons sont ensuite sexés et, si le régime alimentaire de l'espèce n'est pas connu, l'estomac est prélevé pour analyse en laboratoire du contenu. Les données sont saisies immédiatement sur un ordinateur portable en utilisant une table Excel (voir paragraphe sur le logiciel).



Photo . Pose de filets maillant sur la Bagot en octobre 2009



### 3 Les données disponibles

Pour la construction de l'indice nous disposons de 4 ensembles de données :

- 27 échantillons dans 27 stations échantillonnées entre 1998 et 2000 (Figure ).
- 9 d'entre elles étaient considérées comme perturbées :
- . par les activités d'orpaillage : la crique Leblond à l'amont de saut Lucifer (LebLuc), le Petit Inini à saut Batardeau (PinBata) et l'Inini à saut Sonelle (IniSone)
  - . par le barrage de Petit-Saut : trois stations sur le Sinnamary à l'aval du barrage : Kerenroch, Vénus et Saulnier à des distances croissantes du barrage (SinKere, SinVenu, et SinSaul).
  - . par des rejets urbains : le Maroni à l'aval de Maripasoula sur la rive droite (MarMarv).
  - . par des activités agricoles : la Comté à l'aval de Cacao (ComLois).
  - . par des activités industrielles : la Karouabo sous le vent du Centre Spatial Guyanais (KarPon).

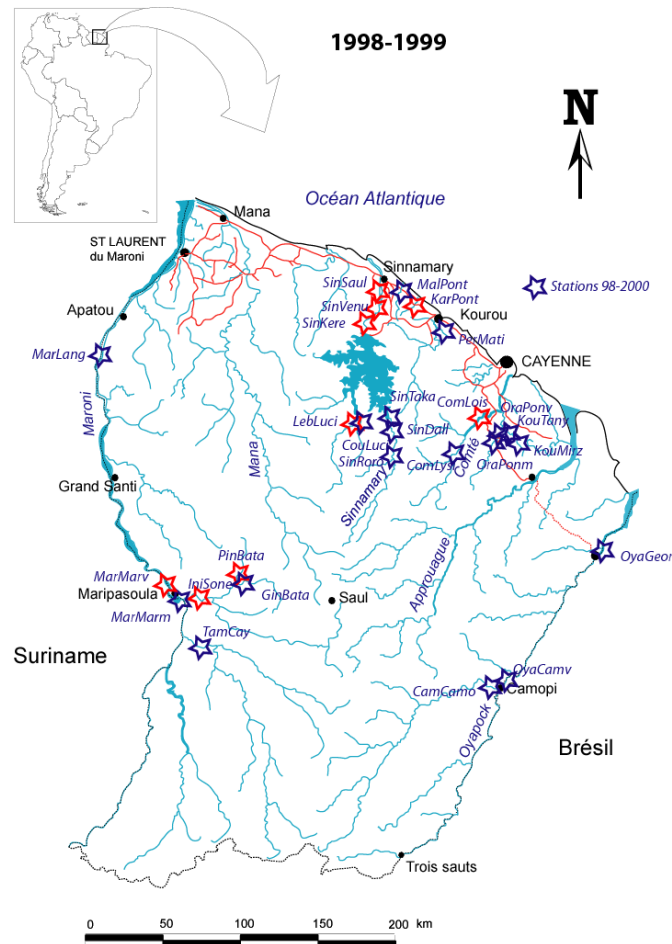


Figure . Localisation des stations échantillonnées en 1998 et 1999. En rouge les stations considérées perturbées.

- 17 échantillons dans 17 stations de référence échantillonnées en 2007 (Figure )

La localisation de ces stations, destinées à constituer le réseau de référence pour la DCE en Guyane, a été déterminée sur carte pour couvrir l'ensemble du territoire et en considérant le type de masse d'eau.

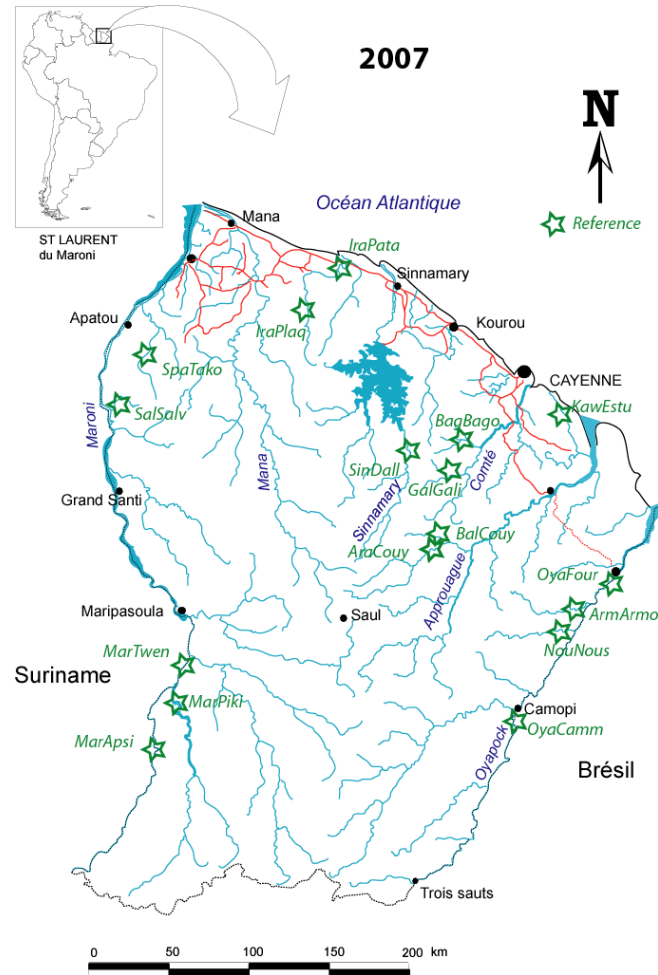


Figure . Localisation des stations de références échantillonnées en 2007.

➤ 42 échantillons dans 20 stations de référence et 22 stations de surveillance en 2008. Le réseau de référence a été légèrement modifié en fonction des résultats obtenus en 2007 (Figure ).

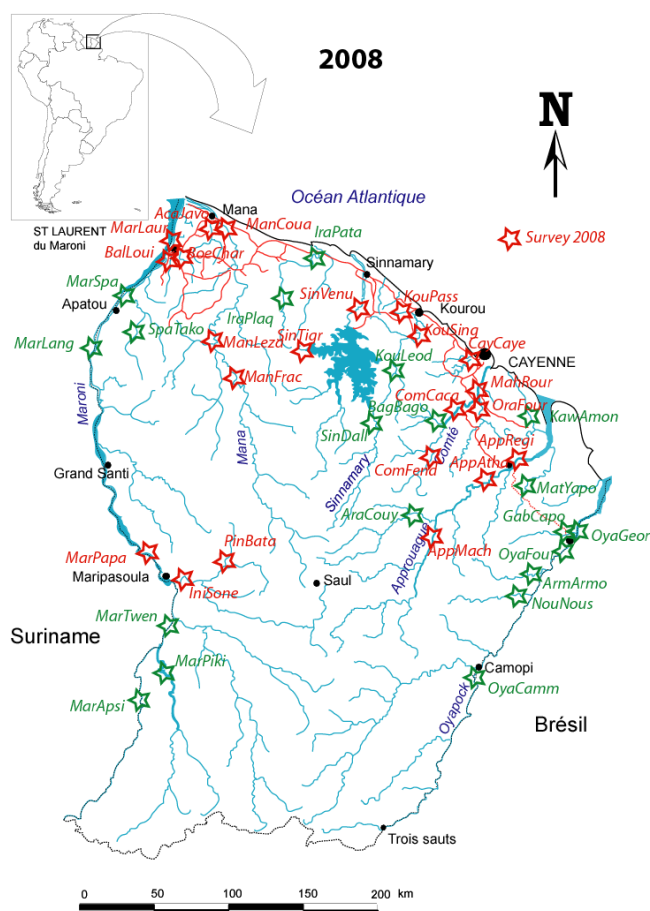


Figure . Localisation des stations échantillonnées en 2008.

44 échantillons dans 19 stations de référence et 25 stations de surveillance en 2009 auxquelles il faut ajouter 10 échantillons dans les petites masses d'eau dont 5 références et 5 surveillances (Figure ).

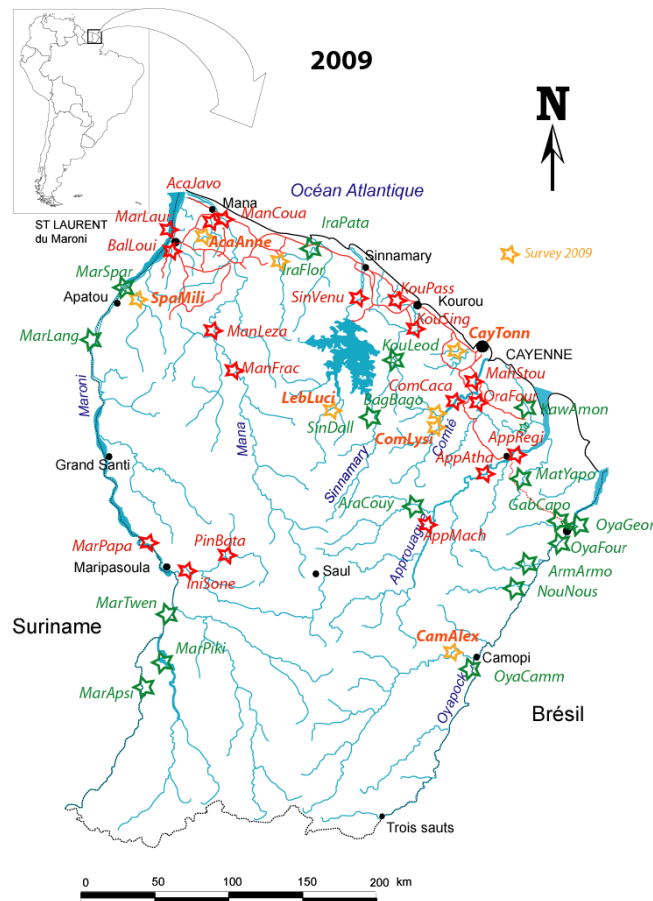


Figure . Localisation des stations échantillonnées en 2009. Les étoiles orange indiquent les stations dont la localisation a changé par rapport à celle de 2008.

Tous les échantillons ont été réalisés entre fin août et début décembre, période qui correspond à la fin de la saison d'étiage.

## 4 Analyses exploratoires

La première étape lorsqu'il faut traiter un grand nombre de données complexes consiste à procéder à des analyses multivariées exploratoires afin de détecter d'éventuels patrons d'organisation de ces données.

Afin de visualiser la dispersion des échantillons on procède à des analyses des correspondances (Detrended Correspondance Analysis : DCA). Ces analyses sont effectuées sur la structure de peuplement par famille. En effet des analyses sur la composition spécifique des échantillons mettent en évidence principalement les différences faunistiques entre les différents bassins de Guyane, différences qui sont gommées par l'utilisation des familles puisqu' on s'adresse ici à la même zone biogéographique.

### 4.1 Analyse du tableau des échantillons par famille

#### 4.1.1 Une première analyse est passée sur l'ensemble des échantillons.

La variabilité est élevée. Les 4 premiers facteurs de l'analyse extraient moins que 50% de la variabilité totale, les deux premiers en extrayant la plus grande part avec 40,6% (30% et 10,6%) (Figure ).

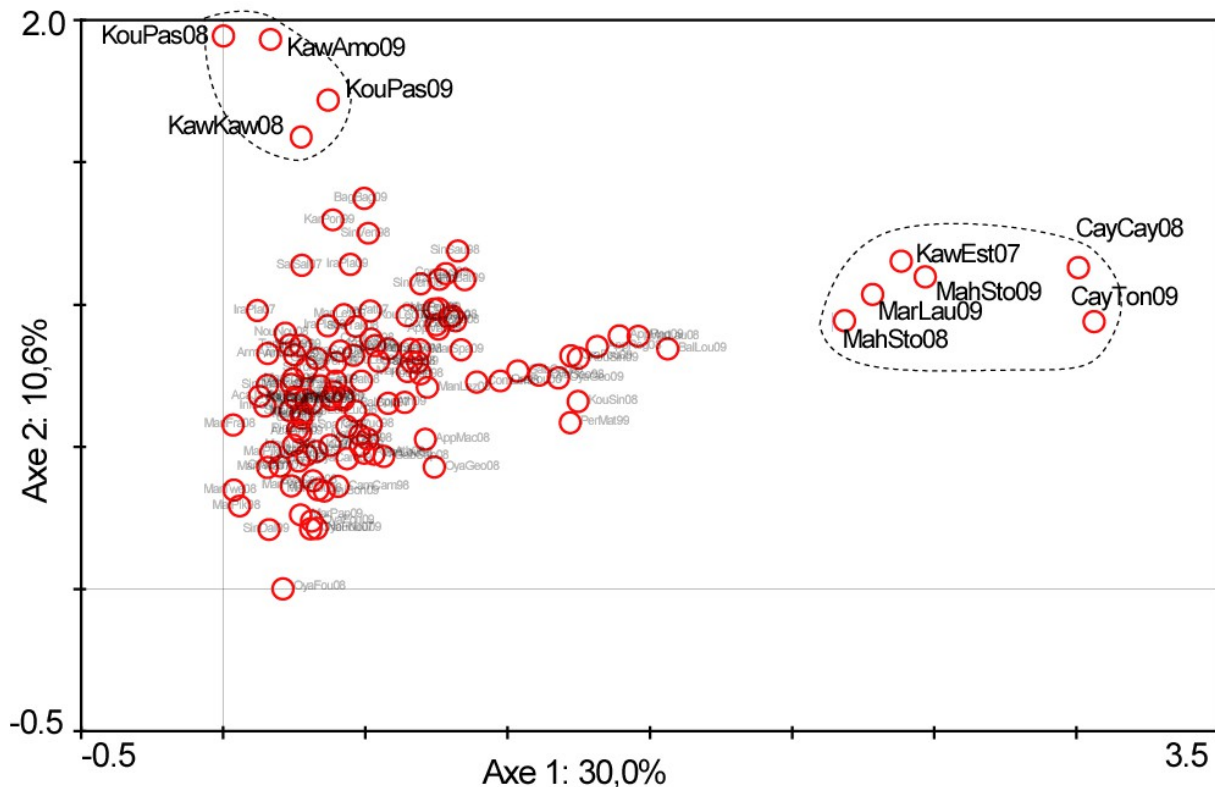


Figure . Dispersion des échantillons dans le plan 1-2 de l'analyse des correspondances sur l'ensemble des échantillons par famille.

L'axe 1 isole très nettement 6 échantillons tous localisés proches de l'embouchure des fleuves. L'axe 2 isole des échantillons prélevés sur la crique Passoura et sur la rivière de Kaw. L'examen de la dispersion correspondante des familles montre que ces échantillons sont étroitement liés à la présence ou l'abondance particulière d'un nombre limité de familles (Figure ).

Les échantillons pratiqués dans les stations proches de l'estuaire sont associés à des familles marines ou estuariennes, telles que Ariidae, Anablepidae, Carangidae, Mugilidae et Aspredinidae. Les échantillons pratiqués sur la Passoura et sur la rivière de Kaw sont associés aux familles Callichthyidae, Cichlidae, Erythrinidae et Gymnotiformes. L'examen des données de terrain confirme bien que les peuplements de poissons de la rivière de Kaw sont dominés par deux espèces de Callichthyidae : *Hoplosternum littorale* et *Megalechis thoracata* et une espèce d'Erythrinidae : *Hoplias malabaricus*. En 2009 les deux premières représentaient à elles seules près de 80% des captures.

Ces importantes originalités dans les peuplements de poissons sont associées à des caractéristiques environnementales bien différentes de celles rencontrées dans les autres stations. Dans les stations proches de l'estuaire le milieu aquatique est de très grande taille et l'influence de la marée est de grande ampleur, conduisant à des variations quotidiennes de salinité pendant que les importantes fluctuations de hauteur d'eau modifient constamment l'écotone des berges. La rivière de Kaw, quant à elle serpente au sein d'un grand marais où la végétation est presque exclusivement constituée de plantes aquatiques ou semi-aquatiques. Parmi ces stations abritant un peuplement de poisson atypique, seule la crique Passoura ne présente pas d'originalité visible de l'habitat.

Les considérations ci-dessus nous ont conduits à éliminer les échantillons provenant de ces stations pour l'élaboration de l'indice Poisson Guyane.

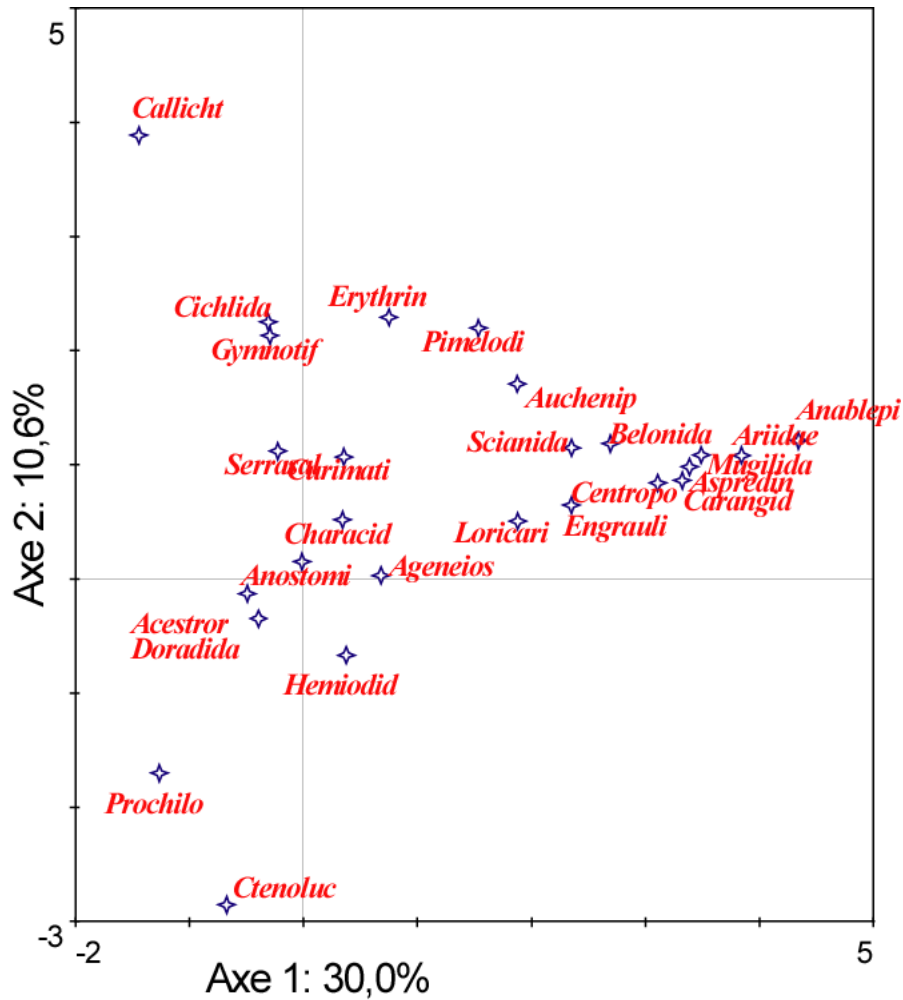


Figure . Dispersion des familles dans le plan 1-2 de l'analyse des correspondances sur l'ensemble des échantillons par famille.

#### 4.1.2 Analyse du tableau réduit

Au sein des échantillons restant après exclusion de ceux visiblement hors des limites du projet, est-il possible de détecter des différences entre les deux écorégions identifiées : le bouclier et la plaine côtière ?

L'analyse des correspondances passée sur ce tableau réduit révèle une probable différence dans la composition par famille entre bouclier et plaine côtière (Erreur : source de la référence non trouvée). Un test statistique comparant les coordonnées de ces deux ensembles sur le premier axe de l'analyse révèle en effet une différence statistique (ddl = 115 ;  $p < 0.0001$ ). Ainsi il sera nécessaire de tenir compte de ces différences, soit en traitant séparément ces deux ensembles, soit en incluant une ou plusieurs variables d'habitat liées à la position de la station.

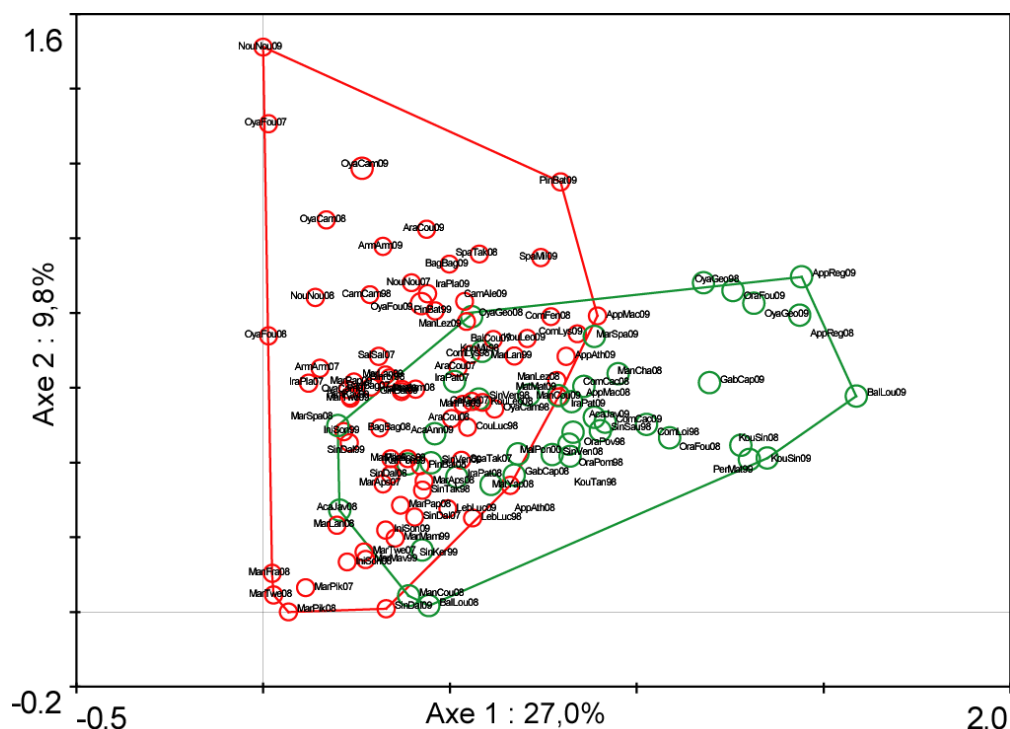
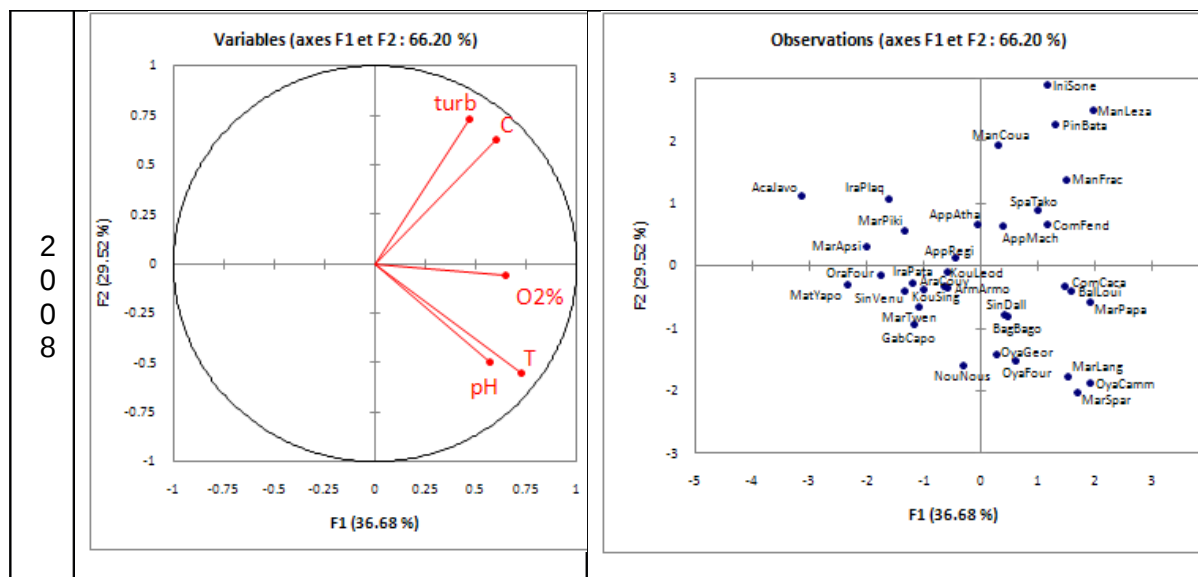


Figure . Dispersion des échantillons dans le plan 1-2 de l'analyse des correspondances sur le tableau réduit des échantillons. En vert les échantillons de la plaine côtière et en rouge ceux du bouclier.

## 4.2 Analyse des paramètres chimiques

Dans le but de vérifier dans quelle mesure les paramètres chimiques des échantillons mettent en évidence un gradient de perturbation, deux types d'analyses multivariées ont été pratiquées. Dans un premier temps une analyse en composantes principales sur les 5 paramètres mesurés in situ est menée (Erreur : source de la référence non trouvée):





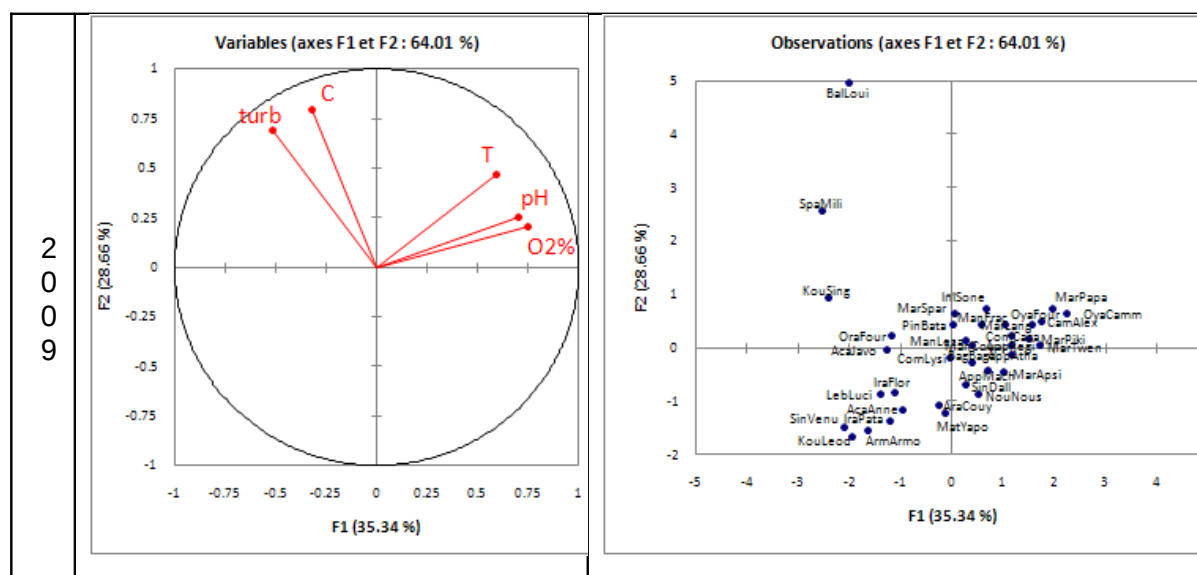


Figure . Résultats des analyses en Composantes Principales sur les échantillons en utilisant seulement les 5 paramètres mesurés in situ.

Les cercles de corrélations des variables obtenus pour les deux années d'observation 2008 et 2009 mettent en évidence des schémas proches avec le pourcentage de saturation en oxygène, la température et le pH plutôt liés à l'axe 1 et la conductivité et la turbidité liés à l'axe 2.

Un regroupement des échantillons par la procédure k-means permet de classer les échantillons en 5 groupes (Erreur : source de la référence non trouvée). Le regroupement des échantillons en fonction des perturbations connues n'est qu'approximatif tant en 2008 qu'en 2009. Ainsi par exemple en 2008 une station de référence (SpaTako) se retrouve réunie avec des stations vraisemblablement perturbées par des activités d'orpaillage. Néanmoins on observe certaines similitudes dans les groupes pour les deux années d'observations.

Tableau . Résultat de la procédure k-means sur les coordonnées des échantillons sur les axes 1 et 2 de l'ACP 5 paramètres pour le regroupement des échantillons en classes.

	Classe	1	2	3	4	5
2008	Variance intra-classe	0.773	0.351	1.060	0.284	0.685
Var intra =		AcaJava	AppAtha	AppMach	BagBago	BalLoui
0.633		IraPlaq	AppRegi	ComFend	NouNous	ComCaca
Var. Inter =		MarApsi	AraCouy	IniSone	OyaFour	MarLang
2.774		MarPiki	ArmArmo	ManCoua	OyaGeor	MarPapa
VarTotale =		MatYapo	GabCapo	ManFrac	SinDall	MarSpar
3,407		OraFour	IraPata	ManLeza		OyaCamm
			KouLeod	PinBata		
			KouSing	SpaTako		
			MarTwen			
			SinVenu			
	Variance intra-classe	0.601	0.233	0.328	4.165	0.143
2009		AcaAnne	AppAtha	AppMach	BalLoui	IniSone
Var intra =		AcaJava	AppRegi	AraCouy	KouSing	ManCoua
0.589		ArmArmo	CamAlex	BagBago	SpaMili	ManFrac
Var. Inter =		IraFlor	ComCaca	ComLysi		ManLeza
2.703		IraPata	MarLang	MarApsi		MarSpar
VarTotale =		KouLeod	MarPapa	MatYapo		PinBata
3,292		LebLuci	MarPiki	NouNous		
		OraFour	MarTwen	SinDall		
		SinVenu	OyaCamm			
			OyaFour			

Une deuxième analyse a été effectuée en incluant 13 des paramètres les plus pertinents pour décrire la qualité des eaux dans les cours d'eau. Ce sont, en plus des 5 déjà analysés : Les nitrites, les nitrates et les orthophosphates, les pigments totaux et le pourcentage de Chlorophylle-a, la demande biochimique en oxygène et la demande chimique en oxygène et les silicates.

Le cercle des corrélations entre variables fait apparaître une image assez différente entre 2008 et 2009 (Erreur : source de la référence non trouvée).

La conséquence est que le regroupement des échantillons en classes par la procédure k-means est lui aussi très différent entre 2008 et 2009 (Erreur : source de la référence non trouvée). Ainsi le premier groupe de 2009 inclut un grand nombre de stations en mélangeant des stations perturbées (ManLeza, IniSone, PinBata...) et des stations de référence (MarPiki, MarTwen par exemple).

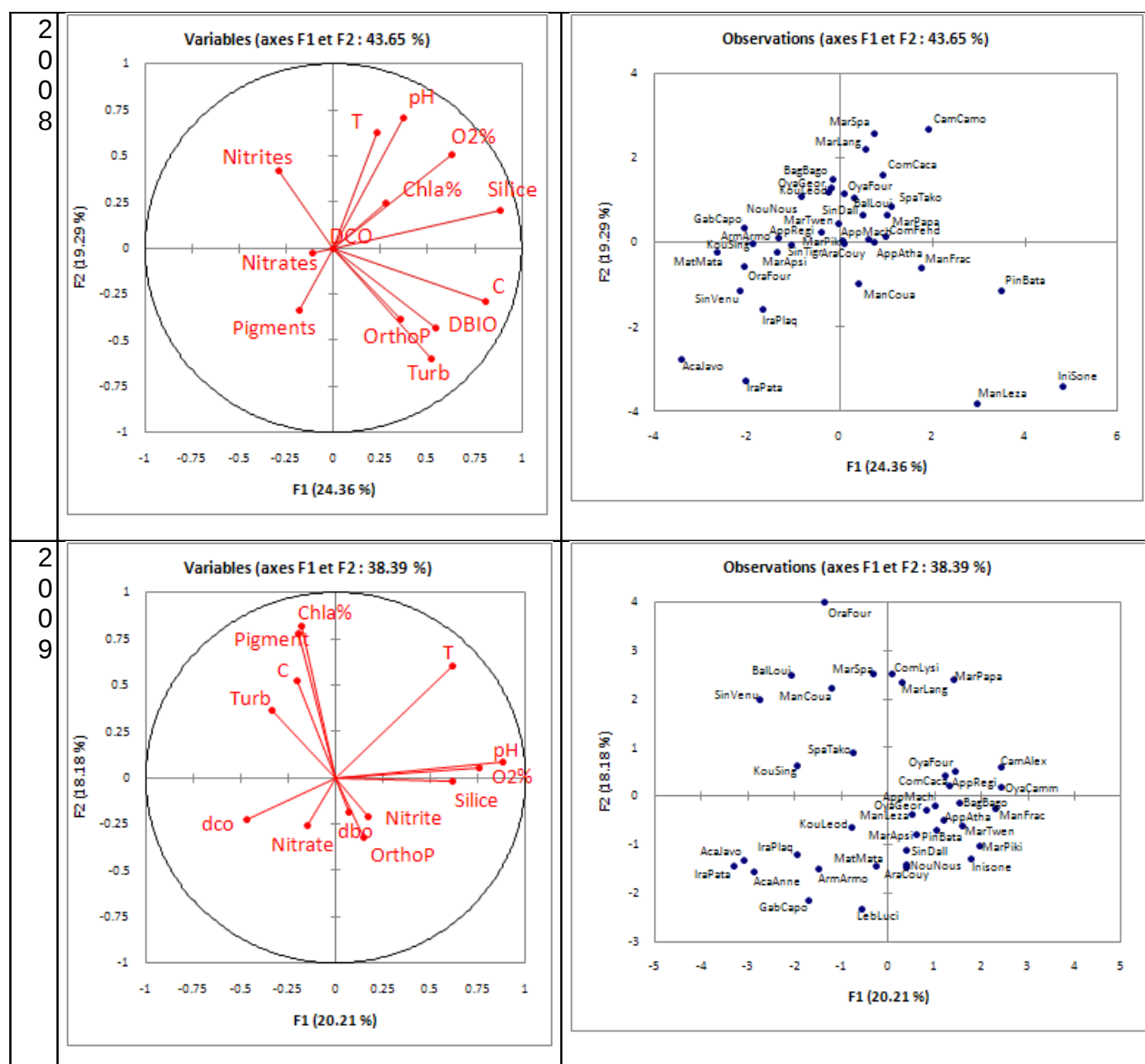


Figure . Résultats des analyses en Composantes Principales sur les échantillons en utilisant les 13 paramètres chimiques les plus significatifs.

**Tableau . Résultat de la procédure k-means sur les coordonnées des échantillons sur les axes 1 et 2 de l'ACP 13 paramètres pour le regroupement des échantillons en classes.**

Classe	1	2	3	4	5
Variance intra-classe	0.853	4.773	1.720	0.428	1.157
2008	ManFrac	ManLeza	IraFlor	MarApsi	MarPiki
Var. Intra = 1,247	MarPapa	IniSone	IraPata	MatMata	MarTwen
Var inter= 5,29	AraCouy	PinBata	SinVenu	KouSing	KouLeod
Var totale = 6,542	AppMach			SinTigr	OyaCamm
	AppAtha			OraFour	NouNous
	AppRegi			ArmArmo	OyaFour
	ComFend			GabCapo	OyaGeor
					ComCaca
					SinDall
Variance intra-classe	0.636	1.301	0.710	0.608	1.499
2009	ManFrac	ManCoua	AcaAnne	MarApsi	MarPapa
Var. Intra = 0,827	ManLeza	KouSing	AcaJavo	AraCouy	OraFour
Var inter = 4,298	MarPiki	Balloui	IraPlaq	MatMata	ComLysi
Var totale = 5,126	MarTwen	SpaTako	IraPata	KouLeod	MarLang
	Inisone	SinVenu	ArmArmo	LebLuci	MarSpa
	PinBata		GabCapo	NouNous	
	AppMach			SinDall	
	AppAtha				
	AppRegi				
	OyaCamm				
	CamAlex				
	OyaFour				
	OyaGeor				
	BagBago				
	ComCaca				

Cette rapide analyse exploratoire de la chimie met en évidence la difficulté d'une analyse approfondie des paramètres chimiques de l'eau. De nombreuses difficultés de conservation des échantillons ont été rencontrées en 2009 et les résultats sont probablement à considérer avec la plus grande précaution.

Dans la suite des analyses nous n'avons donc intégré que les 5 paramètres de base enregistrés sur le terrain.

### 4.3 Les relations entre habitat et peuplement

La question qui se pose lorsque l'on veut utiliser les poissons pour détecter des modifications dans l'environnement rivière est de savoir si les peuplements sont déterminés, au moins partiellement, par les caractéristiques de l'habitat.

Afin de tester cette hypothèse des analyses canoniques des correspondances (CCA) sont réalisées. Ces analyses multivariées calculent la corrélation entre une matrice biologique et une matrice d'habitat pour évaluer dans quelle mesure les paramètres d'habitat expliquent la composition et la structure des peuplements de poissons.

La corrélation entre la distribution des familles et les caractéristiques environnementales est hautement significative tant sur le premier axe de l'analyse ( $p=0.002$ ) qu'en considérant tous les axes ( $p=0.002$ ). La corrélation entre famille et environnement est élevée sur le premier axe ( ).

**Tableau . Résultat de l'analyse canonique des correspondances sur les tableaux biologie et habitat.**

Axes	1	2	3	4	Inertie totale
Eigenvalues	0.305	0.187	0.081	0.061	1.803
Correlations Famille-environnement:	0.857	0.791	0.708	0.702	
Pourcentage de variance cumulée des données biologiques	16.9	27.3	31.8	35.1	
Pourcentage de variance cumulée de la relation famille-environnement	36.4	58.6	68.2	75.4	

Les variables intervenant dans la corrélation sont sélectionnées pas à pas (Tableau ). On observe que la végétation est un paramètre important de la structure des peuplements de poissons avec le % de végétation nulle (absence de végétation arborée rivulaire) et la présence de macrophytes associés à la plupart des stations aval (Figure ). L'influence de la marée ainsi que la distance à l'embouchure constituent également des variables intervenant de manière significative. Elles sont naturellement liée aux stations les plus en aval de la plaine côtière. Enfin, le substrat joue lui aussi un rôle non négligeable dans la relation peuplement-environnement.

**Tableau . Probabilités pour l'inclusion des variables environnementales pour expliquer la distribution des échantillons. (Seules les variables significativement corrélées sont indiquées).**

Variable	Probabilité
Végétation nulle	0.002
Macrophytes	0.002
Couverture	0.004
Marée	0.002
Température	0.002
Oxygène	0.006
Substrat gravier	0.004
Distance à l'embouchure	0.004
Courant	0.008
Diversité de substrat	0.038
Végétation moyenne	0.034
Végétation basse	0.022
Largeur	0.050
Profondeur	0.010

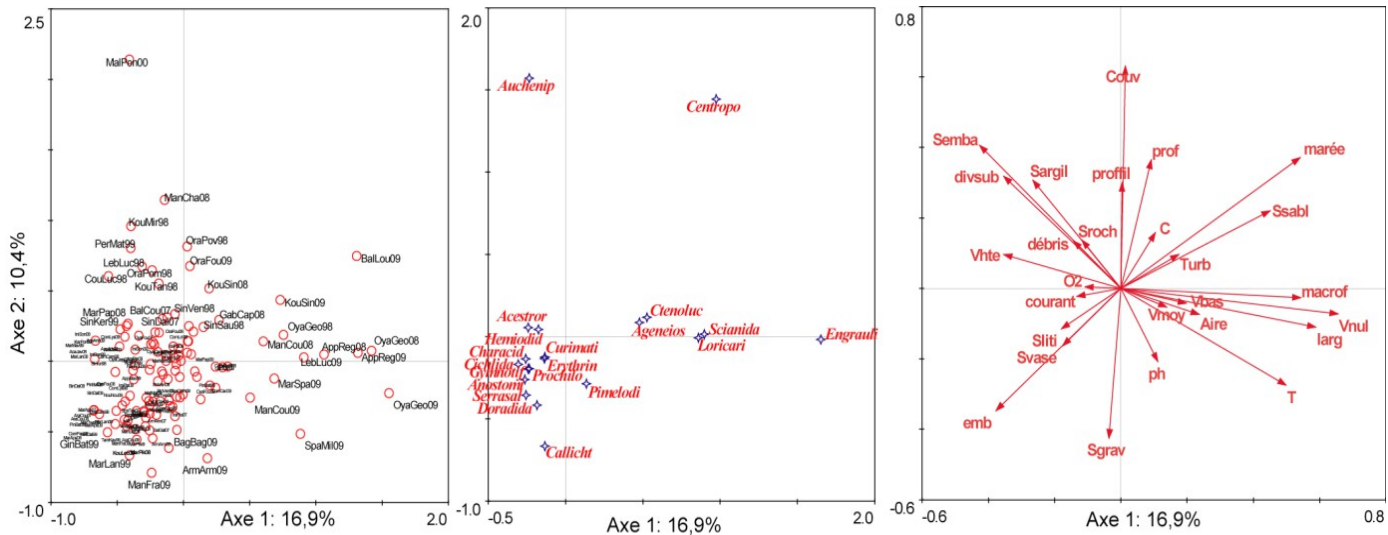


Figure .Dispersion des échantillons, des familles et des variables environnementales dans le plan 1-2 de l'analyse canonique des correspondances passée sur le tableau réduit des échantillons.

Ces résultats montrent que la construction d'un indice multimétrique basé sur les poissons est pertinente et possible.

## 5 Les descripteurs des peuplements

Afin de mettre en évidence des métriques sensibles aux perturbations la plupart des descripteurs possibles des peuplements de poissons sont définis et calculés.  
Il y a trois types de descripteurs :

### 5.1 Des descripteurs globaux

#### 5.1.1 La capture par unité d'effort

... approximativement proportionnelle à la densité de poissons dans le milieu. L'unité d'effort étant une batterie de 20 filets de 100m<sup>2</sup> de surface. La cpue est donc la somme des captures de chaque filet ramenées à 100m<sup>2</sup>. Dans la plupart des cas la cpue est donc le double du nombre de poissons effectivement capturés car les filets ont tous une surface de 50 m<sup>2</sup>. Toutefois, lorsque la profondeur du milieu est faible, certains filets peuvent présenter une surface pêchante inférieure, un biais qui sera corrigé par le calcul de cpue.

#### 5.1.2 La diversité de l'échantillon

... mesurée par la formule Simpson (Magurran 1996) :

$$IS = 1/\sum p_i^2$$

où  $p_i$  sont les fréquences relatives de chaque espèce

#### 5.1.3 L'équitabilité

... qui mesure la régularité de la distribution des espèces dans l'échantillon :

$$ES = (IS - 1)/(R - 1)$$

#### 5.1.4 Le nombre d'espèces présentes dans l'échantillon

#### 5.1.5 La richesse théorique

... estimée à partir du nombre d'espèces dans l'échantillon. La richesse théorique d'un peuplement est fonction :

- de la taille du bassin versant qui abrite la station puisque l'on sait que le nombre d'espèces potentiellement présentes est une fonction de la taille de ce bassin,
- du nombre de spécimens capturés puisque la probabilité de capturer une espèce rare augmente quand la taille de l'échantillon augmente.

Ainsi une régression linéaire multiple est calculée entre le nombre d'espèces de l'échantillon (variable dépendante) et l'aire du bassin versant et le nombre de spécimens de l'échantillon (variables indépendantes) (Erreur : source de la référence non trouvée). Sur 55 échantillons répartis dans tous les bassins de Guyane, la relation trouvée est :

$$R_{th} = -39,212 + 6,282 * \log Aire + 17,463 * \log Nb$$

avec  $R^2 = 0,575$  et  $p < 0,0001$

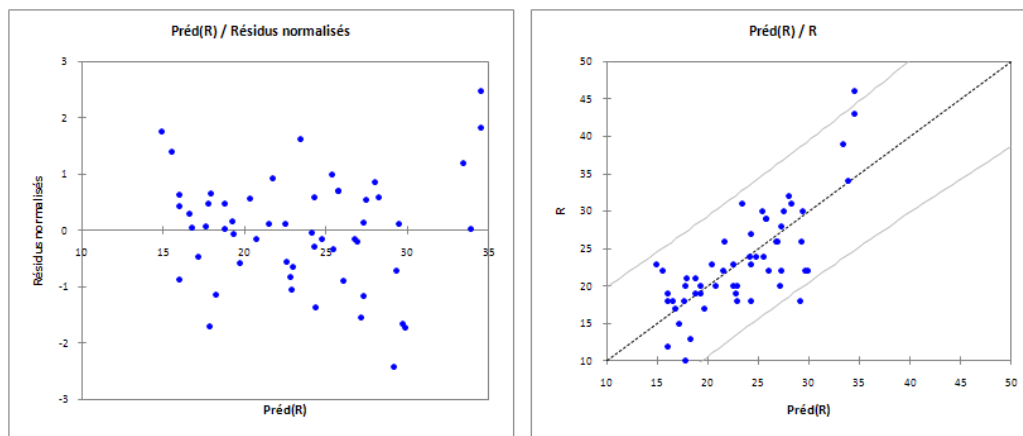


Figure . Dispersion des résidus de la régression multiple entre le nombre d'espèces de l'échantillon (variable dépendante) et l'aire du bassin versant et le nombre de spécimens récoltés (variables indépendantes).

## 5.2 Des descripteurs taxonomiques

Les subdivisions taxonomiques reflètent des affinités morphologiques supposées être reliées à des comportements et donc à des rapports aux milieux particuliers:

L'abondance relative et la richesse spécifique relative des familles ou ordres suivants :

Anostomidae, Auchenipteridae, Autres Siluriformes, Characidae, Cichlidae, Curimatidae, Gymnotiformes.

Les Anostomidae sont des poissons robustes, au corps fusiforme et au comportement en général pélagique. En Guyane. La plupart des espèces (appelées « carpes en Guyane ») sont de taille moyenne à grande, mais quelques une sont de petite taille.

Les Auchenipteridae sont des Siluriformes au comportement plutôt pélagique à la différence de presque tous les autres siluriformes qui sont benthiques.

La famille des Characidae est dominante en Guyane comme dans tout le bassin amazonien. Elle inclut un grand nombre d'espèces de taille, forme et comportement très variés.

Les Cichlidae incluent également des espèces de mœurs très différentes mais la plupart présente une stratégie de reproduction avec une faible fécondité et des comportements de soins parentaux.

Les Curimatidae sont des poissons en général pélagiques avec la particularité de ne pas posséder de dents.



Enfin les Gymnotiformes sont des poissons au corps très allongé dont la particularité est la capacité de produire des signaux électriques.

### 5.3 Des descripteurs trophiques

Ce sont l'abondance relative et la richesse spécifique relative des groupes trophiques suivants : Détritivores, Herbivores, Ichtyophages, Invertivores d'invertébrés aquatiques, Invertivores d'invertébrés terrestres, Omnivores.

Ces régimes ont été déterminés à partir de la somme d'observations effectuées sur les cours d'eau de Guyane depuis les années 1990. On attribue le régime détritivore aux espèces qui se nourrissent de particules très fines, que ce soit le dépôt benthique ou la pellicule d'algues et/ou de bactéries qui se développe sur les substrats, pratiquement de tout le matériel qu'il est impossible de déterminer à l'œil nu. L'attribution d'un régime à une espèce est basée sur le pourcentage moyen d'un type d'aliment dans l'estomac supérieur à 70% du contenu stomacal total. Dans le cas contraire (i.e. moins de 70% d'un type d'aliment), les espèces sont considérées comme omnivores.

## 6 Méthode de construction de l'indice

La construction de l'indice poisson est réalisée en une succession d'étapes.

### 6.1 Préparation des données

Les données d'habitat sont transformées en variables (Tableau ).

**Tableau . Liste des variables de description de l'habitat aquatique. a : évaluées à l'aide de planimètre ou de curvimètre à partir de la carte IGN au 500.000<sup>ème</sup>.**

Type	Variable	Unité	Code
Physico-chimique	Oxygène	mg.l <sup>-1</sup>	O2
Physico-chimique	Conductivité	µS.cm <sup>-1</sup>	C
Physico-chimique	Température	° Celsius	T
Physico-chimique	PH	Unité pH	pH
Physico-chimique	Transparence	cm	Trans
Physico-chimique	Turbidité	NTU	Turb
Position	Aire spécifique	km <sup>2</sup>	Aire
Position	distance embouchure	km	Emb
Position	largeur moyenne	m	Larg
Morphologie, environnement	courant moyen	m.s <sup>-1</sup>	Cour
Morphologie, environnement	profondeur moyenne	cm	Prof
Morphologie, environnement	végétation nulle	%	Vegnul
Morphologie, environnement	végétation basse	%	Vegbas
Morphologie, environnement	végétation moyenne	%	Vegmoy
Morphologie, environnement	végétation haute	%	Veghte
Morphologie, environnement	substrat roche	%	Subroc
Morphologie, environnement	substrat sable	%	Subsab
Morphologie, environnement	substrat vase	%	Subvas
Morphologie, environnement	substrat argile	%	Subarg
Morphologie, environnement	substrat gravier	%	Subgra
Morphologie, environnement	substrat litière	%	Sublit
Morphologie, environnement	substrat embâcle	%	Subemb
Morphologie, environnement	débris	%	Debri
Morphologie, environnement	macrophyte	%	Mphyt
Position	Marée	0-1	Marée
Morphologie, environnement	couverture moyenne	m	Couv
Morphologie, environnement	profondeur filets	cm	Profil

Morphologie, environnement	diversité substrat	Indice de Simpson	Divsub
----------------------------	--------------------	-------------------	--------

Les données de biologie sont transformées en descripteurs (Tableau ).

**Tableau . Liste des descripteurs des peuplements de poissons**

Type	Descripteur	Unité	Code
Global	Capture par unité d'effort	Nb	CPUE
Global	Diversité	Indice de Simpson	IS
Global	Equitabilité	Indice	E
Global	Nombre d'espèces	Nb	N
Global	Richesse théorique	Nb	Rth
Taxonomiqu e	Nb. d'Anostomidae	%	ANOS
Taxonomiqu e	Nb. d'auchenipteridae	%	AUCH
Taxonomiqu e	Nb. de Characidae	%	CHAR
Taxonomiqu e	Nb. de Cichlidae	%	CICH
Taxonomiqu e	Nb. de Curimatidae	%	CURI
Taxonomiqu e	Nb. de Gymnotidae	%	GYMN
Taxonomiqu e	Nb. de Siluriformes benthiques	%	SILU
Taxonomiqu e	Nb. d'espèces d'Anostomidae	%	RANOS
Taxonomiqu e	Nb. d'espèces d'Auchenipteridae	%	RAUCH
Taxonomiqu e	Nb. d'espèces de Characidae	%	RCHAR
Taxonomiqu e	Nb. d'espèces de Cichlidae	%	RCICH
Taxonomiqu e	Nb. d'espèces de Curimatidae	%	RCURI
Taxonomiqu e	Nb. d'espèces de Gymnotidae	%	RGYMN
Taxonomiqu e	Nb. d'espèces de Siluriformes benthiques	%	RSILU
Trophique	Nb. de détritivores	%	DETR
Trophique	Nb. de piscivores	%	PISC
Trophique	Nb. d'invertivores aquatiques	%	INVA
Trophique	Nb. d'invertivores terrestres	%	INVT
Trophique	Nb. d'omnivores	%	OMNI
Trophique	Nb. d'herbivores	%	HERB
Trophique	Nb. d'espèces de détritivores	%	RDET
Trophique	Nb. d'espèces de piscivores	%	RPISC
Trophique	Nb. d'espèces d'invertivores aquatiques	%	RINVA
Trophique	Nb. d'espèces d'invertivores terrestres	%	RINVT
Trophique	Nb. d'espèces d'omnivores	%	ROMNI
Trophique	Nb ; d'espèces d'herbivores	%	RHERB

## 6.2 Calcul des relations de référence habitat/peuplement

Dans un premier temps les stations retenues pour établir les relations avec l'habitat dans des conditions naturelles sont choisies en considérant

- 1) l'absence d'intervention humaine à l'amont,
- 2) une couverture large des différents bassins de Guyane et
- 3) la prise en compte d'une gamme de milieux la plus large possible dans les limites de la définition de « grands cours d'eau ».

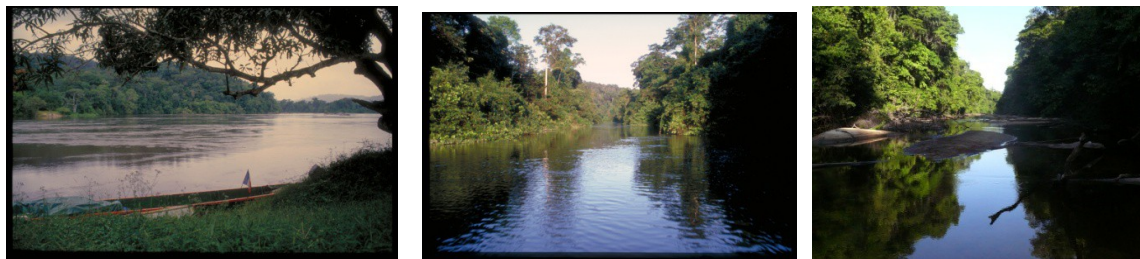
Afin de contourner le biais statistique lié à la non indépendance d'échantillons prélevés dans la même station à des dates différentes, on calcule d'abord la moyenne des descripteurs des peuplements et des variables d'habitat pour les échantillons provenant de la même station. Cette procédure présente de plus l'avantage de « gommer » une partie de la variabilité naturelle toujours importante lorsque l'on travaille sur les poissons.

Nous identifions ainsi 29 stations de référence (Erreur : source de la référence non trouvée). Parmi celles-ci seules 5 sont localisées dans la plaine côtière, un nombre tout à fait insuffisant pour établir des relations statistiques entre l'habitat et les peuplements de poissons. Ainsi, afin de tenir compte des différences faunistiques entre plaine côtière et bouclier, la variable « marée » sera introduite dans les variables d'habitat explicatives de la variabilité des descripteurs des peuplements.

**Tableau . Liste des stations de référence utilisées pour le calcul des relations peuplement/habitat. PC = Plaine Côtière ; B = Bouclier**

Bassin	Station	Code station	Nb d'échantillons	Localisation
Oyapock	Crique Gabaret	GabCapo	2008/09	PC
Oyapock	Oyapock à saut Fourmis	OyaFour	2007/08/09	B
Oyapock	Crique Armontabo	ArmArmo	2007/08/09	B
Oyapock	Crique Noussiri	NouNous	2007/08/09	B
Oyapock	Oyapock à Camopi amont	OyaCamm	2007/08/09	B
Oyapock	Camopi à Camopi	CamCamo	1998	B
Approuague	Mataroni à Yapoura	MatYapo	2008/09	PC
Approuague	Arataye à saut Couy	AraCouy	2007/08/09	B
Approuague	Balenfois à saut Couy	BalCouy	2007	B
Mahury	Crique Bagot	BagBago	2007/08/09	B
Mahury	Kounana à Mirza	KouMirz	1998	PC
Mahury	Kounana à Tany Kelly	KouTany	1998	PC
Sinnamary	Courcibo à saut Lucifer	CouLuci	1998	B
Sinnamary	Sinnamary à saut Dalles	SinDall	99/07/08/09	B
Sinnamary	Sinnamary à saut 2 Roros	SinRoro	1998	B
Sinnamary	Sinnamary à saut TakariTanté	SinTaka	1998	B
Maroni	Grand Inini à Batardeau	GinBata	1999	B
Maroni	Maroni à Apsik Icholi	MarApsi	2007/08/09	B
Maroni	Maroni à Langa Tabiki	MarLang	2008/09	B
Maroni	Marouini à Pikin Tabiki	MarPiki	2007/08/09	B
Maroni	Maroni à Sparouine	MarSpar	2008/09	B
Maroni	Maroni à Twenké	MarTwen	2007/08/09	B
Maroni	Crique Salva	SalSalv	2007	B
Maroni	Sparouine à Takouba	SpaTako	2007/08	B
Maroni	Tampok à Cayodé	TamKayo	1999	B
Iracoubo	Iracoubo à Roche Florian	IraFlor	2009	B
Iracoubo	Iracoubo à Patagai	IraPata	2007/08/09	PC
Iracoubo	Iracoubo à Plaque Roche	IraPlaq	2007/08	B
Kourou	Kourou à saut Leodate	KouLeod	2008/09	B

Ces stations présentent une large gamme d'habitats, depuis de très grands cours d'eau comme le Maroni, jusqu'à de petits affluents (Erreur : source de la référence non trouvée)



**Photo . Illustration de la variété d'habitats dans les stations de référence. De gauche à droite: Maroni à Langa Tabiki, Sinnamary à Saut Dalles et crique Bagot.**

Des transformations sont opérées sur les descripteurs de ces échantillons de référence afin d'approcher la distribution normale, puis des régressions multiples pas à pas vers l'avant sont calculées entre chacun des descripteurs et toutes les variables d'habitat (Erreur : source de la référence non trouvée).

**Tableau . Résultats des régressions multiples pas à pas entre les descripteurs des peuplements et les variables d'habitat.**

Descripteur	Transformation	relation	R <sup>2</sup>
CPUE	Double log	Veghte (+), subroc (-), subgra(-), subvas(-), mphyt(-)	0,62
IS	Log	C(+), T(+), vegbas(+), subvas(+), subemb(+), couv(-)	0,59
E	Puissance0.6	T(+), veghte(-), subgra(+), subvas(+), subemb(+), couv(-)	0,57
N		Emb(+), vegbas(+), subvas(-)	0,90
Rth		C(+), pH(+), vegnul(+), subgra-vas-lit-emb(+), couv(-)	0,84
ANOS	Puissance0.3	O2(-), t(-), turb(-), Aire(+), vegmoy(-), subgra-sab-arg(-), subvas(+), depr(-), mphyt(+)	0,81
AUCH	Puissance0.2	Larg(-), prof(+), vegbas(-), subgra(-), couv(+)	0,65
CHAR		Cour(-), subvas(-),	0,28
CICH	Codé 0/1/2/3/4	O2(-), prof (-), veghte(-)	0,52
CURI	Codé 0/1/2/3/4/5	Cour(+), subroc(-), marée(-)	0,21
GYMN	Codé 0/1/2/3/4	O2(-), pH(+), prof(-), Vegnul(-), vegbas(+), subgra(+), subsab(-), marée(+)	0,25
SILU	Puissance0.3	Vegnul(-), subroc-vas-emb(+), depr(+)	0,69
RANOS	Puissance0.7	Larg(+), prof(-) vegmoy(-), subsab(+)	0,50
RAUCH	Racine	O2(-), pH(-), vegbas(-), subroc(+), marée(+)	0,60
RCHAR		Cour(+), vegmoy(-), subsab(+), subemb(-)	0,46
RCICH	Codé 0/1/2/3/4	T(+), aire(-), vegnul(-), subroc(-), sublit(+)	0,52
RCURI	Codé 0/1/2/3/4	T(+), pH(-), prof(+), subgra(+), couv(-)	0,21
RGYMN	Codé 0/1/2/3/4	Larg(+), subvas(-), subarg(+), profil(-)	0,25
RSILU	Puissance0.8	Turb(+), vegnul-moy(+), subroc-vas-emb(+), profil(-)	0,74
DETR	Racine	Cour(+), subsab(-)	0,36
PISC	Puissance0.2	Veghte(-), marée(+)	0,54
INVA	Codé 0/1/2/3/4	Vegbas(+), subgra(-), subsab-arg(+) profil(-), divsub(-)	0,43
INVT	Puissance0.6	Subvas-lit(-)	0,28
OMNI	Puissance0.4	O2(-), pH(-), turb(-), subvas-emb(-), mphyt(-), divsub(-)	0,70
HERB	Log(x+1)	O2(-), pH(-), turb(-), vegmoy-hte(+), subvas-lit(+), marée(-), couv(+)	0,71
RDET		O2(-), vegbas(-), subvas(+), depr(-)	0,50
RPISC	Log(x+1)	Emb(+), vegnul(+), veghte(-), marée(+), profil(-)	0,53
RINVA	Codé 0/1/2/3/4	Larg(+), veghte(-), subroc(-), subarg(+), marée(+), profil(-)	0,43
RINVT	Log(x+1)	Cour(+), prof(+), veghte(+), subsab(+), depr(+)	0,61

ROMNI	Puissance1.2	T(-), ph(-), turb(-), emb(-), prof(-), vegmoy(-), subgra-vas-emb(-), profil(+)	0,89
RHERB		T(-), turb(-), aire(+), vegbas-hte(-), depr(-)	0,55

Au vu de ces relations il apparaît que la nature de la végétation rivulaire et la nature du substrat sont les variables d'habitat qui interviennent le plus pour expliquer la structure des peuplements de poissons en milieu naturel. Les variables de position telles que la distance à l'embouchure, l'aire spécifique et l'existence d'une influence de la marée entrent dans certaines relations, en particulier celles concernant la richesse spécifique. L'interprétation plus poussée de ces relations est difficile dans la mesure où beaucoup de variables d'habitat sont corrélées entre elles et le fait que l'une ou l'autre des variables entrent dans la régression pas à pas peut découler de différences minimales dans leur pouvoir explicatif pour la structure des peuplements.

### 6.3 Calcul des résidus et sélection des métriques

Le principe de sélection des métriques est basé sur la comparaison des résidus par rapport aux relations obtenues pour les milieux naturels entre les échantillons de référence et les échantillons perturbés (Erreur : source de la référence non trouvée).

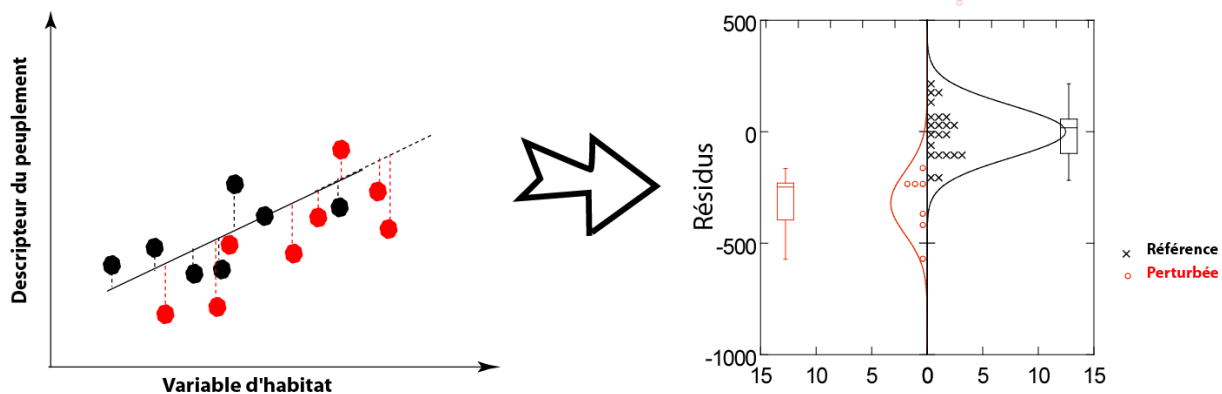


Figure . Illustration du principe de sélection des métriques.

Pour chacun des descripteurs, un test de comparaison des moyennes est pratiqué pour mettre en évidence une différence statistique. Les descripteurs qui présentent une différence significative entre échantillons de référence et perturbés sont alors sélectionnés comme métriques pour intégrer l'indice de qualité.

On identifie en Guyane sur le cours moyen des cours d'eau cinq types de perturbation :

- L'orpaillage et, en particulier, son activité clandestine, dont les conséquences peuvent être visibles comme l'augmentation spectaculaire de la turbidité, ou plus discrètes comme les effets des prélèvements sur le milieu aquatique, le rejet de polluants, la déforestation qui accompagne l'installation de campements, etc.
- L'activité agricole intensive qui peut provoquer des rejets de pesticides ou engrais et qui est aussi le siège d'une déforestation importante,
- L'activité industrielle. Il s'agit du centre Spatial Guyanais, situé en bordure d'un petit fleuve côtier, et d'une rumerie le long d'un petit affluent du Maroni à Saint Laurent
- La présence d'un barrage hydroélectrique sur le site de Petit-Saut dont on connaît les impacts sur le fleuve à l'aval.
- Une pollution urbaine diffuse à l'aval d'agglomérations bordant le fleuve Maroni.

Parmi les échantillons pratiqués ont été sélectionnés ceux que l'on suppose affectés par ces types de perturbation et récoltés avant 2009. Ce sont :

- La crique Leblond, le Petit Inini, l'Inini à Saut Sonnelle, la Mana à Saut Léopard affectés par les activités d'orpaillage clandestin,
- La Karouabo et la crique Balaté affectés par des activités industrielles,
- L'Acarouany à Javouhé, la Comté à Cacao et à Loiseau, à l'aval de zones d'activité agricole intensive
- Le Maroni à l'aval de Maripasoula sur la même rive, qui reçoit directement les rejets de l'agglomération,
- Enfin trois échantillons pratiqués sur le Sinnamary à l'aval du barrage de Petit-Saut.

Nous disposons ainsi de 16 échantillons pour tester les écarts aux relations et sélectionner les métriques.

En fixant la probabilité de différence à 10%, 14 métriques sont sélectionnées (Erreur : source de la référence non trouvée).

**Tableau . Résultats de la comparaison des résidus entre échantillons de référence et perturbés.**

DESCRIPT EUR	Résidus	Métrique					
	Référence	Perturbé	Test t				
		Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type		
pue	-7.27387E-17	0.032036351	-	0.028979463	0.050221098	0.048856193	M
richesse (Rcorr)	-6.06411E-15	2.175558397	1.496522034	11.64267271	0.61770043		
Diversité (IS)	1.18679E-16	0.121634281	-	0.165044291	0.332509672	0.072097003	M
Equitabilité (E)	8.70951E-17	0.082027958	-	0.000144814	0.156027007	0.997275573	
%Anostomidae	-1.23464E-16	0.041335669	0.068479931	0.34933506	0.446710788		
%Auchenipteridae	1.95246E-16	0.116901565	0.090059321	0.414671729	0.407462095		
%Siluriformes	-3.82836E-17	0.067759199	-	0.126173207	0.231900719	0.048914988	M
%Characidae	-6.69962E-17	0.144201658	0.064670758	0.270026791	0.383879527		
%Cichlidae	-3.9815E-16	0.407425331	0.312335473	0.732947886	0.13064035		
%Curimatidae	-3.0627E-17	0.715843783	0.199250093	1.753142961	0.6687581		
%Gymnotiformes	-1.0566E-15	0.306860459	0.708601532	0.89180092	0.00680467		P
%detritivores	-1.11022E-16	0.119886491	0.007964228	0.264185521	0.910257647		
%piscivores	-1.30164E-16	0.071004962	-	0.158233076	0.039069419		M
%invertivores aquatiques	8.57552E-16	0.357129343	0.790737702	1.64275169	0.0757486		P
%invertivores terrestres	-3.92406E-17	0.097140303	-	0.162730313	0.170400925		
%omnivores	2.54586E-16	0.062219211	0.171804236	0.322346309	0.051328444		P
%herbivores	1.14851E-17	0.017690398	0.021899823	0.079606284	0.293870379		
%Rich. Anostomidae	-3.11054E-17	0.036787476	0.060510621	0.105700898	0.040517489		P
%Rich. Auchenipteridae	2.67985E-17	0.052851749	0.061107116	0.156508288	0.148281685		
%Rich. Siluriformes	3.82836E-18	0.034635075	-	0.101288788	0.041187919		M
%Rich. Characidae	-1.53134E-17	0.059326678	-	0.151542343	0.830332153		
%Rich. Cichlidae	1.37438E-15	0.402998876	0.384794763	1.632081242	0.36738134		
%Rich. Curimatidae	8.72865E-16	0.614084134	-0.54969304	1.167322569	0.09491351		M
%Rich. Gymnotiformes	-9.1881E-17	0.451872842	0.93945071	1.252417604	0.00991991		P
%Rich. Detritivores	2.2013E-17	0.037459583	-	0.082602198	0.0046048		M



%Rich. Piscivores	2.17738E-17	0.01849213	0.000736179	0.045473305	0.95126165 2	
%Rich. Invertivores aquatiques.	-4.3643E-16	0.305926098	0.866988659	1.462035476	0.03257018	P
%Rich. Invertivores terrestres	-7.89598E-18	0.009218055	0.008512873	0.018784405	0.10478508 1	
%Rich. Omnivores	-1.09108E-16	0.020145033	0.031990577	0.115412108	0.288311284	
%Rich. Herbivores	-1.2155E-16	0.030308881	0.047061849	0.061696607	0.00985450 2	P

Sept diminuent avec la perturbation :

- La capture par unité d'effort.
- La diversité.
- Le pourcentage de Siluriformes benthiques.
- Le pourcentage de piscivores.
- Le pourcentage d'espèces de Siluriformes. Les effets sur le nombre d'espèces de ce groupe sont probablement similaires à ceux évoqués sur le nombre d'individus.
- Le pourcentage d'espèces de Curimatidae.
- Le pourcentage d'espèces de détritivores

Sept augmentent avec la perturbation :

- Le pourcentage de Gymnotiformes
- Le pourcentage d'invertivores de proies aquatiques
- Le pourcentage d'omnivores
- Le pourcentage d'espèces d'Anostomidae
- Le pourcentage d'espèces de Gymnotiformes
- Le pourcentage d'espèces d'invertivores de proies aquatiques
- Le pourcentage d'espèces d'herbivores

La cpue de pêches aux filets maillants est une mesure complexe qui englobe la densité d'individus et leur degré d'activité (moyen passif). Cependant, en première approximation et dans des conditions hydrologiques similaires, elle représente un indice d'abondance. L'abondance en poissons est un indice grossier de la productivité du système et les systèmes perturbés sont supposés supporter moins d'individus que des systèmes de haute qualité (Karr 1981).

La diversité est une mesure composite intégrant le nombre d'espèces présentes et leur distribution d'abondance. Bien que ni la richesse spécifique de l'échantillon ni son équitabilité ne présentent de différence significative entre référence et perturbé, il est vraisemblable que ces deux paramètres participent à la différence de diversité observée.

Les Siluriformes benthiques sont probablement affectés par le dépôt de matériel en suspension sur les substrats qui leur servent de support à leur alimentation et peut-être aussi à leur reproduction. On ne peut exclure l'intervention d'autres conséquences de dégradation telles que des modifications chimiques de l'eau.

La plupart des piscivores chassent à vue et une augmentation de la turbidité de l'eau leur est particulièrement défavorable (Tejerina-Garro et al. 1998).

Les Curimatidae sont des periphytophages (consomment la pellicule organique qui se développe sur les substrats). En ce sens ils sont profondément affectés par l'augmentation de matières en suspension qui se déposent sur les substrats. Cette même cause peut expliquer la diminution des détritivores.

Parmi les descripteurs qui augmentent avec les perturbations, l'abondance et la richesse relative des Gymnotiformes et des Invertivores aquatiques peuvent être mis en parallèle. En effet, beaucoup de Gymnotiformes consomment préférentiellement des invertébrés aquatiques. Ces poissons ont un comportement benthique, mais, à l'inverse des Siluriformes benthiques, ils sélectionnent leurs proies qu'ils repèrent vraisemblablement grâce à un système d'impulsions électriques. Ils profitent peut-être d'une certaine vulnérabilité des invertébrés benthiques, fragilisés par les perturbations. Quant aux Anostomidae, ils ont été souvent signalés pour leur tolérance aux perturbations. Ce sont des omnivores à tendance herbivore, deux régimes alimentaires qui

semblent favorisés par l'existence de perturbations, le premier par sa faculté d'adaptation et l'autre parce que la ressource végétale exogène est la plupart du temps accessible quelque soient les conditions du milieu aquatique.

#### 6.4 Transformation des métriques en notes

Une fois sélectionné des métriques sensibles aux perturbations, il est nécessaire de les transformer de telle manière qu'elles aient toutes le même poids dans la construction de l'indice final.

Pour ce faire les résidus des relations habitat/peuplement **dans les échantillons de référence** sont standardisés en opérant une transformation centrée-réduite de leur distribution. Cette transformation consiste à soustraire à chaque valeur la moyenne de la distribution et à diviser cette différence par l'écart type de la distribution. On obtient ainsi une nouvelle distribution de moyenne 0 et d'écart type de 1.

La même transformation est appliquée aux résidus des échantillons perturbés et de ceux dont l'état est inconnu **en utilisant moyenne et écart type de la distribution des échantillons de référence**.

Les valeurs ainsi obtenues sont ensuite transformées en notes sur une échelle de 0 à 5 en basant les seuils sur les valeurs limite de la distribution normale. De cette manière la note obtenue peut être attachée à une probabilité d'erreur.

Pour les métriques dont la valeur diminue sous l'effet de perturbations :

Note 5 :  $\leq -1.15$   
Note 4 : compris entre  $-1.15$  et  $-1.28$   
Note 3 : compris entre  $-1.28$  et  $-1.44$   
Note 2 : compris entre  $-1.44$  et  $-1.64$   
Note 1 : compris entre  $-1.64$  et  $-1.96$   
Note 0 :  $< -1.96$

Pour les métriques dont la valeur augmente sous l'effet de la perturbation :

Note 5 :  $\geq 1.15$   
Note 4 : compris entre  $1.15$  et  $1.28$   
Note 3 : compris entre  $1.28$  et  $1.44$   
Note 2 : compris entre  $1.44$  et  $1.64$   
Note 1 : compris entre  $1.64$  et  $1.96$   
Note 0 :  $> 1.96$

De cette manière, une note de 0 a seulement 5% de chances d'être observée dans un échantillon non perturbé, une note de 1, 10% de chances, etc.

L'indice final est une composition additive des notes de chacune des métriques.

#### 6.5 Résultats

Dans un premier temps l'indice est calculé pour les stations de référence et pour les échantillons perturbés qui ont servi pour l'identification des métriques. Il s'agit de vérifier le bien fondé de la sélection *a priori* des échantillons (Erreur : source de la référence non trouvée Erreur : source de la référence non trouvée et

Erreur : source de la référence non trouvée).

Tableau . Résultats du calcul d'indice pour les stations de référence. La couleur des smileys correspond à une échelle arbitraire : vert = notes 4-5 ; orange = note 2-3 ; rouge = 0-1

Station	Note Globale	puce	Diversité (LS)	% Siluriformes	% Gymnotiformes	% piscivores	% invertivores aquatiques	% omnivores	% Rich. Anostomidae	% Rich. Siluriformes	% Rich. Curimatidae	% Rich. Gymnotiformes	% Rich. Detritivores	% Rich. Invertivores aquatiques.	% Rich. Herbivores
AraCouy	4.6 😊	5 😊	5 😊	5 😊	2 😞	3 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
ArmArmo	4.6 😊	5 😊	5 😊	5 😊	2 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	2 😞	5 😊	5 😊	5 😊
BagBago	5.0 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
BalCouy	4.6 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	4 😊	5 😊	5 😊	1 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
CamCamo	5.0 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
CouLuci	4.6 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	0 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
GabCapo	5.0 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
GinBata	5.0 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
IraFlor	5.0 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
IraPata	4.4 😊	5 😊	5 😊	0 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	2 😞	5 😊	5 😊	5 😊
IraPlaq	4.6 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	0 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
KouLeod	5.0 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
KouMirz	4.7 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	1 😞	5 😊	5 😊	5 😊
KouTany	4.9 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	3 😞	5 😊	5 😊
MarApsi	4.4 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	1 😞	5 😊	5 😊	5 😊	1 😞	5 😊	5 😊
MarLang	5.0 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
MarPiki	4.7 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	4 😊	2 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
MarSpar	4.9 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	4 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊
MarTwen	4.4 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	2 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	0 😞	5 😊
MatYapo	4.7 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	1 😞
NouNous	4.0 😊	1 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	0 😞	5 😊	0 😞	5 😊	5 😊
OyaCamm	4.3 😊	5 😊	5 😊	4 😊	5 😊	5 😊	3 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	2 😞	5 😊	1 😞	5 😊
OyaFour	4.7 😊	1 😞	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊	5 😊

Convention DIREN – IRD / Réseau Qualité des eaux continentales de Guyane 2009

SalSalv	4.8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	4	5
	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😊
SinDall	3.9	5	5	1	5	5	4	5	0	0	5	5	5	5	4
	😞	😊	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😞	😞	😊	😊	😊	😊	😊
SinRoro	4.0	5	0	5	0	5	5	5	5	5	5	4	5	5	2
	😊	😊	😞	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😞
SinTaka	4.5	5	5	2	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	😊	😊	😊	😞	😊	😞	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
SpaTako	5.0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
TamKayo	4.5	5	5	5	5	5	3	0	5	5	5	5	5	5	5
	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😞	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊

Tableau . Résultats du calcul d'indice sur les échantillons perturbés.

Station	Date Prélèvement	Note Globale	p u e	D i v e r s i t é ( I S )	% S i l i c i e s	% G y m n o t i f o r m e s	% p i s c i v o r e s	% i n v e r t i v o r e s	% o m i n i v o r e s	% R i c h . A n o s t o m i d a e	% R i c h . S i l i c i e s	% R i c h . C u r i m a t i d o r m e s	% R i c h . G y m n o t i f o r m e s	% R i c h . D e t r i t i v o r e s	% R i c h . I n v e r t i v o r e s	% R i c h . H e r b i v o r e s	Source de perturb ation
AcaJava	29/08/2008	3.4	5	5	0	0	4	5	5	0	4	5	5	0	5	5	
ComCaca	23/10/2008	3.4	5	0	5	5	5	0	5	5	5	3	5	5	0	0	Activité agricole
ComLois	22/10/1998	2.6	5	1	5	0	5	0	5	5	5	0	0	0	0	5	
IniSone	13/01/1999	2.4	3	5	5	0	5	0	0	0	5	5	0	5	0	0	
IniSone	15/09/2008	2.6	5	0	0	0	5	5	5	0	5	0	4	0	5	3	
LebLuci	12/03/1998	3.1	2	5	2	5	0	5	0	5	0	5	5	0	5	5	Orpailla ge
ManLeza	22/08/2008	1.3	3	0	5	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	
PinBata	15/01/1999	1.3	0	5	5	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
PinBata	16/09/2008	2.9	0	0	5	5	5	5	0	0	0	5	5	5	5	0	
KarPont	29/04/1999	1.9	0	0	0	5	5	5	5	0	0	0	1	0	5	0	Activité industri elle
BalLoui	15/11/2008	2.6	5	5	5	0	5	0	0	0	5	5	0	5	0	2	
MarMarv	20/01/1999	2.1	5	5	0	0	2	1	0	0	0	5	0	5	1	5	urbain
SinKere	17/12/1999	2.9	5	0	0	5	0	5	5	3	0	3	5	0	5	5	
SinVenu	17/12/1998	1.9	2	0	0	0	0	0	0	5	5	5	0	5	0	4	
SinVenu	17/12/2008	2.0	1	5	4	0	0	0	5	5	5	0	1	2	0	0	Barrage
SinSaul	16/12/1998	1.9	5	0	0	5	0	0	0	5	5	2	0	0	0	5	

L'examen de ces deux tableaux met en évidence une séparation satisfaisante entre référence et perturbé. Il n'y a aucune superposition entre les notes de ces deux ensembles (Erreur : source de la référence non trouvée). On note cependant qu'une majorité d'échantillons considérés comme

perturbés présentent une note globale supérieure à 2, ce qui, selon une première détermination des seuils, les placerait dans la catégorie d'un état acceptable. Cette observation suggère que nombre de perturbations avérées sur les cours d'eau ont, pour l'instant, un impact limité sur la qualité des cours d'eau telle que mesurée par les peuplements de poissons. Il est également possible d'identifier des métriques plus sensibles à une source de perturbation particulière. Ainsi l'orpaillage semble affecter plus généralement le pourcentage d'omnivores, le pourcentage d'espèces d'Anostomidae et le pourcentage d'espèces d'herbivores. Une diminution de l'abondance relative en piscivores semble liée à la présence du barrage. Avec la multiplication d'observations sur des stations à la perturbation connue cette analyse des métriques individuelles pourrait permettre d'identifier la source de perturbation sur un échantillon perturbé par une source inconnue.

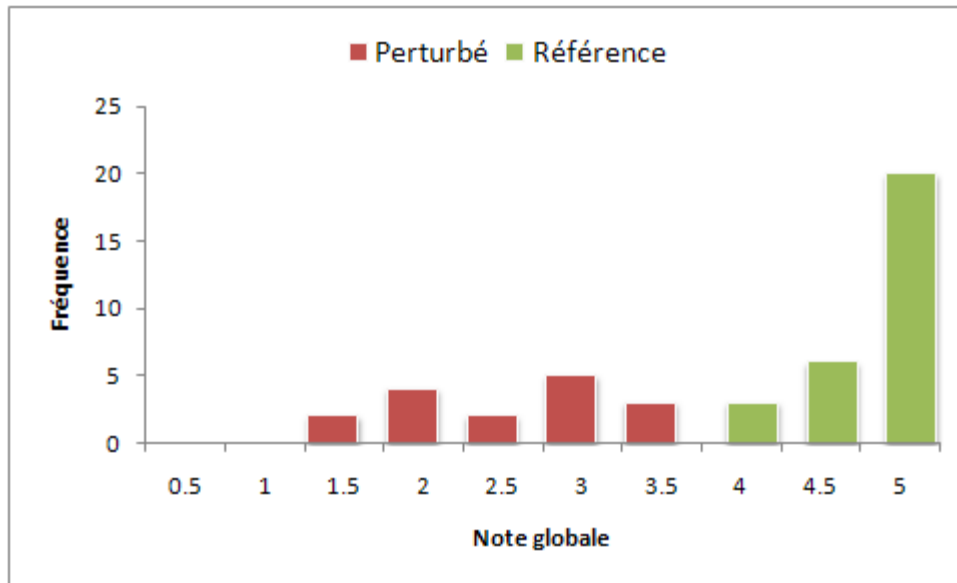


Figure . Distribution de la note globale calculée pour les stations de références et les échantillons perturbés.

Le calcul de l'indice pour les échantillons non classifiés fournit une image de l'état des cours d'eau de Guyane (Erreur : source de la référence non trouvée).

En l'absence de réel gradient de perturbations, la correspondance entre note et classe d'état du milieu reste arbitraire. L'échelle suivante a été adoptée pour la Guyane :

- : Très bon état
- : Bon état
- : État moyen
- : Mauvais état
- : Très mauvais état

Tableau . Résultats du calcul d'indice sur les échantillons à mesurer.

Station	Date Prélèvement	Note Globale	p ue	D i v e r s i t é ( I S )	% S i l u r i f o r m e s	% G y m n o t i f o r m e s	% p i s c i v o r e s	% i n v e r t i v o r e s a q u a t i q u e s	% o m n i v o r e s	% R i c h · A n o s t o m i d a e	% R i c h · S i l u r i f o r m e s	% R i c h · C u r i m a t i d a e	% R i c h · G y m n o t i f o r m e s	% R i c h · D e t r i t i v o r e s	% R i c h · I n v e r t i v o r e s a q u a t i q u e s	% R i c h · H e r b i v o r e s	
KouLeod	07/09/2009	4.9	5	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
AppMach	25/09/2009	4.4	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	5	0	
OraFour	01/12/2009	4.2	5	0	5	5	0	5	5	5	5	4	5	5	5	5	
ComFend	21/10/2008	4.1	1	5	5	4	5	1	5	5	5	3	5	5	5	4	Très bon État
AppAtha	26/09/2009	4.1	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	0	
OyaGeor	01/10/2008	4.1	5	5	5	2	5	0	5	5	0	5	5	5	5	5	
AppRegi	27/09/2009	4.0	5	5	5	5	1	0	5	5	5	5	5	5	0	5	
ComCaca	09/10/2009	4.0	5	5	5	5	5	1	5	5	0	5	5	5	5	0	
MarMarm	19/01/1999	4.0	5	5	3	3	5	5	0	5	0	5	5	5	5	5	
ComLysi	10/10/2009	3.9	5	4	0	5	5	5	1	5	0	5	5	5	5	5	
IniSone	09/11/2009	3.9	5	0	5	5	5	5	0	5	5	5	5	5	5	0	
MalPont	05/10/2000	3.9	5	5	0	5	1	5	4	5	5	5	5	5	5	0	
OyaGeor	05/11/1998	3.9	5	1	5	5	4	0	5	5	0	5	5	5	5	5	
OyaCamv	03/11/1998	3.9	4	0	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	
MatYapo	28/09/2009	3.8	0	5	5	5	5	5	3	5	0	5	5	5	5	0	
ManCoua	11/11/2009	3.6	5	3	2	0	5	5	5	5	5	5	3	5	5	0	Bon État
AppRegi	16/09/2008	3.4	5	5	5	0	5	0	5	5	5	0	3	5	0	5	
OraPonm	12/11/1998	3.4	0	5	2	5	5	0	0	5	0	5	5	5	5	5	
OraFour	26/09/2008	3.3	0	3	5	0	3	5	5	5	5	0	5	0	5	5	
AcaAnne	16/11/2009	3.2	5	5	5	5	5	0	0	5	0	5	5	0	0	5	
AppMach	13/09/2008	3.1	2	5	5	0	5	5	0	5	5	0	5	5	1	1	
ManChar	28/08/2008	3.1	0	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	3	0	5	
MarPapa	17/09/2008	3.0	5	0	0	5	5	5	0	5	0	1	5	1	5	5	
MarPapa	13/09/2009	2.9	5	0	0	5	0	5	0	1	0	5	5	5	5	5	État moyen
OyaGeor	19/10/2009	2.9	5	0	5	1	0	0	5	5	0	0	5	5	5	5	
PinBata	09/12/2009	2.9	0	0	5	5	5	0	0	5	5	1	5	0	5	5	
SinVenu	12/02/2009	2.9	5	5	5	5	0	0	5	5	5	0	4	1	0	0	
CamAlex	15/10/2009	2.8	0	0	5	0	4	5	5	5	5	5	0	5	0	0	
PerMati	30/04/1999	2.8	4	0	0	5	0	5	5	5	5	0	0	5	0	5	
LebLuci	24/11/2009	2.7	5	3	0	0	0	5	0	5	0	5	5	5	5	0	



AppAtha	09/10/2008	2.6	0	5	5	0	5	5	0	5	0	2	5	5	0	0	
ManCoua	26/08/2008	2.6	5	5	1	0	5	5	0	5	0	5	0	5	0	0	
OyaGeor	01/11/1998	2.6	5	0	5	5	5	0	0	5	5	0	0	1	0	5	
BalLoui	10/11/2009	2.5	5	0	5	5	5	0	0	5	0	5	0	5	0	0	
ComLysi	20/10/1998	2.4	5	0	5	0	5	0	1	5	1	5	5	0	0	1	
KouSing	10/09/2008	2.3	1	5	5	0	0	0	5	5	5	0	0	1	0	5	
ManFrac	16/09/2009	2.3	5	0	2	5	5	5	0	0	0	0	5	0	5	0	
OraPonv	12/11/1998	2.2	5	0	0	0	5	0	1	5	0	5	0	5	0	5	
SpaMili	09/11/2009	2.1	0	5	5	5	5	0	0	5	0	5	0	0	0	0	
ManFrac	21/08/2008	1.7	5	4	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	5	
AcaJavo	17/11/2009	1.6	5	1	0	0	0	5	0	0	0	1	5	1	5	0	Mauvais État
ManLeza	15/09/2009	1.6	1	0	5	0	5	4	0	0	0	5	0	0	3	0	
KouSing	09/09/2009	1.1	0	5	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	

On notera en premier lieu qu'aucun échantillon ne présente une note inférieure à 1 qui dénoterait un très mauvais état. Seuls 4 échantillons présentent un mauvais état, et 16 un état moyen alors que la majorité (23 échantillons) présente un bon état.

La situation en 2009 (Erreur : source de la référence non trouvée):

L'examen de la carte illustrant l'état des stations en Guyane met en évidence un état général au moins acceptable. Les bassins de l'Approuague et du Mahury apparaissent en bon état avec 5 stations sur 7 présentant des notes supérieures ou égales à 4.

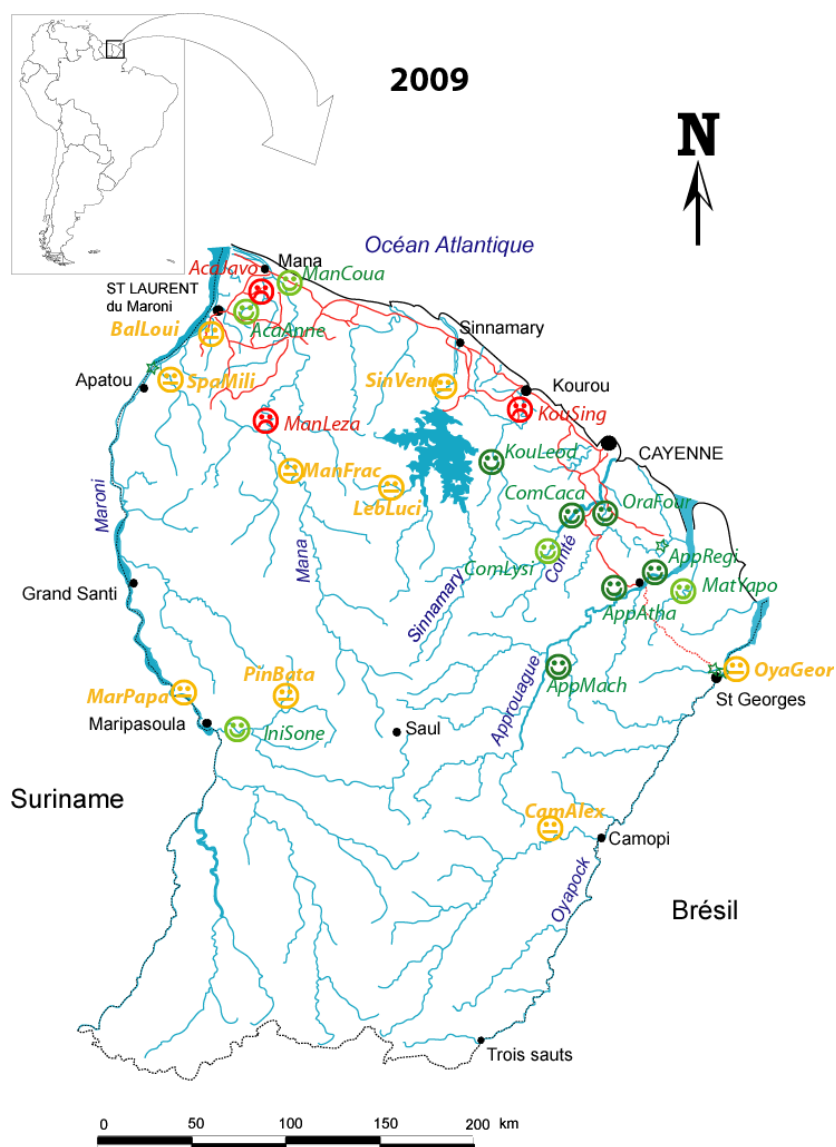


Figure . Représentation cartographique de l'état des cours d'eau de Guyane en 2009 tel que mis en évidence par l'indice poisson.

Les stations situées dans les bassins de l'Oyapock et du Maroni présentent un état moyen. Il faut remarquer que les activités d'orpaillage ne semblent pas affecter très profondément les peuplements de poissons à l'exception de la station de la Mana à Saut Lezard. La situation du fleuve Kourou est particulière puisque la station aval de crique Singes Rouges est associée à une note très faible sans qu'il soit possible de relier cette anomalie à de quelconques activités perturbantes dans la zone. Il serait important de suivre particulièrement cette station dans les années à venir. L'activité agricole intensive semble affecter la zone à l'aval de Javouhé mais pas l'aval de la région de Cacao. Là aussi des prélèvements successifs s'imposent afin de déterminer s'il ne s'agit pas de situations ponctuelles.

Evolution 2008-2009 (Erreur : source de la référence non trouvée).

Tableau . Evolution de l'indice poisson dans les stations échantillonnées en 2008 et 2009

Station	1998	2008	2009
---------	------	------	------

AppMach		3.1	4.4
AppAtha		2.6	4.1
AppRegi		3.4	4.0
ManFrac		1.7	2.3
ManCoua		2.6	3.6
ComFend/Lysi	2.4	4.1	3.9
OraFour		3.3	4.2
MarPapa		3.0	2.9
OyaGeor	3.9	4.1	2.9
KouSing		2.3	1.1

Il est intéressant de constater que la plupart des stations ont vu leur état s'améliorer entre 2008 et 2009. Il faut cependant considérer ce résultat avec précaution. Le niveau particulièrement bas des eaux en 2009 a pu favoriser la capture, en particulier la capture de certains groupes d'espèces inféodées au substrat. En revanche, la situation s'est dégradée sur l'Oyapock à St Georges et sur le Kourou à crique Singes Rouges qui ne sont pas profondément affectées par le déficit hydrologique. Par ailleurs, la station de Singes Rouges présentait déjà en 2008 une note relativement basse.

## 6.6 Validation

En vue de valider la pertinence de l'indice poisson nous disposons d'une série de données dans une station qui a subi une perturbation bien identifiée dans le temps. Il s'agit de la station Vénus sur le Sinnamary à l'aval du barrage de Petit-Saut, fermé en janvier 1994. Une série de prélèvements réalisés tous en fin de saison sèche met en évidence une chute brutale de l'indice poisson qui se maintient à un niveau inférieur à celui observé avant la fermeture (Erreur : source de la référence non trouvée). Cette diminution est principalement due à une baisse importante de la diversité et de l'abondance relative de Siluriformes benthiques.

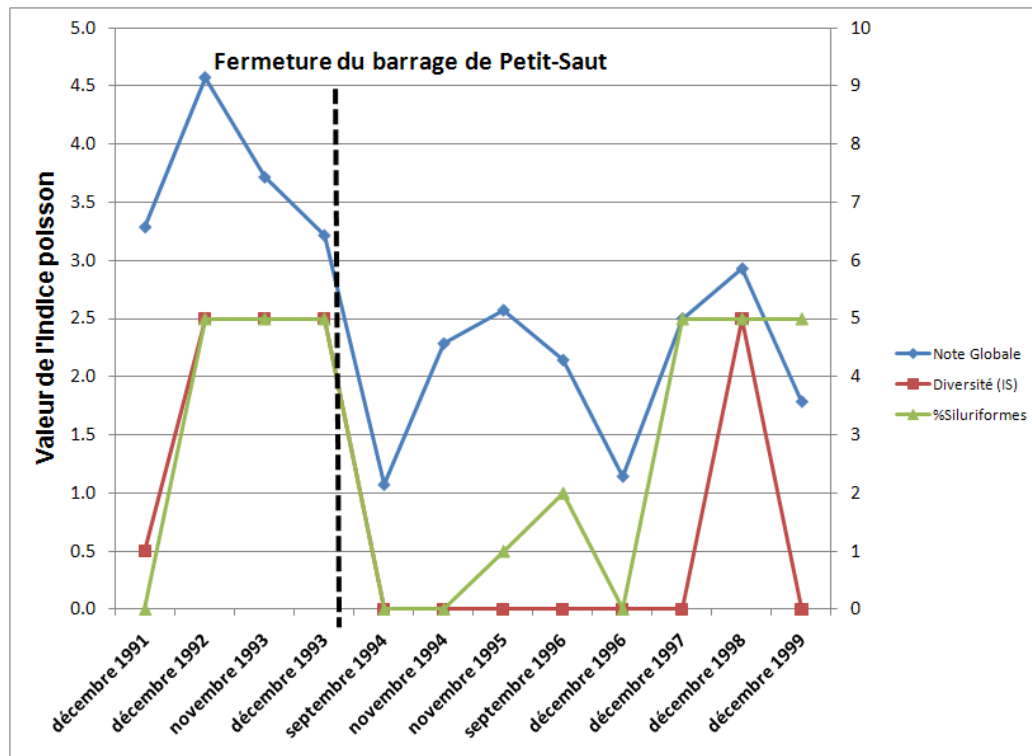


Figure . Évolution de l'indice poisson à la station Vénus sur le Sinnamary avant et après la fermeture du barrage de Petit-Saut.

## 7 Le logiciel

L'ensemble des procédures explicitées ci-dessus pour le calcul de l'indice poisson a été automatisé à l'aide de macros Excel contenues dans trois fichiers :

- Le fichier IRD\_Modèle feuille biologie\_v9.3.xls. Il permet la saisie directe des captures de poissons sur le terrain et le calcul automatique de tous les descripteurs utilisés pour le calcul de l'indice.
- Le fichier IRD\_Modèle feuille habitat\_v6.0.xls. Il permet la saisie directe de toutes les variables d'habitat et leurs transformations nécessaires à l'établissement des relations habitat/peuplement.
- Le fichier IRD\_Modèle feuille TABGENE\_v3.2.xls. Il permet l'importation des fichiers biologie et habitat, le contrôle de compatibilité, le calcul des relations de référence, le calcul des résidus, l'identification des métriques et le calcul final de l'indice.

Ces fichiers associés à leurs macros sont partie intégrante de ce rapport et sont disponibles par des liens à la fin du rapport.

## 8 Etude préliminaire des petites masses d'eau

En complément des échantillonnages sur les grands cours d'eau, destinés à la mise au point d'indices de qualité de ces masses d'eau, une dizaine d'échantillons ont été pratiqués en 2009 dans des cours d'eau de petite taille (petites masses d'eau). Il n'était pas question bien sûr de tenter d'élaborer un indice de qualité avec un échantillonnage aussi limité, mais bien plutôt de tester un certain nombre de méthodes d'échantillonnage et de disposer d'une première approche de ces milieux tant en ce qui concerne leur typologie que leur faune ichthyologique.

## 8.1 Comparaison des méthodes

La méthode la plus couramment employée pour échantillonner les poissons dans les milieux peu profonds est l'utilisation d'un ichtyotoxique (la roténone), produit qui bloque la respiration des poissons et les incite à remonter en surface à la recherche d'oxygène. Ils peuvent être ainsi facilement collectés à l'aide d'épuisettes. Devant une récente directive européenne interdisant l'utilisation de ce produit, d'autres méthodes de capture doivent être recherchées. Au cours de certains des 10 échantillons pratiqués, quelques méthodes alternatives ont été testées (Erreur : source de la référence non trouvée).

**Tableau . Captures de poissons par différentes méthodes dans les petites masses d'eau. Le premier chiffre représente le nombre de poissons capturé et le second le nombre d'espèces.**

	Crique à l'Est	Crique Matiti	CriqueN <sup>el</sup> l France	Crique Saul	Crique Korossi bo	Crique Kamp i
Maille 10				1/1		
Epuisette		13/7				
Nasse	40/7		4/3	8/3	11/2	
Roténone	329/25	1108/27	91/11	62/17	133/19	635/37
Senne				5/2		30/6
Troubleau				1/1		
Verveux	6/4		4/4			

Il apparaît donc nettement que toutes les méthodes alternatives à la roténone sont peu efficaces et ne sont pas en mesure de fournir une image fiable du peuplement en place. De plus, certaines méthodes actives telles que la senne ne sont applicables que dans des conditions de milieu particulières (absence d'embâcles par exemple).

## 8.2 Caractéristiques de l'habitat

Ces milieux de petites masses d'eau, qui sont les têtes de bassins, présentent des faciès très variés qui couvrent toute la panoplie des habitats, depuis les cascades sur rochers jusqu'aux petites vasques profondes. Toutefois, en vue de mener une étude à grande échelle permettant des comparaisons spatiales, il est nécessaire de sélectionner des faciès qui sont communs à la plupart des petites masses d'eau. Cette option est encore renforcée du fait des importantes différences dans l'efficacité des méthodes de prélèvement en fonction de l'habitat. C'est pourquoi la plupart des criques échantillonnées au cours de l'année 2009 présentent des faciès relativement similaires (Erreur : source de la référence non trouvée à 11).

Ce sont des milieux de largeur inférieure à 10m, de profondeur moyenne voisine de 50 cm, totalement recouverts par la végétation de bordure, avec un courant relativement faible, et un substrat majoritairement sableux ou constitué de graviers.

Le taux d'oxygène est, le plus souvent supérieur à 5 mg.l<sup>-1</sup>, la conductivité très faible, voisine de 30 µS.cm<sup>-1</sup>, le pH acide, et, en conditions naturelles et hors épisode pluvieux, la turbidité est faible (Erreur : source de la référence non trouvée).



Photo . Crique A l'Est.  
Cipanama.



Photo . Crique Nouvelle France.



Photo . Crique

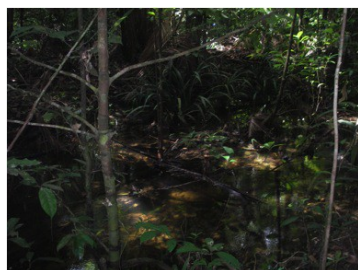


Photo . Crique Singes Rouges.

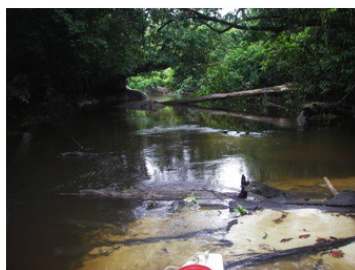


Photo . Crique Saul.



Photo . Crique Korossibo.



Photo . Crique Matiti.



Photo . Crique Macouria.

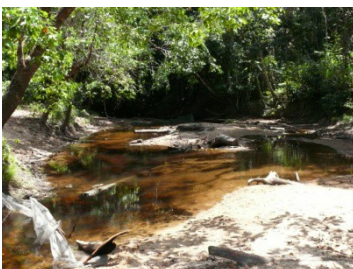


Photo . Crique Toussaint.

Tableau . Caractéristiques physico-chimiques de quelques stations petites masses d'eau. (\*) Après un épisode pluvieux.

Station	Sinuosit é	O2	Conductivit é	Turbidité	pH	T°
Toussaint	1	5.13	30	2.06	5.33	25.4
Singes Rouges	2	5.7	26	1.4	4.57	24.2
Matiti	0	5.74	24	0.23	5.17	27.02
Macouria	1	4.7	35	5.03	5.14	24.5
A l'Est (*)	2	7.2	66	13.9	6.88	23.7
Kampi	0	6.8	26	15.7	5.3	25.7



### 8.3 Structure des peuplements de poissons

A partir des échantillons réalisés, un certain nombre de constatations peuvent être faites :

- ⌚ Ces milieux recèlent une grande diversité d'espèces. 92 espèces ont été recensées dans les 10 échantillons (Erreur : source de la référence non trouvée),
- ⌚ Il existe une grande hétérogénéité spatiale. La capture varie entre 61 et plus de 1000 individus et entre 125g et près de 4kg selon les sites (Erreur : source de la référence non trouvée).
- ⌚ En revanche, la richesse spécifique dans chaque site pris individuellement n'est pas très élevée. On compte entre 10 et 32 espèces selon les sites. La grande majorité des espèces ne se trouve que dans 1 ou 2 sites (Erreur : source de la référence non trouvée). Naturellement cette richesse est fonction de l'abondance totale mais un plateau d'une trentaine d'espèces est rapidement atteint (Erreur : source de la référence non trouvée).

Tableau . Résultat des pêches à la roténone dans les petites masses d'eau échantillonnées en 2009.

Espèces	C ip a n a m a	A l' E st	M a t i t i	M a c o u r i a	N e l e F r a n c e	S a u l	T o u s s a i n t	K o r o s s i b o	K a m p i	S i n g e s R g e s	f r é q u e n c e
<i>Acestrorhynchus falcatus</i>			1	2			1				3
<i>Aequidens tetramerus</i>								1	1		2
<i>Ancistrus cf. leucostictus</i>		13									1
<i>Ancistrus hoplogenyus</i>		4	2				4		7	1	5
<i>Apistogramma gosseii</i>			4							3	2
<i>Apteronotus albifrons</i>									2		1
<i>Astyanax bimaculatus</i>			66	22							2
<i>Astyanax validus</i>		40									1
<i>Batrochoglanis raninus</i>								5	1	3	3
<i>Brachyhypopomus beebei</i>										1	1
<i>Brachyhypopomus sp</i>								2			1
<i>Bryconamericus aff. stramineus</i>	136			37		4		5		4	4
<i>Bryconops affinis</i>		5	158		12				26		4
<i>Bryconops caudomaculatus</i>						13	59				2
<i>Bryconops melanurus</i>						5					1
<i>Callichthys callichthys</i>		1									1
<i>Characidium fasciadorsale</i>							139				1
<i>Characidium zebra</i>		2			1				24		3
<i>Cichlasoma bimaculatum</i>			1					1			2
<i>Cleithracara maronii</i>	11		2	1			10	2		3	6
<i>Copella carsevennensis</i>				1			1			1	3
<i>Corydoras amapaensis</i>									24		1
<i>Corydoras geoffroy</i>					3	1					2
<i>Crenicichla albopunctata</i>								7			1
<i>Crenicichla saxatilis</i>		18	8	8			3	25	7	4	7
<i>Crenuchus spilurus</i>	1										1
<i>Cteniloricaria maculata</i>		3									1
<i>Cyphocharax helleri</i>							34		2		2
<i>Doras carinatus</i>	9										1
<i>Dysichthys coracoideus</i>				2							1
<i>Eleotris pisonis</i>	24										1
<i>Erythrinus erythrinus</i>								1	1		2



Convention DIREN – IRD / Réseau Qualité des eaux continentales de Guyane 2009

<i>Farlowella reticulata</i>					2							1
<i>Gasteropelecus sternicla</i>							54		105			2
<i>Guyanancistrus brevispinis</i>		16										1
<i>Gymnotus anguillaris</i>			12	3					2	28		4
<i>Gymnotus carapo</i>	3	8	11	5		4	2	6	2	5		9
<i>Gymnotus sp</i>									1			1
<i>Harttia guianensis</i>		1										1
<i>Helogenes marmoratus</i>			18	3	3			46	4	11		6
<i>Hemibrycon surinamensis</i>		29			23							2
<i>Hemigrammus boesemani</i>				64					63			2
<i>Hemigrammus ocellifer</i>			10	5		1	116		3			5
<i>Hemigrammus rodwayi</i>			236	2			133					3
<i>Hemigrammus unilineatus</i>			40	27						2		3
<i>Heros efasciatus</i>			2				3					2
<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>								1		1		2
<i>Hoplias aimara</i>			1				2					2
<i>Hoplias malabaricus</i>	1	1	6	6			3	2				6
<i>Hyphessobrycon borealis</i>					1			4		21		3
<i>Hyphessobrycon simulatus</i>							27		55			2
<i>Hyphessobrycon sp. aff. sovichtys</i>		25								1		1
<i>Hypopomus artedi</i>										16		1
<i>Hypopomus beebei</i>				3								1
<i>Hypostomus gymnorhynchus</i>						1						1
<i>Ituglanis amazonicus</i>		4						3				2
<i>Ituglanis nebulosus</i>									1			1
<i>Jubiaba abramoides</i>		3										1
<i>Jubiaba keithi</i>						6						1
<i>Krobia guianensis</i>	2		32	3		4	164			1		6
<i>Krobia itanyi</i>								10				1
<i>Leporinus gosseii</i>									1			1
<i>Leporinus grantii</i>						2	3		8			3
<i>Lithoxus planquettei</i>		2										1
<i>Macrobrachium sp.</i>		18			1		7			4		4
<i>Megalechis thoracata</i>	3									1		2
<i>Melanocharacidium blennioides</i>						1				1		1
<i>Moenkhausia chrysargyrea</i>			27	2					7	1		4
<i>Moenkhausia colletii</i>			356	138		4			22	1		5
<i>Moenkhausia hemigrammoides</i>					1			41		2		2
<i>Moenkhausia moisae</i>		4			3							2
<i>Moenkhausia oligolepis</i>			3			12	81	1	69	3		6
<i>Moenkhausia surinamensis</i>						2	1					2
<i>Nannacara anomala</i>									2			1
<i>Nannacara aureocephalus</i>			22	2		1	49	2		13		6
<i>Nannostomus beckfordi</i>			7	3			58					3
<i>Ochmacanthus reinhardti</i>									1			1
<i>Pimelodella cristata</i>		2					2		26	1		4
<i>Poptella brevispina</i>			26			3			16			3
<i>Pristella maxillaris</i>						1	36		78			3
<i>Pseudopimelodus raninus</i>				5								1
<i>Pseudopimelodus zungaro</i>							2					1
<i>Pyrrhulina filamentosa</i>	6	10	30	11			20	13	3	4		8
<i>Rhamdia quelen</i>	1	1	2	11			1		3	1		7
<i>Rineloricaria stewarti</i>		6							7			2
<i>Rivulus agilae</i>		1					2					2
<i>Rivulus xiphidius</i>						1				1		2
<i>Satanoperca aff. jurupari</i>									5			1
<i>Steindachneria varii</i>		1										1
<i>Sternopygus macrurus</i>					5			1	8	14		4
<i>Synbranchus marmoratus</i>							1					1
<i>Tatia intermedia</i>									2			1

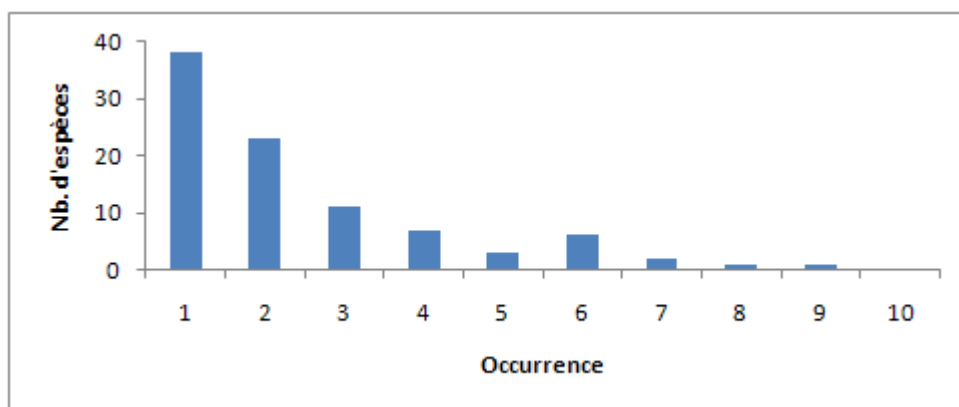


Figure . Fréquence d'occurrence des espèces dans les échantillons réalisés dans les petites masses d'eau en 2009.

Tableau . Caractéristiques des échantillons réalisés dans les petites masses d'eau en 2009.

	Ci pa na ma	A l'E st	Ma titi	Ma co uri a	Ne lle Fr an ce	Sa ul	Tou ssa int	Ko ros sib o	Ka mp i	Sin ge s Rg es
Capture nombre	61	329	1108	329	91	62	1023	133	635	145
Capture poids	355	1567	2793	3998	125	200	1996	1296	2564	928
Poids moyen	5.81	4.76	2.52	12.1	1.37	3.23	1.951	9.74	4.03	6.39
R	10	25	27	23	11	17	32	19	37	26
I (Nb)	4.44	4.85	5.61	4.36	3.94	8.62	10.45	5.59	11.70	10.0
E (Nb)	0.38	0.16	0.17	0.15	0.29	0.47	0.305	0.25	0.29	0.36
I (poids)	4.05	4.37	5.63	4.28	4.65	4.26	10.82	5.69	9.61	7.75
E (poids)	0.33	0.14	0.17	0.14	0.36	0.20	0.317	0.26	0.23	0.27
	9	0	8	9	5	4		1	9	0

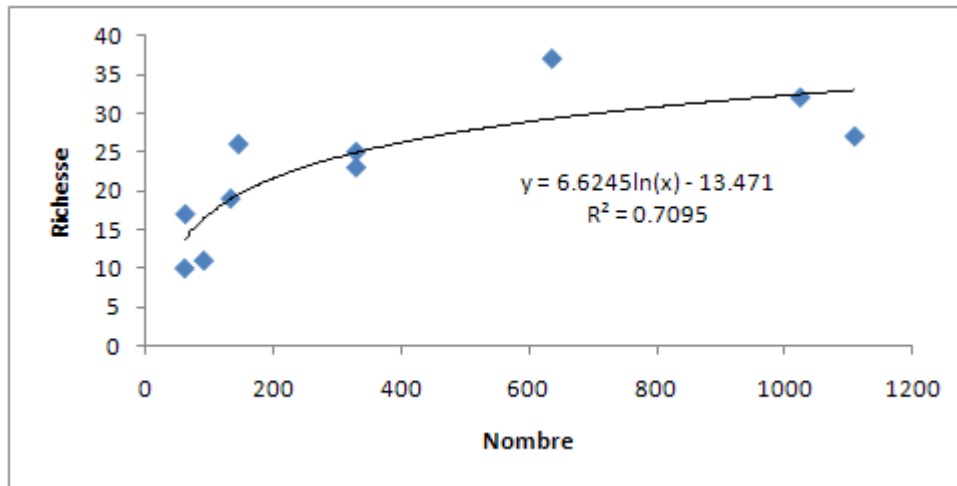


Figure . Relation entre nombre de poissons capturés et nombre d'espèces dans les échantillons réalisés dans les petites masses d'eau en 2009.

Ces observations préliminaires mettent en évidence la pauvreté de connaissances que nous avons sur ces milieux et leur faune. Elles ont servi de germe à un nouveau projet concentré sur la connaissance et la surveillance de ces petites masses d'eau qui devrait débuter en 2010.

## 9 Discussion et Conclusions

L'ensemble des données présentées dans ce rapport permet de tirer un certain nombre de conclusions et de proposer des pistes pour l'amélioration du suivi de la qualité des cours d'eau en Guyane.

### 9.1 Limites de la notation et de son interprétation

Le premier point concerne la validité de l'indice poisson élaboré. Les relations statistiques entre l'habitat et les communautés de poissons basées sur 29 stations de référence sont, dans leur majorité, statistiquement significatives. Cependant certaines présentent encore des coefficients relativement faibles et il serait souhaitable de récolter de nouvelles données, en particulier dans les stations échantillonnées une seule fois afin d'obtenir une image moyenne des peuplements en lissant une éventuelle variabilité interannuelle naturelle. En revanche le nombre d'échantillons perturbés est notoirement insuffisant et il manque des données d'habitat pour caractériser mieux la perturbation. Ainsi nous disposons d'un seul échantillon censé représenter une pollution urbaine (aval immédiat de Maripa Soula), deux pour les pollutions agricoles, deux aussi pour deux perturbations d'origine industrielle mais très différentes dans leur nature. En ce qui concerne la perturbation induite par l'orpaillage, l'absence de données sur l'intensité de l'exploitation et sa durée rend difficile l'interprétation de son impact sur les poissons.

L'intérêt de la démarche proposée est que toute nouvelle donnée prélevée sur des sites dont on connaît le degré de perturbation peut être aisément intégrée à la base afin de recalculer les relations et modifier en conséquence les métriques et les indices.

**Un échantillonnage ponctuel dans des sites dont on connaît la source de perturbation serait particulièrement utile (nouvelles centrales hydro-électriques, nouveaux site d'orpaillage, etc.).**

### 9.2 Localisation des stations du réseau de surveillance

Au cours de l'analyse des données, il s'est avéré que certaines stations présentaient des originalités telles qu'elles sortaient vraisemblablement du cadre de l'étude des cours moyens des rivières guyanaises.

Ce sont d'une part des stations proches des estuaires, soumises à l'intrusion d'eau chargée en sel sous l'effet des marées couplée à de grandes variations du niveau d'eau. Il y a dans ce cas deux difficultés majeures pour les inclure dans l'analyse. Au niveau du peuplement de poissons ces stations abritent une faune variable quotidiennement en fonction des entrées et sorties de poissons avec l'onde de marée. Durant la marée montante, de nombreuses espèces à affinité marine pénètrent dans l'estuaire et s'intègrent aux populations en place. Ainsi, selon la position de la pêche par rapport au cycle des marées, la composition de la capture peut être très différente. A titre d'exemple, l'image du peuplement à l'aval de St Laurent sur le Maroni était en 2008 assez proche d'un peuplement « normal » d'un cours d'eau alors qu'en 2009 il s'en éloignait sensiblement.

L'autre difficulté est liée à la description de l'habitat. Les données physico-chimiques ainsi que la description des berges, de la végétation marginale et du substrat sont profondément modifiées par la marée et dépendent donc du moment auquel elles auront été collectées.

Il s'avère donc que la méthodologie mise en place pour la construction de l'indice dans les cours d'eau est totalement inadaptée pour ces milieux proches des estuaires qui appartiennent plus à des eaux de transition qu'à des eaux intérieures.

**Une étude ichthyologique des ces eaux de transition passe par la mise au point d'une méthodologie adaptée tenant compte du cycle des marées.**

Deux autres stations ont été exclues des analyses pour présenter des peuplements de poissons totalement atypiques.

La rivière de Kaw dominée par deux espèces d'atipas apparaît plus comme une sorte d'exutoire du marais que comme un fleuve typique. **Peut-être serait-il possible de positionner la station encore plus à l'amont de manière à échapper à l'influence prépondérante du marais.**

L'originalité de la crique Passoura provient probablement aussi que le cours d'eau traverse sur presque tout son parcours des zones marécageuses. **La station pourrait éventuellement être remplacée par celle de la crique des Pères dont le peuplement de poissons semble plus comparable à celui des autres stations de cours moyens.** Dans cette éventualité la pression attachée à cette station ne serait plus industrielle comme pour la Passoura proche du CSG, mais agricole du fait des activités menées dans la savanne de Matiti.

## 10 Références bibliographiques

- Hughes RM, Oberdorff T (1999) Applications of ibi concepts and metrics to waters outside the united states and canada. In: Simon TP (ed) Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities. CHRC, pp 79-93
- Karr JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6 (6):21-27
- Karr JR (1987) Biological monitoring and environmental assessment: A conceptual framework. Environ Manage 11 (2):249-256
- Karr JR, Fausch KD, Angermeier PL, Yant PR, Schlosser IJ (1986) Assessing biological integrity in running waters. A method and its rationale. III Nat Hist Surv Spec Publ 5:28p
- Keith P, Le Bail P-Y, Planquette P (eds) (2000) Atlas des poissons d'eau douce de guyane. Tome 2, fascicule i. Collection patrimoines naturels, vol 43(I). MNHN/SPN, Paris
- Le Bail P-Y, Keith P, Planquette P (eds) (2000) Atlas des poissons d'eau douce de guyane. Tome 2 fascicule ii. Collection patrimoines naturels, vol 43(II). MNHN/SPN, Paris
- Magurran AE (1996) Ecological diversity and its measurement. Chapman & Hall, GB
- Mérona Bd, Albert P (1999) Ecological monitoring of fish assemblages downstream of a hydroelectric dam in french guiana (south america). Regul Rivers Res Manage 15:339-351
- Planquette P, Keith P, Le Bail P-Y (eds) (1996) Atlas des poissons d'eau douce de guyane. Tome 1. Collection du patrimoine naturel, vol vol. 22. IEGB - MNHN, INRA ,CSP, Min. Env., Paris
- Simon TP (ed) (1999a) Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C.
- Simon TP (1999b) Introduction: Biological integrity and use of ecological health concepts for application to water resource characterization. In: Simon TP (ed) Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities. CRC Press LLC, USA, pp 3-16
- Tejerina-Garro FL, Fortin R, Rodriguez MA (1998) Fish community structure in relation to environmental variation in floodplain lakes of the araguaia river, amazon basin. Environ Biol Fishes 51:399-410
- Tejerina-Garro FL, Mérona Bd (2000) Gill net sampling standardisation in large rivers of french guiana (south america). Bull Fr Pêche Piscic 357/358:227-240
- Tejerina-Garro FL, Mérona Bd, Oberdorff T, Huguency B (2006) A fish-based index of large river quality for french guiana (south america): Method and preliminary results. Aquat Living Resour 19:31-46

## **11 Annexes**

### **11.1 Modes d'emploi des macros Excel pour le calcul de l'indice poisson**

#### **11.1.1 mode d'emploi du fichier IRD\_Modèle feuille biologie\_v9.3.xls**

*Double clic pour lancer la présentation*

#### **11.1.2 mode d'emploi du fichier IRD\_Modèle feuille habitat\_v6.xls**

*Double clic pour lancer la présentation*

#### **11.1.3 mode d'emploi du fichier IRD\_Modèle feuille TABGENE\_v3.2.xls**

*Double clic pour lancer la présentation*

### **11.2 Fichiers macros Excel**

[Fichier Excel Biologie](#)

[Fichier Excel Habitat](#)

[Fichier Excel TabGene](#)

### **11.3 Tableau des données**

[Tableau des données](#)

### **11.4 diaporama photos**

*Double clic pour lancer la présentation*