DEAL et Office de l'eau de la Guadeloupe
DEAL et Office de l'eau de la Martinique

DEAL Guadeloupe
Cité Gaillard
Chem. Bougainvilliers
97100 BASSE TERRE

Office de l'eau Guadeloupe
Imm Valkabois
Z.A.Valkanaërs
Route de Grande Savane
97113 GOURBEYRE

DEAL Martinique
Immeuble Massal
4 boulevard Verdun
97200 Fort-de-France

ODE Martinique
7 avenue Condorcet
BP 32
97200 Fort-de-France

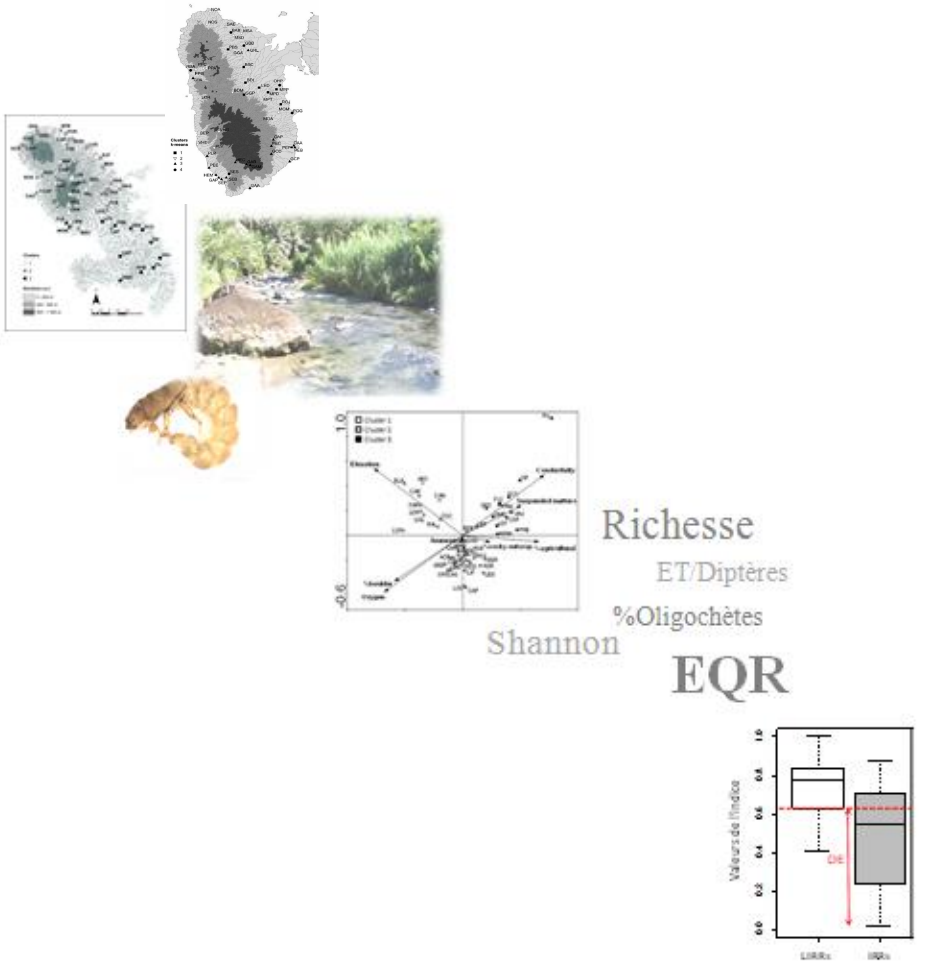
ASCONIT CONSULTANTS
Agence Caraïbes
19 Village de la Jaille
97122 BAIE MAHAULT
Tél. 05.90.41.10.70
Mobile : 06.96.25.54.10
caraibes@asconit.com

Programme d'étude 2010-2013

Mise au point d'un indice de bio-indication de la qualité de l'eau à partir des macro-invertébrés benthiques commun à la Guadeloupe et à la Martinique

Rapport final 2013-V1

(07/06/2013 ; modifié le 08/04/2014)



Auteurs : H. Touron-Poncet, C. Bernadet, N. Bargier, R. Céréghino

Principaux Contacts :

OFFICE DE L'EAU GUADELOUPE
- Sophie KANOR - sophie.kanor@office-eauguadeloupe.fr

DEAL GUADELOUPE
- Sophie GLEPIN - sophie.Glepin@developpement-durable.gouv.fr

OFFICE DE L'EAU MARTINIQUE
- Julie GRESSER - julie.gresser@eaumartinique.fr
- Loïc MANGEOT - loic.mangeot@eaumartinique.fr

DEAL MARTINIQUE
- Corinne FIGUERAS- Corinne.FIGUERAS@developpement-durable.gouv.fr

OFFICE NATIONAL DE L'EAU ET DES MILIEUX AQUATIQUES
- Olivier MONNIER – omonnier@mnhn.fr
- Yorick REYJOL - yorick.reyjol@onema.fr

ASCONIT CONSULTANTS
- Heliott TOURON-PONCET - heliott.touron.poncet@asconit.com
- Caroline BERNADET - Caroline.bernadet@asconit.com
- Nicolas BARGIER - nicolas.bargier@asconit.com

UNIVERSITE PAUL SABATIER TOULOUSE III / ECOLAB UMR5245
- Régis CEREGHINO - regis.cereghino@univ-tlse3.fr

Sommaire

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE 7

2. PRESENTATION DES DONNEES 10

2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE 10
2.2. LES SITES DE L'ETUDE 11
2.3. FREQUENCE DES PRELEVEMENTS 18
2.4. LES PRELEVEMENTS D'EAU ET LES DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU 22
2.5. PROTOCOLE DE PRELEVEMENT DES MACROINVERTEBRES BENTHIQUES 25
2.6. TECHNIQUES DE TRI ET DETERMINATION DE LA FAUNE 25
2.7. OCCUPATION DES SOLS SUR LES BASSINS VERSANTS DES SITES D'ETUDES 26

3. DEVELOPPEMENT DE L'INDICE 27

3.1. SELECTION DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES 28
3.2. BIOTYPOLOGIE DES STATIONS 29
3.3. CHOIX DES STATIONS LIRRS 33
3.4. PRESENTATION DES METRIQUES 35
3.5. NORMALISATION DES METRIQUES 36
3.5.1. Les Valeurs de référence 37
3.5.2. Calcul des écarts à la référence (EQR : Ratio de qualité Ecologique) 39
3.6. SELECTION DES METRIQUES PERTINENTES 39
3.6.1. Quatre critères de sélection 39
3.6.2. Résultats 41
3.7. METRIQUES FINALES 43
3.8. VALEURS DE REFERENCES 43
3.9. CALCUL DE L'INDICE (IBMA) 44

4. CLASSES ECOLOGIQUES 44

4.1. CLASSES POUR L'IBMA 44
4.2. CLASSES SPECIFIQUES AU CLUSTER 6 (ZONE SUD DE LA MARTINIQUE) 46

5. TEST DE L'INDICE 48

5.1. METHODE 48
5.2. RESULTATS 48

6. EFFET DE SAISONNALITE 50

6.1. METHODE 50
6.2. RESULTATS 50

7. CARTES D'ETAT 52

8. CONCLUSION ET DISCUSSION 55

9. REFERENCES 58

10. ANNEXES 61

Liste des tableaux

Tableau 1. Liste des stations échantillonnées en Guadeloupe 13

Tableau 2. Liste des stations échantillonnées en Martinique. 15

Tableau 3 : Suivi des stations de Guadeloupe sur la durée de l'étude 19

Tableau 4. Suivi des stations de Martinique sur la durée de l'étude 21

Tableau 5 : Méthode d'analyse, normes et limites de quantification. Analyses pratiquées sur les échantillons d'eau provenant des stations du Réseau de Contrôle de Surveillance et du Réseau Complémentaire. 24

Tableau 6 : Liste des stations LIRRs pour chacune des sous-régions. 34

Tableau 7. Valeurs moyennes, minimales et maximales pour les variables physico-chimiques de l'eau et les variables d'occupation du sol pour les stations LIRRs et les stations IRRs. 35

Tableau 8. Résultats de DE, CV et spécificité des métriques finales. 43

Tableau 9. Valeurs de références (meilleures valeurs et pire valeur) des métriques finales. 44

Tableau 10 : limites des classes d'états de l'indice IBMA. 45

Tableau 11 : limites des classes d'états de l'indice IBMA. 46

Tableau 12. Résultats des tests de Wilcoxon et valeurs moyennes des métriques composites (± erreurs standards) pour les saisons de carême et hivernage 2010. NS : Non Significatif. 52

ANNEXE 1 Tableau 13. Niveaux de détermination pour les différents grands groupes de macroinvertébrés benthiques. 62

ANNEXE 2 Tableau 14. Résultats des analyses physico-chimiques de chacune des stations de Guadeloupe et pour chacune des trois campagnes de prélèvements (carême 2010, hivernage 2010, carême 2011, carême 2012). 63

ANNEXE 3 Tableau 15. Résultats des analyses physico-chimiques de chacune des stations de Martinique et pour chacune des trois campagnes de prélèvements (carême 2010, hivernage 2010, carême 2011). 68

ANNEXE 4 Tableau 16. Données topographiques et occupation des sols sur les bassins versants des sites d'études de Guadeloupe (données Corine Land Cover 2012). 75

ANNEXE 5 Tableau 17. Données topographiques et occupation des sols sur les bassins versants des sites d'études de Martinique (données Corine Land Cover 2012). 77

ANNEXE 8 Tableau 18. Liste des métriques potentielles avec indication des phases de prélèvements prises en compte. 119

ANNEXE 9 Tableau 19. Efficacité de Discrimination (DE) moyenne et Coefficient de Variation (CV) des LIRRs moyen pour chacune des 74 métriques candidates. 123

ANNEXE 10 Tableau 20. Valeurs de DE et CV des 74 métriques candidates, et résultats des régressions linéaires simples (critère de faible spécificité des variables) pour la sélection des métriques. 124

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique des Antilles françaises 10

Figure 2. Carte de la Basse-Terre - localisation des stations du réseau de contrôle de surveillance et des stations complémentaires.....17

Figure 3. Carte de la Martinique - localisation des stations de l'étude.....18

Figure 4. Cartes des hydro-écorégions de Martinique et Guadeloupe (Sources : Wasson *et al.*, 2004 ; Chandesris *et al*., 2005).....30

Figure 5. Carte des localisation des stations et appartenance aux clusters.....32

Figure 6 : Illustration des types de réponses des métriques aux pressions anthropiques : (a) métriques décroissantes (type II) et (b) métriques croissantes (type III).....38

Figure 7. Histogrammes des fréquences des valeurs de DE (a) et CV (b) des métriques (n=290 métriques). .42

Figure 8. Découpage des classes d'états suivant la distribution des scores de l'IBMA du jeu de données d'apprentissage. 46

Figure 9. Découpage des classes d'états pour le cluster 6 suivant la distribution des scores de l'IBMA des stations IRRs du cluster 6 du jeu de données d'apprentissage.....47

Figure 10. Distributions des scores de l'IBMA et de l'indice de Shannon des LIRRs (boîtes blanches) et des IRRs (boîtes grises) pour la Guadeloupe (a) et en Martinique (b). 49

Figure 11. Distributions des scores de l'IBMA des LIRRs et des IRRs pour le jeu de données d'apprentissage (boîtes blanches) et les jeux de données tests (boîtes grises), en considérant la Martinique et la Guadeloupe. 49

Figure 12. Résultats de l'Analyse en Composantes Principales sur 15 paramètres physico-chimiques pour le carême (bleu) et l'hivernage (rouge) 2010 pour la Martinique (à gauche) et la Guadeloupe (à droite).....51

Figure 13. Cartes d'état des sites de Guadeloupe selon les campagnes. a) Carême 2010 ; b) Hivernage 2010 ; c) Carême 2011 ; d) Carême 2012.....53

Figure 14. Cartes d'état des sites de Martinique selon les campagnes. a) Carême 2010 ; b) Hivernage 2010 ; c) Carême 2011 ; d) Carême 2012.....54

1. Contexte et objectif de l'étude

La Directive 2000/60/CE (DCE) établit le cadre de la politique communautaire dans le domaine de l'eau et définit les objectifs environnementaux à atteindre pour l'ensemble des eaux continentales.

Pour les eaux de surface, l'objectif environnemental principal est le bon état des eaux au plus tard en 2015.

Ces objectifs environnementaux sont inscrits dans les plans de gestion des districts hydrographiques (les Schémas Directeur de Gestion et d'Aménagement des Eaux en France). Ces plans de gestion présentent la classification de l'état des masses d'eau en début de plan et définissent également les programmes de mesures de gestion à mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs en fin de plan.

La DCE a apporté quelques nouvelles notions fondamentales qui peuvent se résumer ainsi :

Le bon état d'une eau de surface est atteint quand son état chimique et son état écologique sont au moins bons. L'état écologique correspond à l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques de surface. Il s'appuie essentiellement sur des éléments de qualité biologique (phytoplancton, diatomées, macrophytes, macro-invertébrés, poissons) ainsi que sur certains paramètres physico-chimiques qui soutiennent la biologie des cours d'eau. L'état de l'eau n'est donc plus évalué par rapport à différents usages, comme cela était pratiqué (comme par exemple dans le cadre du SEQ eau), mais principalement au regard fonctionnement biologique des systèmes aquatiques.

Pour chaque masse d'eau, le bon état écologique est défini par de faibles écarts à un **état de référence** correspondant à l'état de la masse d'eau dans des conditions préservées de toute perturbation anthropique majeure. Le réseau de Référence (circulaire DCE 2004/08 du 23 décembre 2004) a été créé afin de caractériser les situations de référence pour chaque type de masse d'eau.

Les conditions de référence pouvant naturellement varier entre cours d'eau, la DCE introduit la notion de « **typologie** des eaux ». Cette typologie, basée sur les facteurs majeurs influençant le fonctionnement des cours d'eau à l'échelle du territoire (notamment la géologie, le climat, l'altitude et la biogéographie) permet de prendre en compte les principaux facteurs d'hétérogénéité des conditions de référence (et aussi des réponses aux pressions).

L'évaluation biologique s'appuie sur des critères appelés « Eléments de Qualité Biologique » (EQB), c'est-à-dire des communautés biologiques servant de support à l'évaluation de l'état. Concernant les écosystèmes d'eau douce lotiques, la DCE prescrit l'utilisation de 4 EQB pour évaluer l'état (combinaison ou pertinence selon les catégories de masses d'eau) : l'ichtyofaune, les macroinvertébrés benthiques, le phytoplancton et les macrophytes. Depuis longtemps utilisé en bio-évaluation, le groupe des **macroinvertébrés benthiques** est un des groupes les plus utilisé en Europe pour révéler les pressions anthropiques sur les écosystèmes, et est à la base de nombreuses méthodes/indices de bioindication (ex. ASPT, AQEM, SPEAR ; Armitage *et al.*, 1983 ; Hering *et al.*, 2004 ; Liess and Von der Ohe, 2005).

En France métropolitaine, l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) (AFNOR, 1992, 2004) est la méthode normalisée utilisée depuis 1992 pour évaluer la qualité écologique des cours d'eau peu profonds à partir des macroinvertébrés. Actuellement, les indices créés dans la zone européenne sont pour beaucoup remaniés, et de nouveaux indices sont développés afin de satisfaire les

exigences de la DCE, parmi lesquelles : 1) l'évaluation doit impérativement être réalisée par rapport à une situation de référence et 2) la typologie des masses d'eau doit être considérée. En plus de ces critères, les outils de bio-évaluation basés sur les EQB doivent prendre en compte pour les communautés : 1) l'abondance, 2) la diversité et 3) un ratio espèces sensibles sur espèces tolérantes.

Bien que géographiquement éloignée de l'Europe, la Martinique et la Guadeloupe, comme tous les Départements d'Outre-Mer français, font partie intégrante de l'Union Européenne. Elles sont alors soumises aux mêmes obligations et objectifs que l'Europe continentale en termes de politiques environnementales. Notamment, l'état écologique devra être évalué à partir des communautés de macroinvertébrés benthiques. Or, ni l'IBGN utilisé en métropole jusqu'à maintenant ni le nouvel indice de bioévaluation DCE-compatible développé récemment pour la France (l'Indice Invertébrés Multi-Métrique (I_2M_2) (Mondy et al., 2012)) ne peuvent être directement appliqués en Martinique et Guadeloupe. Pour exemple, l'indice I_2M_2 prend en compte l'abondance de taxons présentant plus d'une génération par an, mais on ignore les valeurs de ce trait pour la faune antillaise, tout simplement par manque de travaux fondamentaux. Jusqu'alors, une combinaison de trois indices structuraux classiques (Shannon, Simpson et Equitabilité de Pielou) était utilisée pour évaluer la qualité écologique des cours d'eau de Martinique et Guadeloupe. Il est donc nécessaire de développer un indice de bio-évaluation basé sur les macroinvertébrés benthiques qui soit adapté au contexte antillais.

On constate d'une manière générale un manque de connaissances des macroinvertébrés benthiques des Antilles françaises, qu'il s'agisse de leur degré de sensibilité aux pollutions, de leurs préférences d'habitat, de leur distribution longitudinale suivant des gradients environnementaux naturels, ou encore des traits biologiques des espèces (ex. caractéristiques du cycle de vie, comportement). Peu de travaux scientifiques ont porté sur la faune macroinvertébrée des Antilles françaises. On peut noter toutefois qu'un travail important d'inventaire et de description de cette faune a été réalisé par le CESAC (CESAC, 2001 pour la Martinique ; CESAC 2002 pour la Guadeloupe). Plus particulièrement, les mollusques et crustacés d'eau douce ont aussi fait l'objet de travaux importants (respectivement : Pointier, 2008 ; Lim et al, 2002).

Compte tenu de ces observations et des objectifs fixés par la DCE, la démarche pour développer un indice basé sur le groupe des macroinvertébrés, adapté au contexte antillais et DCE-compatible, a été la suivante :

1) Acquisition des données faunistiques et des données physico-chimiques de l'eau associées, pour chaque station et pour chacune des trois campagnes de terrain ;

2) Réalisation d'une typologie des stations de Martinique et Guadeloupe sur la base de la faune. Elle permet de mettre en évidence des groupes de stations homogènes du point de vue de leurs peuplements. Cette étape met en relation les communautés biologiques avec les pressions et les variables naturelles, et permet de mettre en exergue les paramètres environnementaux naturels ou d'origines anthropiques structurant les communautés.

3) Calcul des métriques descriptives des communautés, et normalisation en « écart à la situation de référence » (EQR) ;

4) Sélection des métriques pertinentes, et agrégation des métriques sélectionnées en un indice multimétrique final ;

5) Test de l'indice développé sur un jeu de données différent (jeu test). Les limites des classes de qualité ont été établies, et l'état écologique de chaque site évalué.

Deux indices multimétriques, propres à la Guadeloupe et à la Martinique (**l'IBMA-971 et l'IBMA-972**) ont été créés en suivant cette démarche au cours des deux projets de recherche en bioindication basée sur les macroinvertébrés benthiques menés en parallèles sur les deux depuis 2010. Une analyse des résultats faunistiques obtenus au cours de ces deux projets de recherche a montré que la Martinique et la Guadeloupe ont plus de 80% de leur faune macroinvertébrée en

commun (Bernadet *et al*., *en préparation*). Cette forte similarité justifie le **développement d'un indice de bio-évaluation commun à ces deux îles** des Antilles françaises.

Nous nous sommes tournés pour ce programme vers la création d'un indice multimétrique. Comme son nom l'indique, il est composé de plusieurs métriques, qui sont basées sur des paramètres décrivant une fonctionnalité de l'écosystème. Les indices multimétriques sont des outils majeurs en bioindication dans le cadre de la DCE (Hering et al. 2006, Lucke et Johnson, 2009). Ils ont le potentiel d'évaluer efficacement et simultanément les réponses des communautés à différentes catégories de pressions puisque les métriques considèrent différentes caractéristiques des communautés qui peuvent répondre de manière spécifique à différentes catégories de pression. En Martinique et en Guadeloupe, de nombreuses stations sont soumises à plusieurs perturbations à la fois (contexte multi-pression), c'est pourquoi le choix d'un indice multimétrique semble pertinent. De plus, cela permet de garder une certaine « cohérence/unité » avec la métropole puisque l'indice de bioévaluation mis au point récemment pour le territoire métropolitain pour satisfaire les exigences de la DCE est multimétrique.

Le présent rapport expose toutes les étapes dans l'acquisition des données et les étapes de l'élaboration d'un indice multimétrique commun à la Martinique et Guadeloupe et compatible avec la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

2. Présentation des données

2.1. Contexte géographique

La Guadeloupe et la Martinique sont situées sur l'arc des Petites Antilles.

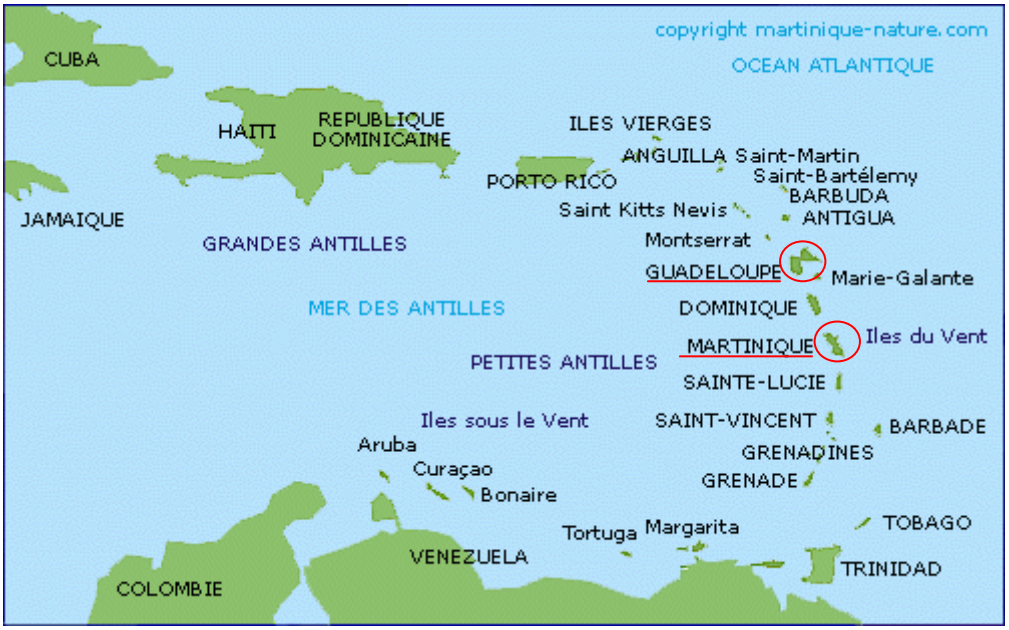


Figure 1 : Situation géographique des Antilles françaises

La Martinique et la Basse-Terre de la Guadeloupe, seule partie de l'île concernée par l'étude, sont toutes deux volcaniques, bien que le volcanisme de la Guadeloupe soit un peu plus actif.

En Martinique, le relief est plus marqué au nord de l'île où se situent la Montagne Pelée et les Pitons du Carbet, tandis que le sud de l'île est caractérisé par les mornes de faible altitude. Les cours d'eau de montagne sont donc également situés au nord de l'île où la pluviométrie est plus importante. Les cours d'eau du sud ont des débits beaucoup moins importants et tous ne sont pas pérennes.

En Guadeloupe, les volcans qui se sont succédé au fil du temps, ont créé une chaine de montagne du nord au sud. Le relief augmente du nord (les volcans les plus anciens) au sud, où se situe la Soufrière (point culminant de l'ile à 1467m), encore en activité. La façade Est de l'île est exposée aux vents dominants : les alizés qui sont des vents chauds et humides d'est à nord-est. Cette « côte au vent » est la plus arrosée et a subit une érosion plus importante créant une petite zone de « plaine » entre les reliefs et le littoral. Au contraire, la « côte sous le vent » de l'île (façade Ouest) reçoit beaucoup moins de pluie, suite à un effet de Foehn marqué qui assèche les masses d'air

avant qu'elles ne passent de l'autre côté du relief. L'érosion y est beaucoup moins importante et les cours d'eau ont des faciès turbulents jusqu'à leur embouchure.

Les deux îles sont soumises à un climat tropical humide caractérisé par deux saisons fondamentales : une saison sèche (le Carême de février à avril) et une saison humide (l'hivernage de juillet à octobre) au cours de laquelle les pluies sont fréquentes et intenses. Ces deux saisons sont séparées par deux intersaisons plus ou moins marquées. C'est également au cours de l'hivernage, que des perturbations prenant naissance dans la zone Est de l'océan atlantique et se développant au-dessus de l'océan atteignent les Antilles, pouvant donner lieu à des phénomènes météorologiques extrêmes.

2.2. Les sites de l'étude

L'étude a été menée sur 52 stations situées sur la Basse-Terre de la Guadeloupe et sur 65 sites en Martinique.

En Guadeloupe, sur les 52 stations, 20 stations font partie du réseau de contrôle de surveillance (RCS), 4 au réseau de référence, 3 font partie du réseau de suivi des pesticides (nommé réseau GREPP pour « Groupe Régional d'Etude des Pollutions par les produits Phytosanitaires »).

En Martinique, 38 des sites font partie des réseaux nationaux : 9 sont intégrés au réseau des sites de référence (RSR), 22 au réseau de contrôle de surveillance (RCS), et 7 font partie du réseau de suivi des pesticides. Ces réseaux sont gérés par la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) ou par l'Office De l'Eau (ODE) Martinique.

Un réseau de sites complémentaires a été mis en place sur chacune des deux îles afin de répondre aux besoins de l'étude. Ces sites ciblent plus précisément un panel de pollutions ou conditions physico-chimiques particulières, et permettent de disposer de gradients de perturbations. Les perturbations ciblées sont les suivantes :

- pollutions liées aux rejets de stations d'épuration ;
- pollutions domestiques diffuses : pollutions liées aux rejets d'eaux usées dans l'environnement. Les stations sont situées dans des zones densément peuplées. Il faut savoir qu'en Martinique, 50 % des eaux usées ne sont pas collectées par un réseau public de collecte, et 40% pour la Guadeloupe (source SDAGE Guadeloupe). Elles sont souvent traitées dans un système d'assainissement non collectif plus ou moins performant, ou rejetées directement dans la nature ;
- pollutions par les pesticides : les stations font partie des réseaux nationaux « Pesticides » en Martinique et « Réseau GREPP » (Groupe Régional d'Etude des Pollutions par les produits Phytosanitaires) en Guadeloupe. Elles sont situées dans des zones ou l'agriculture est intensive. Les principales cultures sont celles de la banane, de la canne à sucre, et les cultures maraichères.
- pollutions industrielles : stations situées en aval immédiat de rejets industriels (ex. industrie agroalimentaire telles que distillerie ou confiturerie, station essence) ;
- conditions physico-chimiques particulières : stations exemptées de pollution anthropique et pouvant compléter alors le réseau de référence existant, et stations présentant naturellement des conditions physico-chimiques particulières (conductivité naturellement très élevée).

Ces stations ont été choisies avec beaucoup de soin car les préférenda écologiques qui seront attribués à chaque espèce dépendent de la diversité des sites prospectés. Les profils fréquentiels des espèces peuvent être totalement biaisés si les caractéristiques environnementales des cours d'eau de Guadeloupe n'ont pas été étudiées de la manière la plus exhaustive possible.

L'ensemble des sites est présenté dans le Tableau 1 (Guadeloupe) et le Tableau 2 (Martinique).

Les cartes ci-après permettent de visualiser la localisation des stations sur les îles de Martinique et Guadeloupe (Figure 2 et Figure 3).

Tableau 1. Liste des stations échantillonnées en Guadeloupe

Station	Cours d'eau	Code station	Latitude N WGS84	Longitude W WGS84	Réseau	
Pont RN	Grande Rivière de Capesterre aval	CAAg	653063	1776072		RCS
Pont RN	Rivière du Grand Carbet	GCPg	652226	1772126		RCS
Pont embouchure	Rivière du Galion	GAPg	636745	1767958		RCS
Amont SIS	Grande Rivière à Goyaves aval 1	GGAg	641937	1798992		RCS
Pont RN	Rivière Grande Plaine aval	GPAg	630917	1792374		RCS
Choisy	Rivière aux Herbes	HECg	640224	1771811		RCS
Amont pont RD	Rivière Moustique Petit-Bourg aval	MPPg	649375	1789457		RCS
Pont RN	Rivière des Pères	PEEg	634416	1770515		RCS
Amont embouchure	Grande Rivière de Vieux-Habitants aval	VHEg	631944	1776078		RCS
Vanibel	Rivière du Plessis	PLVg	635585	1775125		RCS
Pont RN	Rivière Nogent aval	NOAg	634594	1808412		RCS
Site INRA	Rivière Bras David aval	BDIg	642361	1791187		RCS
Maison de la forêt	Bassin amont de la Grande Rivière à Goyave - Rivière Bras David	BDMg	639600	1788738		RCS
Moscou	Rivière Grande Anse aval	GAMg	643544	1771137		RCS
Par la section Diane	Rivière La Lézarde aval	LEDg	645544	1790123		RCS
Trianon	Rivière Moustique Petit-Bourg amont	MPTg	646780	1787192		RCS
Prise d'eau	Bassins amont des Rivières des Vieux Habitants et de Beaugendre	VHGg	6336656	1779190		RCS
Amont Séverin	Rivière du Premier Bras aval	PBSg	638551	1799284		RCS
Ravine Chaude - radier avant confluence GRG	Rivière Bras de Sable aval	BSCg	642025	1794946		RCS
Jardins d'eau	Rivière La Rose aval	ROJg	650285	1785973		RCS
Débauchée	Rivière Moustique Ste Rose	MSDg	639717	1802559	RC	conditions préservées
amont prise d'eau	Grande Rivière à Goyave	GGPg	642154	1788151	RC	conditions préservées
La Digue	Grande Rivière de Capesterre	CAPg	648571	1777387	RC	conditions préservées
Bassin bleu	Rivière du Galion	GABg	642278	1771386	RC	conditions préservées
Matouba *	Rivière Rouge	ROMg	640063	1774543	RC	conditions particulières
amont embouchure	Rivière Moustique Ste Rose	MSAg	641722	1803204	RC	Réseau GREPP
amont pont D6	Rivière Grande Anse aval	GAAg	643442	1765446	RC	Réseau GREPP
Marché	Rivière aux Herbes	HEMg	635887	1768743	RC	Réseau GREPP
Bellevue	Rivière Baret	BABg	639219	1803393	RC	Pollution domestique (STEP)
La Boucan	Ravine Grand Boucan	GBBg	642168	1800174	RC	Pollution domestique (STEP)
Petit-Bourg	Ravine de Onze Heure	OHPg	650039	1790495	RC	Pollution domestique (STEP)
pont D33	Petite Rivière à Goyave	PGGg	652725	1783678	RC	Pollution domestique (STEP)
Petit Pérou	Rivière du Pérou	PEPg	652664	1775452	RC	Pollution domestique (STEP)
pont RN2	Rivière du Plessis	PLPg	633930	1773402	RC	Pollution diffuse
pont RN2	Rivière de Beaugendre	BEPg	632286	1778411	RC	Pollution diffuse
gué	Rivière Petite Plaine	PPGg	631215	1794143	RC	Pollution diffuse
Duquerry	Rivière Moustique Petit-Bourg	MPDg	647495	1788701	RC	pollution industrielle de type agro-alimentaire
Bisdary	Rivière Sens	SEBg	638240	1768187	RC	pollution industrielle de type agro-alimentaire
aval élevage de Ouassous	Ravine bleue	RBAg	630391	1794194	RC	pollution industrielle de type agro-alimentaire

Confiturerie	Rivière Petite Plaine	PPCg	633615	1794729	RC	pollution industrielle de type agro-alimentaire
Espérance	Rivière Salée	SAEg	638066	1804796	RC	pollution industrielle autre
ZA Lamentin	Ravine Grossou	GRLg	643122	1799125	RC	pollution industrielle autre
Concessions, amont prise d'eau	Rivière du Pérou	PECg	648141	1775739	RC	Stations supplémentaires
Dumanoir, amont prise d'eau	Rivière du Grand Carbet	GCDg	648176	1773970	RC	Stations supplémentaires
Bourg Capesterre	Rivière du Pérou	PEBg	653641	1775485	RC	Stations supplémentaires
amont lotissement moreau	Rivière Moreau	MOAg	648802	1782898	RC	Stations supplémentaires
Mineurs	Rivière Moreau	MOMg	649808	1783687	RC	Stations supplémentaires
radier Habituée Negresse	Rivière Lostau	LORg	632594	1786932	RC	Stations supplémentaires
amont confiturerie/chapelle	petite plaine	PPAg	633840	1794658	RC	Stations supplémentaires
Solitude	Rivière Nogent	NOSg	633912	1805298	RC	Stations supplémentaires
St charles, amont pont	Rivière sens	SESg	638909	1768946	RC	Stations supplémentaires
pont D6, aval éloignée	Rivière sens	SEPg	637148	1767782	RC	Stations supplémentaires

**La station sur la rivière rouge Matouba a été éliminée pendant le traitement des données. En effet, cette station étant la seule représentant dans la catégorie des conditions particulières n'entrait pas dans le cadre des analyses statistiques avec des résultats qualifiés « d'outliers[1] ». La création de l'indice s'est donc portée sur 51 stations.*

[1] Terme anglais pour désigner des résultats marginaux faussant l'analyse statistique.

Tableau 2. Liste des stations échantillonnées en Martinique.

Station	Cours d'eau	Code station	Latitude N	Longitude W	Réseau	
			WGS84			
Tunnel Didier	Rivière Case-Navire	CAN	705162	1621467	RSR	
Source Pierrot	Rivière du Carbet	CAR	701674	1629625	RSR	
Amont Habitation Céron	Rivière de l'Anse Céron	CER	691794	1640424	RSR	
Gommier	Rivière du Galion	GAL	711262	1629583	RSR	
Trou Diablesse	Grande Rivière	GRD	696324	1644090	RSR	
Trace des Jésuites	Rivière du Lorrain	LOR	706115	1631217	RSR	
Palourde	Rivière Lézarde	PAL	710050	1627862	RSR	
Beauregard	Grande Rivière Pilote	PIL	729013	1606072	RSR	
Pont RD5 La Broue	Rivière du Vauclin	VAU	730829	1608795	RSR	
RD10 Habitation Céron	Rivière de l'Anse Céron	ACR	691734	1640376	RCS	
Pont RD24 St-Marie	Rivière de Bezaudin	BER	714639	1634206	RCS	
Fond Baise	Rivière du Carbet	CAF	697164	1627610	RCS	
Pr AEP-Vivé Capot	Rivière Capot	CAV	704748	1640542	RCS	
Case Navire (bourg Schoelcher)	Rivière Case-Navire	CBN	704663	1617496	RCS	
Petit Bourg	Rivière les Coulisses	COP	719588	1609280	RCS	
Grand Galion	Rivière du Galion	GAG	719611	1628057	RCS	
Amont stade Grand'Rivière	Grande Rivière	GRS	696307	1644431	RCS	
Gué de la Désirade	Rivière Lézarde	LEG	715897	1622096	RCS	
Pont RN1	Rivière Lézarde	LEP	717040	1617140	RCS	
Amont confluence Pirogue	Rivière Petit Nicolas	LOP	705760	1630873	RCS	
Séguineau	Rivière du Lorrain	LOS	710261	1639662	RCS	
Pont de Chaîne	Rivière Madame	MAC	707832	1616898	RCS	
Pont de Montgérald	Rivière Case-Navire	MOM	704666	1617492	RCS	
Dormante	Rivière Oman	OMD	719698	1602495	RCS	
Aval bourg Rivière Pilote	Grande Rivière Pilote	PIB	725514	1602043	RCS	
Amont Bourg Rivière Pilote	Grande Rivière Pilote	PIBam	726657	1603264	RCS	
Pont Belle-Ile	Rivière Petite Lézarde	PLB	716103	1623345	RCS	
Pocquet Pont RN1	Rivière Pocquet	POR	704179	1643574	RCS	
Pont Madeleine	Petite Rivière Pilote	PPP	725757	1603484	RCS	
Brasserie Lorraine	Petite Rivière	PRB	718203	1617851	RCS	
St-Pierre (ancien pont)	Rivière Roxelane	ROS	696106	1631298	RCS	
Absalon	Ravine Absalon	ABS	705065	1623519	RC	Pas d'impact anthropique
Pont de l'Alma	Rivière Blanche	BLA	705302	1626424	RC	Pas d'impact anthropique
Couleuvre	Rivière Anse Couleuvre	COC	691790	1641408	RC	Pas d'impact anthropique
Deux Choux	Rivière du Carbet	CAD	704306	1628907	RC	Pas d'impact anthropique
Quartier Propreté	Rivière Capot	PRO	703700	1631947	RC	Pas d'impact anthropique
Amont confluence Ferré	Rivière Madame	ROX	699491	1634967	RC	Pas d'impact anthropique
Pont Massel	Rivière Massel	MAP	731336	1604255	RC	Géochimique particulière (conductivité naturellement élevée)

Paquemar	Rivière paquemar	PAQ	731919	1606276	RC	Géochimique particulière (conductivité naturellement élevée)
STEP Carbet	Rivière du Carbet	CAS	696010	1626951	RC	Station d'épuration
STEP Vauclin	Rivière Grande Case	GCS	729886	1611734	RC	Station d'épuration
Aval Eloigné GCS	Rivière Grande Case	GCSav	729567	1612435	RC	Station d'épuration
Ravine Fond Henry STEP	Ravine de Fond Henry	FHS	723676	1600530	RC	Station d'épuration
Fond Lahaye STEP	Rivière Fond Lahaye	FLS	703782	1618576	RC	Station d'épuration
La Tracée STEP	Rivière La Tracée	LTS	715694	1627831	RC	Station d'épuration
Desroses	Rivière Desroses	DES	722536	1617050	RC	Pollution domestique diffuse
Volcart (amont OMD)	Rivière Madame	MAV	721492	1603104	RC	Pollution domestique diffuse
Baudelle	Petite Rivière Pilote	PPB	725094	1606189	RC	Pollution domestique diffuse
Fond St Jacques	Rivière Saint-Jacques	SJF	714088	1636705	RC	Pollution domestique diffuse
Pont McIntosh	Rivière Capot	CAM	702511	1634674	RC	Réseau pesticides
Feral	Rivière les Coulisses	COF	720347	1609549	RC	Réseau pesticides
BPB amont	Rivière de Basse-Pointe	BPBam	701893	1642429	RC	Réseau pesticides
Bourg Basse Pointe Pont RN1	Rivière de Basse-Pointe	BPB	702822	1644504	RC	Réseau pesticides
Deux Courants pont Séraphin	Rivière Deux Courants	DCS	725931	1616649	RC	Réseau pesticides
Pont RN1	Rivière Rouge	ROR	706185	1641934	RC	Réseau pesticides
Fontane	Rivière du Simon	SIF	728309	1613162	RC	Réseau pesticides
Décharge Le Poteau	Rivière Capot	CAP	705429	1641927	RC	Pollution industrielle
Abattoir de volailles	Rivière Deux Courants	DCA	725008	1615429	RC	Pollution industrielle
Porcherie SOPODA	Rivière François	FRP	702794	1634988	RC	Pollution industrielle
Siapoc Peintures	Rivière du Galion	GAS	717018	1629620	RC	Pollution industrielle
Longvilliers Station Total	Rivière du Longvilliers	LOT	714566	1618959	RC	Pollution industrielle
Distillerie La Mauny	Petite Rivière Pilote	PPM	725529	1604780	RC	Pollution industrielle
Aval Brasserie Lorraine	Petite Rivière	PRBav	718202	1617729	RC	Pollution industrielle
Distillerie Depaz	Rivière Roxelane	ROD	697460	1631825	RC	Pollution industrielle
Deynel Confiturerie	Rivière la Tracée	TRD	716378	1628171	RC	Pollution industrielle

Figure 2. Carte de la Basse-Terre - localisation des stations du réseau de contrôle de surveillance et des stations complémentaires.

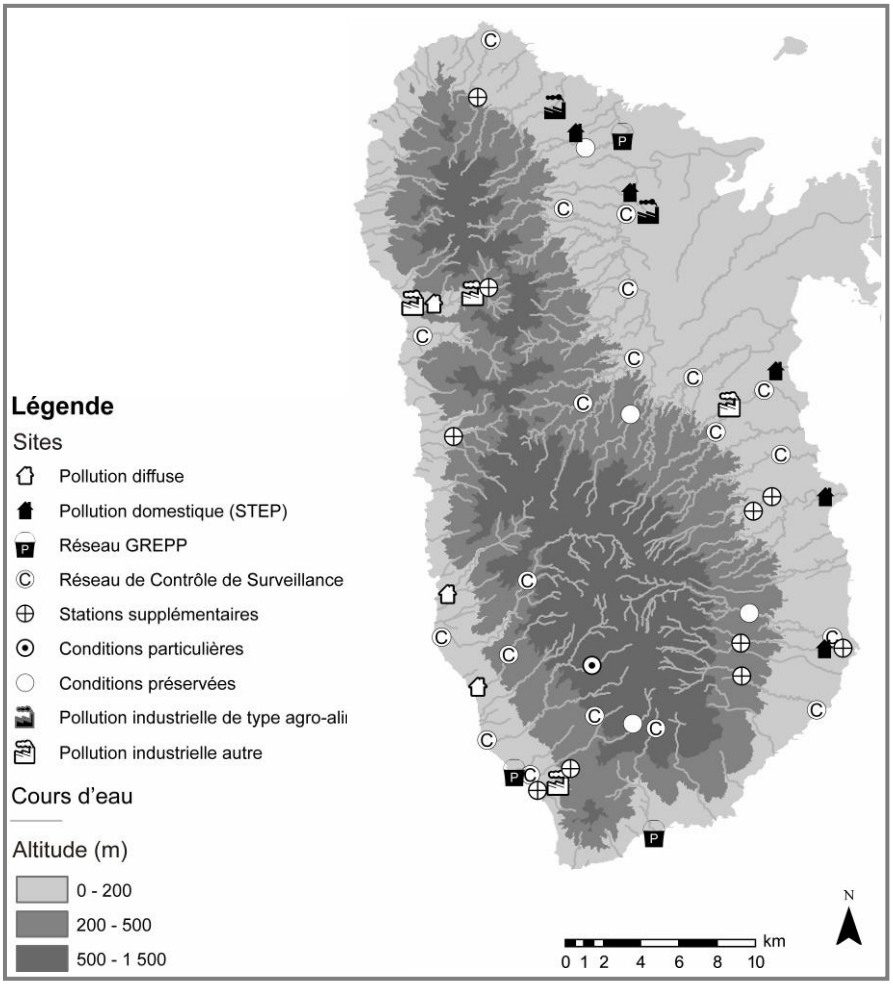
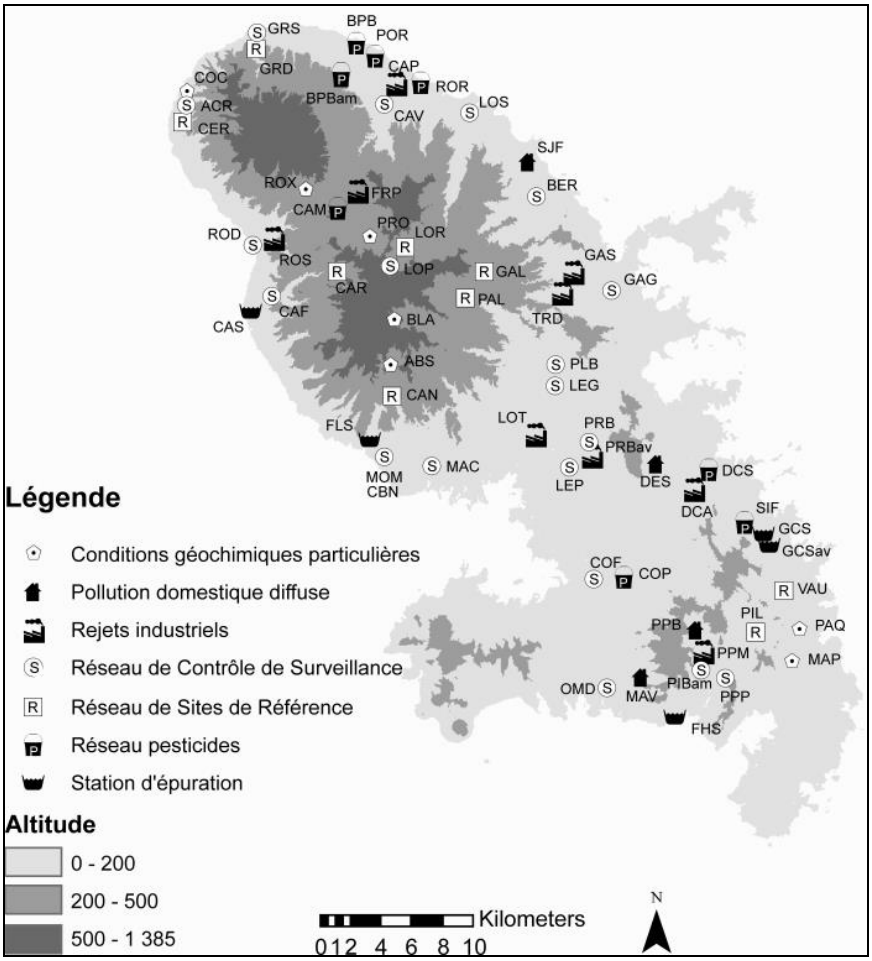


Figure 3. Carte de la Martinique - localisation des stations de l'étude.



2.3. Fréquence des prélèvements

Initialement le programme d'étude prévoyait 4 campagnes de prélèvements (eau et faune macroinvertébrés) : 2 campagnes par an au carême et à l'hivernage sur 2010 et 2011. Les mauvaises conditions météorologiques et hydrologiques de l'année 2010 ont empêché le bon déroulement des campagnes de prélèvement de l'hivernage sur les deux îles, mais aussi la campagne de carême en Guadeloupe. Finalement, des stations n'ont pu être prélevées sur les deux îles. Une comparaison des données faunistiques entre la campagne de carême et la campagne d'hivernage a été réalisée. Elle montre qu'un plus grand nombre de taxons, et en plus grande abondance, sont retrouvés au carême comparé à l'hivernage. Compte tenu de ce résultat et des difficultés logistiques à réaliser les prélèvements en hivernage, il a été décidé de ne plus réaliser de campagne de prélèvements en saison d'hivernage.

Pour compenser, la campagne de prélèvement suivante a été enrichie de nouveaux sites (carême 2011), et une campagne complète de prélèvement a été mise en place en Guadeloupe au carême 2012, en accord avec les partenaires au cours de l'étude.

Les tableaux suivants récapitulent le suivi de chacune des stations au cours de l'étude.

Tableau 3 : Suivi des stations de Guadeloupe sur la durée de l'étude

Cours d'eau	Station	Code station	prélèvements faune			
			Carême 2010	Hivernage 2010	Carême 2011	Carême 2012
Grande Rivière de Capesterre aval	Pont RN	CAAg	X	X	x	x
Rivière du Grand Carbet	Pont RN	GCPg	X	X	x	x
Rivière du Galion	Pont embouchure	GAPg	X	X	x	x
Grande Rivière à Goyaves aval 1	Amont SIS	GGAg	X	x	x	x
Rivière Grande Plaine aval	Pont RN	GPAg	X	X	x	x
Rivière aux Herbes	Choisy	HECg	X	X	x	x
Rivière Moustique Petit-Bourg aval	Amont pont RD	MPPg	X	X	x	x
Rivière des Pères	Pont RN	PEEg	X	X	x	x
Grande Rivière de Vieux-Habitants aval	Amont embouchure	VHEg	X	X	x	x
Rivière du Plessis	Vanibel	PLVg	X	x	x	x
Rivière Nogent aval	Pont RN	NOAg	X	X	x	x
Rivière Bras David aval	Site INRA	BDIg	X		x	x
Bassin amont de la Grande Rivière à Goyave - Rivière Bras David	Maison de la forêt	BDMg	X	X	x	x
Rivière Grande Anse aval	Moscou	GAMg	X	X	x	x
Rivière La Lézarde aval	Par la section Diane	LEDg	X	X	x	x
Rivière Moustique Petit-Bourg amont	Trianon	MPTg	X	X	x	x
Bassins amont des Rivières des Vieux Habitants et de Beaugendre	Prise d'eau	VHGg	X	X	x	x
Rivière du Premier Bras aval	Amont Séverin	PBSg	X	X	x	x
Rivière Bras de Sable aval	Ravine Chaude - radier avant confluence GRG	BSCg	X	X	x	x
Rivière La Rose aval	Jardins d'eau	ROJg	X	X	x	x
Rivière Moustique Ste Rose	Débauchée	MSDg		x	x	x
Grande Rivière à Goyave	amont prise d'eau	GGPg			x	x
Grande Rivière de Capesterre	La Digue	CAPg			x	x
Rivière du Galion	Bassin bleu	GABg			x	x

Rivière Rouge	Matouba *	ROMg			x	x
Rivière Moustique Ste Rose	amont embouchure	MSAg		x	x	x
Rivière Grande Anse aval	amont pont D6	GAAg		x	x	x
Rivière aux Herbes	Marché	HEMg		x	x	x
Rivière Baret	Bellevue	BABg		x	x	x
Ravine Grand Boucan	La Boucan	GBBg		x	x	x
Ravine de Onze Heure	Petit-Bourg	OHPg			x	x
Petite Rivière à Goyave	pont D33	PGGg			x	x
Rivière du Pérou	Petit Pérou	PEPg		x	x	x
Rivière du Plessis	pont RN2	PLPg			x	x
Rivière de Beaugendre	pont RN2	BEPg		x	x	x
Rivière Petite Plaine	gué	PPGg		x	x	x
Rivière Moustique Petit-Bourg	Duquerry	MPDg			x	x
Rivière Sens	Bisdary	SEBg			x	x
Ravine bleue	aval élevage de Ouassous	RBAg		x	x	x
Rivière Petite Plaine	Confiturerie	PPCg		x	x	x
Rivière Salée	Espérance	SAEg		x	x	x
Ravine Grossou	ZA Lamentin	GRLg		x	x	x
Rivière du Pérou	Concessions, amont prise d'eau	PECg			x	x
Rivière du Grand Carbet	Dumanoir, amont prise d'eau	GCDg			x	x
Rivière du Pérou	Bourg Capesterre	PEBg			x	x
Rivière Moreau	amont lotissement moreau	MOAg			x	x
Rivière Moreau	Mineurs	MOMg			x	x
Rivière Lostau	radier Habituée Negresse	LORg			x	x
petite plaine	amont confiturerie/chapelle	PPAg			x	x
Rivière Nogent	Solitude	NOSg			x	x
Rivière sens	St charles, amont pont	SESg			x	
Rivière sens	pont D6, aval éloignée	SEPg			x	x

Tableau 4. Suivi des stations de Martinique sur la durée de l'étude

Station	Code station	Prélèvements (eau + faune)		
		Carême 2010	Hivernage 2010	Carême 2011
Tunnel Didier	CAN	×	×	×
Source Pierrot	CAR	×	×	×
Amont Habitation Céron	CER	×	×	×
Gommier	GAL	×	×	×
Trou Diablesse	GRD	×	×	×
Trace des Jésuites	LOR	×	×	×
Palourde	PAL	×	×	×
Beauregard	PIL	×	×	×
Pont RD5 La Broue	VAU	×	×	×
RD10 Habitation Céron	ACR	×	×	×
Pont RD24 St-Marie	BER	×		×
Fond Baise	CAF	×	×	×
Pr AEP-Vivé Capot	CAV	×	×	×
Case Navire (bourg Schoelcher)	CBN	×	×	×
Petit Bourg	COP	×	×	×
Grand Galion	GAG	×		×
Amont stade Grand'Rivière	GRS	×	×	×
Gué de la Désirade	LEG	×	×	×
Pont RN1	LEP	×		×
Amont confluence Pirogue	LOP	×	×	×
Séguineau	LOS	×	×	×
Pont de Chaîne	MAC	×		×
Pont de Montgérald	MOM	×	×	×
Dormante	OMD	×	×	×
Aval bourg Rivière Pilote	PIB	×	×	×
Amont Bourg Rivière Pilote	PIBam			×
Pont Belle-Ile	PLB	×	×	×
Pocquet Pont RN1	POR	×	×	×
Pont Madeleine	PPP			×
Brasserie Lorraine	PRB	×		×
St-Pierre (ancien pont)	ROS	×	×	×
Absalon	ABS	×	×	×
Pont de l'Alma	BLA	×	×	×
Couleuvre	COC	×		×
Deux Choux	CAD	×	×	
Quartier Propreté	PRO			×
Amont confluence Ferré	ROX			×
Pont Massel	MAP			×
Paquemar	PAQ	×	×	×
STEP Carbet	CAS	×		×
STEP Vauclin	GCS	×	×	×
Aval Eloigné GCS	GCSav			×

Ravine Fond Henry STEP	FHS	×	×	×
Fond Lahaye STEP	FLS	×	×	×
La Tracée STEP	LTS	×	×	
Desroses	DES	×	×	×
Volcart (amont OMD)	MAV			×
Baudelle	PPB			×
Fond St Jacques	SJF	×	×	×
Pont McIntosh	CAM	×	×	×
Feral	COF			×
BPB amont	BPBam			×
Bourg Basse Pointe Pont RN1	BPB	×	×	×
Deux Courants pont Séraphin	DCS	×	×	×
Pont RN1	ROR	×		×
Fontane	SIF	×	×	×
Décharge Le Poteau	CAP	×		×
Abattoir de volailles	DCA	×	×	
Porcherie SOPODA	FRP	×	×	×
Siapoc Peintures	GAS	×	×	×
Longvilliers Station Total	LOT	×	×	×
Distillerie La Mauny	PPM	×	×	×
Aval Brasserie Lorraine	PRBav			×
Distillerie Depaz	ROD	×		×
Deynel Confiturerie	TRD	×		×

2.4. Les prélèvements d'eau et les données physico-chimiques de l'eau

Au niveau de chaque station et durant chaque campagne de terrain, la température, le pH, la conductivité et l'oxygénation (mg/L et % de saturation) de l'eau ont été mesurés in situ à l'aide d'une sonde multi-paramètres, dans la veine centrale du chenal principal.

Des prélèvements d'eau ont aussi été réalisés, conformément au guide technique « le prélèvement d'échantillons en rivière – Techniques d'échantillonnage en vue d'analyses physico-chimiques » pour être analysés en laboratoire. Les prélèvements d'eau des stations des réseaux de référence et RCS ont été organisés et supervisés par les Office de l'eau de Martinique et Guadeloupe. Les prélèvements des macroinvertébrés sur ces stations ont été programmés le plus simultanément possible. Concernant les stations du réseau complémentaire, les prélèvements d'eau ont été réalisés par Asconit Consultants en même temps que les prélèvements des macroinvertébrés.

Pour la Guadeloupe, le décalage des campagnes de prélèvement (cf. paragraphe précédent) a engendré un décalage dans le prélèvement de l'eau par L'Office de l'Eau pour le RCS (les

prélèvements des macroinvertébrés ont été réalisés en mars 2012 alors que les prélèvements d'eau ont été réalisés en septembre 2012). La construction de l'indice s'est basée sur les données physico-chimiques de 2011, elle n'est donc pas impactée par ce biais. A noter que la physico-chimie du réseau RCS est relativement stable depuis sa création.

21 paramètres ont été mesurés par l'institut Pasteur de Guadeloupe et le Laboratoire Départemental d'Analyses de Martinique (cas des stations du réseau de référence et RCS), et par le Laboratoire Santé Environnement Hygiène de Lyon (LSEHL-CARSO) (cas du des stations des réseaux complémentaires). La liste des paramètres, ainsi que les méthodes, normes, et limites de quantification apparaissent dans le Tableau 5.

Tous les résultats d'analyses sont présentés en annexes (ANNEXE 2 Tableau 14 et ANNEXE 3 Tableau 15 pour la Guadeloupe et la Martinique, respectivement).

Tableau 5 : Méthode d'analyse, normes et limites de quantification. Analyses pratiquées sur les échantillons d'eau provenant des stations du Réseau de Contrôle de Surveillance et du Réseau Complémentaire.

Paramètre	Unité	Norme	Limite de Quantification (LQ)	Méthode de mesure
DBO_5	mg/l O_2	NF EN 1899-2	0.5	Sans dilution
Demande Chimique en Oxygène	mg/l O2	NF T90-101	10	Potentiométrie
Carbone organique Total	mg/l C	NF EN 1484	0.2	Oxydation sulfochromique
Ammonium	mg/l NH_4	NF T 90-015-2	0.05	Spectrophotométrie
Azote Kjeldahl	mg/l N	NF EN 25663	0.5	Méthode après minéralisation au sélénium
Nitrites	mg/l NO_2^-	NF EN ISO 13395	0.02	Analyse en flux et spectrométrie
Nitrates	mg/l NO_3^-	NF EN ISO 13395	0.1	Analyse en flux et spectrométrie
Orthophosphates	mg/l PO_4^{3-}	NF EN ISO 6878	0.06	Méthode spectrométrique
Phosphore total	mg/l	NF EN ISO 6878	0.06	Méthode spectrométrique
Matières en suspension	mg/l	NF EN 872	2	Gravimétrie après filtration
Turbidité	NTU	NF EN ISO 7027	0.2	Méthode néphélométrique
Calcium	mg/l Ca^{2+}	NF EN ISO 11885	0.5	Chromatographie ionique
Magnésium	mg/l Mg^{2+}	NF EN ISO 11885	0.1	Chromatographie ionique
Sodium	mg/l Na^+	NF T90-136 NF EN ISO 11885	1	Chromatographie ionique
Potassium	mg/l K^+	NF T90-136 NF EN ISO 11885	0.5	Chromatographie ionique
Chlorures	mg/l Cl^-	NF EN ISO 10304-1	0.1	Chromatographie ionique
Sulfates	mg/l $SO4^{2-}$	NF EN ISO 10304-1	0.2	Chromatographie ionique
Bicarbonates	mg/l HCO_3^-	NF T90-036	0.5	Potentiométrie
TAC	d°F	NF T90-036	0.1	Potentiométrie
TH	d°F	NF T 90-003	0.5	Méthode titrimétrique à l'EDTA
SiO_2	mg/l SiO_2	NF T90-007	1	Méthode colorimétrique

2.5. Protocole de prélèvement des macroinvertébrés benthiques

Conformément aux prescriptions du cahier des charges, le protocole de prélèvement de la faune des macroinvertébrés benthiques s'est opéré selon la norme XP T 90-333 (AFNOR 2009) utilisée pour la métropole.

Sur chaque station, douze prélèvements représentatifs des principaux habitats (couple substrat/vitesse du courant) repérés sur la station ont été réalisés à l'aide d'un filet Surber (vide de maille : 500 µm ; surface échantillonnée : 1/20 de m²), au prorata des surfaces de recouvrement relatives des différents habitats. Au préalable, chaque station a été parcourue sur toute sa longueur afin d'évaluer les paramètres hydromorphologiques (au besoin) ainsi que les pourcentages de recouvrement des différents substrats (systématiquement). Les prélèvements unitaires ont été différenciés soit 12 pots par station.

Les habitats marginaux (surface relative <5% de la surface de la station) et dominants (≥5%) ont alors été échantillonnés, ce qui permet d'obtenir une image globale moyenne du peuplement d'invertébrés de la station.
L'échantillonnage au final se compose de 3 phases : « A » pour les substrats marginaux, « B » pour les substrats dominant en fonction de leur habitabilité et « C » pour les substrats dominant au prorata de leurs surfaces de recouvrement (cf. AFNOR 2009). A l'issu de l'échantillonnage, un plan d'échantillonnage représentatif de la mosaïque d'habitats présents sur la station est obtenu.
Une fois prélevés, les échantillons ont été fixés au formaldéhyde (concentration finale 4%) en vue de la détermination en laboratoire des organismes qui les composent.

2.6. Techniques de tri et détermination de la faune

Les prélèvements sont traités au laboratoire conformément à la norme XP T 90-388 (AFNOR 2010). Les individus sont extraits puis déterminés sous loupe binoculaire généralement au niveau du genre ou de l'espèce, excepté pour les diptères et oligochètes qui sont déterminés à un niveau taxonomique supérieur comme la famille ou l'ordre, ou la tribu pour les Chironominae (ANNEXE 1 Tableau **13**). Les ouvrages de base pour la détermination des macro-invertébrés des Antilles sont les clefs martiniquaises et guadeloupéennes établies par CESAC (CESAC 2001 et 2002) et la clé Nord Américaine de Merritt & Cummins (Merritt *et al.*, 2008).

La majorité des échantillons a été traitée au laboratoire de l'agence Asconit Consultants de Martinique, excepté (i) une partie des échantillons de la campagne d'hivernage 2010 qui a été traitée par le bureau d'étude Hydreco (Guyane) et (ii) les échantillons de la campagne de carême 2012 de Guadeloupe qui ont été traités dans le laboratoire de l'agence Asconit Toulouse et par Hydreco (Guyane).

2.7. Occupation des sols sur les bassins versants des sites d'études

Un Système d'Information Géographique (SIG, ESRI ArcGIS 10) a été utilisé afin de caractériser les sites. Aussi, l'occupation des sols sur les bassins versants des cours d'eau au niveau de chacune des stations a été déterminée. Trois variables de couverture/terrains ont été extraites pour chaque station :

- le pourcentage de terres recouvertes par la forêt (zones occupées par des forêts de feuillus, milieux à végétation arbustive et/ou herbacée) ;
- le pourcentage de terres urbanisées (zones industrielles ou commerciales et réseaux de communications; espaces verts artificialisés, non agricoles) ;
- le pourcentage de terres agricoles (terres arables, cultures permanentes et prairies).

Ces pourcentages ont été estimés sur un corridor riverain (zone tampon) de 1000 m de long et de 100 m de large, situé immédiatement en amont de la station (voir Compin et Céréghino (2007) pour les détails méthodologiques et théoriques). Les informations numériques d'occupation des sols ont été extraites de la base de données européenne Corine Land Cover pour les Départements d'Outre-Mer (CLC 2006, ministère de l'écologie, http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/t/telechargement-donnees-sig-corine-land-cover-dom.html, voir aussi Cruiskshank et Tomlison (1996)). Cette base de données est obtenue par photointerprétation humaine d'images satellites orthorectifiées de précision 20 mètres. Elle fournit des couches cartographiques thématiques SIG, en particulier 24 classes d'occupation du sol avec une cartographie à l'échelle de 1/100 000.

Les données sont présentées en Annexe 4 et 5 (Tableau 16 et 17).

3. Développement de l'indice

La typologie (classification) des stations permet de classer des sites en regroupements homogènes du point de vue de certaines caractéristiques naturelles. Elle est l'élément essentiel permettant de définir les conditions de référence et le bon état écologique, qui sont établis par « type de milieu » (regroupement de sites présentant des caractéristiques communes). Elle permet aussi de tenir compte de la variabilité environnementale des communautés et de s'en affranchir dans une certaine mesure.

Dans un premier temps nous avons sélectionné les variables physico-chimiques les plus pertinentes, puis établi une **biotypologie** des cours d'eau afin de caractériser les sites d'études par la similarité de leurs communautés d'invertébrés, et d'identifier les sites de référence.

Dans un second temps, nous avons calculé et identifié des métriques biologiques (basées sur la taxonomie, la structure quantitative des communautés ou les traits d'histoire de vie) répondant significativement aux pressions anthropiques selon la qualité de l'eau et la qualité d'habitat des sites. Les métriques les plus pertinentes ont été sélectionnées et combinées en un indice final.

Le jeu de données a été divisé en un **jeu de données « d'apprentissage »** servant au développement de l'indice, et un **jeu de données « test »** servant à tester la stabilité et la robustesse du nouvel indice développé. Nous avons donc ensuite testé le nouvel indice sur le jeu de données test et effectué une comparaison avec l'indice de Shannon, couramment utilisé pour évaluer la qualité de milieux.

La campagne de carême 2011 étant celle qui compte le plus grand nombre de stations pour les deux îles (113 stations au total, 1356 prélèvements), les données qui y sont associées ont été prises pour « jeu d'apprentissage ». Les données de carême 2010 et carême 2012 (50 stations, 600 prélèvements) ont servi de jeux de données « tests » pour la Martinique et la Guadeloupe, respectivement.

Le nouvel indice multimétrique a été construit selon une méthodologie se basant en grande partie sur le modèle biostatistique utilisé pour la construction du nouvel indice multimétrique métropolitain (I_2M_2 ; Mondy *et al.*, 2012).

3.1. Sélection des variables environnementales

Dans le contexte d'acquisition très récente de la connaissance de base sur la taxonomie et l'écologie des espèces de macroinvertébrés présents en Guadeloupe, l'objectif réaliste assigné à cet indice est de réaliser un diagnostic fiable de **l'altération physico-chimique** des sites, à l'exception des altérations toxiques liées aux micropolluants (pesticides, métaux). Faute de connaissances sur les réponses écologiques des macroinvertébrés Antillais aux micropolluants, cet aspect ne peut être actuellement traité. De même, faute d'informations sur les altérations hydromorphologiques à chacune des stations, cet aspect-là n'a pas été pris en compte.

Une analyse des corrélations entre variables physico-chimiques sur les données de 2011 a été réalisée, afin d'éliminer les variables redondantes et de simplifier le jeu de données en 14 variables, les plus pertinentes pour qualifier la qualité de l'eau. Ces paramètres sont couramment utilisés pour étudier la qualité physico-chimique des eaux douces.

En plus du pH, de la conductivité et de l'oxygène dissous mesurés in situ, les descripteurs physico-chimiques retenus ont donc été les suivants :

Turbidité (exprimée en NTU): La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules en suspension qui la troublent. Plus la turbidité est élevée et moins la photosynthèse pourra avoir lieu, influençant directement la production primaire de l'écosystème.

Teneur en MES (exprimée en mg/L) : Bien sûr dépendante en partie des conditions géologiques, pédologiques et des pentes, la teneur en MES, surtout hors épisodes de crues pendant lesquels l'échantillonnage est déconseillé, peut être représentative des usages agricoles et rendre compte, sur des valeurs moyennes au site, d'une altération anthropique liée à l'érosion.

DBO_5 (exprimée en mg d'O_2/L) : C'est l'un des descripteurs primordiaux pour marquer les altérations anthropiques, et notamment les rejets de matière organique fortement biodisponible et minéralisable. La déplétion de la saturation en O_2 provoquée par de fortes teneurs en DBO5 est fortement dommageable à la plupart des maillons biologiques des hydrosystèmes.

L'azote Kjeldahl (exprimé en mg N/L) : Variable intégrative associant l'ammonium dissous dans l'eau et la minéralisation en ammonium de la matière organique contenue dans l'eau, ce descripteur très sensiblement induit par l'altération anthropique est représentatif de la disponibilité de matières actives azotées fermentescibles. Les valeurs moyennes à élevées en NKJ sont synonymes d'altération anthropique et la minéralisation de cette matière organique excédentaire va provoquer un risque de déplétion en oxygène dans les hydrosystèmes.

Nitrate (exprimé en mg $(NO_3)^-$/L) : Les nitrates constituent un indicateur indéniable d'altération anthropique. Forme la plus oxydée de l'azote minéral, ils marquent la forme terminale de l'azote issu de la minéralisation des matières organiques fermentescibles (type effluents organiques, rejets de STEP…). C'est pourquoi on en trouve des quantités non négligeables à l'aval des bassins versants. Des apports directs par l'activité agricole (apports, pour la fertilisation des parcelles, de nitrates, d'ammonitrate, d'apports organiques type fumier et lisier) contribuent aussi de façon importante aux quantités trouvées dans les eaux. Lorsqu'ils sont absolument seuls, les nitrates exercent un impact hydrobiologique assez modeste sur la plupart des maillons, qui se renforce cependant dès que d'autres stresseurs (ammonium, ou orthophosphates, ou demande en oxygène) viennent agir de façon cumulative. De plus, du fait du cadre normatif en place pour la potabilisation de l'eau, les nitrates constituent un critère de déclassement pour cet usage.

P. Total (exprimé en mg de P/L) : Du fait de la forte teneur des argiles du sol en P, il est de façon dominante influencé par l'érosion, dont une partie est sous influence humaine. Incluant aussi les

lixiviations de phosphore épandu sur les zones agricoles et les orthophosphates, une partie de son signal est aussi due aux pratiques agricoles de fertilisation, aux effluents (d'élevage, de STEP) et aux formulations lessivielles.

Bicarbonates (exprimés en mg (HCO_3)-/L) : Cette variable représentera les sites aux eaux carbonatées riches en hydrogénocarbonates (H_2CO_3)- et (HCO_3)-

Chlorures (exprimés en mg Cl^-/L) : Ils constituent le meilleur descripteur des influences halines naturelles trouvées à proximité du littoral. Ils peuvent aussi être localement présents dans des rejets d'origine anthropique (rejets d'IAA, d'industries chimiques…)

Sulfates (exprimés en mg $(SO_4)^{--}$/L) : Ils peuvent être présents de façon naturelle dans les eaux (influence géologique du volcanisme). On peut aussi en trouver des concentrations importantes dans des rejets anthropiques, notamment d'origine chimique et domestique, et ils signent dans ce cas une altération.

Silice (exprimé en mg/L SiO2): La silice est abondante dans les roches volcaniques. De plus, la température élevée, l'intensité des pluies et les écoulements turbulents caractéristiques du contexte antillais favorisent l'altération des roches affleurantes et enrichissent naturellement les cours d'eau en silicate dissous

Potassium (exprimé en mg/L K+): Les concentrations naturelles en potassium sont très faibles dans les rivières (<5 mg/l) du fait de la faible solubilité des ions potassium présents dans les roches. Des augmentations discrètes des teneurs en potassium ont été observées avec l'usage d'engrais.

Aussi, **la qualité de l'habitat** au sens large est qualifié avec les paramètres du land-cover (3 variables définissant l'utilisation des terres en amont de la station de prélèvement ; §2.7) et avec les observations de terrain à travers le plan d'échantillonnage des macroinvertébrés (9 variables décrivant les pourcentages de recouvrement des 9 substrats possibles sur les stations ; elles décrivent la nature et/ou la taille des substrats et qui renvoient notamment à l'hydrologie et à la position d'une station sur le gradient longitudinal amont-aval d'une rivière).

3.2. Biotypologie des stations

La typologie (classification) des stations permet de classer des sites en regroupements homogènes du point de vue de certaines caractéristiques naturelles. Elle est l'élément essentiel permettant de définir les conditions de référence et le bon état écologique, qui sont établis par « type de milieu » (regroupement de sites présentant des caractéristiques communes). Elle permet aussi de tenir compte de la variabilité environnementale des communautés et de s'en affranchir dans une certaine mesure.

Une typologie peut être établie suivant deux approches différentes :

- **Classification *a priori*** : la classification des sites est établie à partir des connaissances et d'hypothèses sur les facteurs de contrôle de la biodiversité des communauté (les facteurs de contrôle étant d'une manière générale l'habitat physique à l'échelle locale, et à plus large échelle l'hydrologie, la géomorphologie des cours d'eau, la végétation riveraine, la géologie, le relief et le climat). La classification a priori regroupe les sites en unités homogènes appelées « hydro-écorégions » (HER) sur la base des facteurs géologiques, climatiques, et topographiques.

- **Classification *a posteriori*** : la classification des sites est obtenue par des méthodes d'analyses multivariées de la distribution de la faune.

Une classification a priori a été établie à l'échelle nationale (métropole et DOM) par le Cemagref, y compris pour la Guadeloupe (Wasson *et al.*, 2004) et la Martinique (Chandesris et al., 2005). La figure suivante présente les typologies établies pour la Martinique et la Guadeloupe.

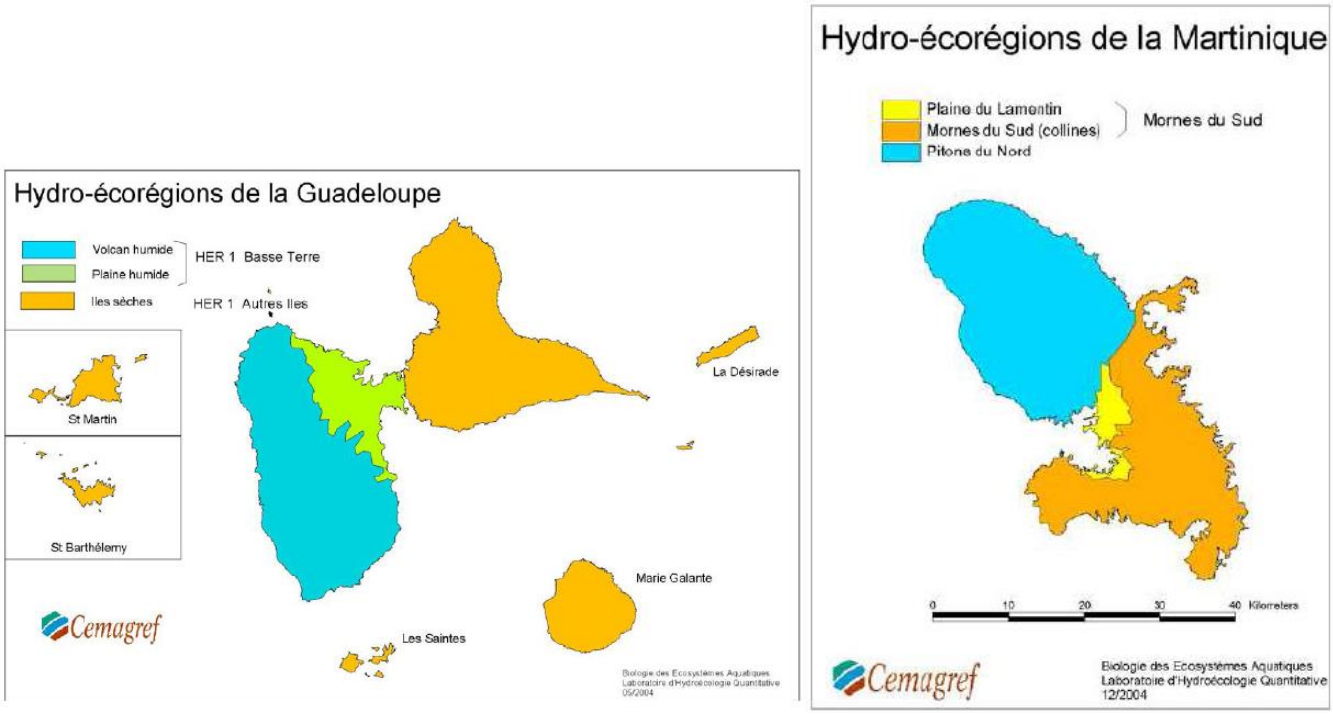


Figure 4. Cartes des hydro-écorégions de Martinique et Guadeloupe (Sources : Wasson *et al.*, 2004 ; Chandesris *et al.*, 2005)

En Guadeloupe, le Cemagref a distingué deux HERs sur la Basse-Terre : « la plaine humide » au Nord-Est de Basse Terre au relief de pénéplaine peu prononcé, et « le volcan humide », avec deux types de peuplements (zones amont à forte pente, zones aval, à plus faible pente). Il est précisé dans le rapport du Cemagref que « Cette différence entre cours amont et aval serait à valider en fonction de données biologiques complémentaires, notamment l'échantillonnage de macro-invertébrés ; les différentes limites proposées restent à préciser avec l'appui d'experts locaux ayant une bonne connaissance du terrain » (Wasson *et al*., 2004).

En Martinique, deux grandes HERs ont été distinguées : « les Pitons du Nord » et « les Mornes du Sud », cette dernière pouvant être subdivisée en deux HER de niveau 2 en isolant la « plaine du Lamentin » sur la base des caractéristiques géomorphologiques. Il est précisé là aussi que « dans la région des Pitons du Nord, les cours d'eau présentent probablement des conditions de référence biologiques différentes entre des secteurs amont et aval, mais une confirmation sur la base de données hydrobiologiques reste nécessaire » (Chandesris *et al*., 2005).

Afin de réaliser une classification plus fine des stations, une typologie *a posteriori* avait été réalisée à partir des communautés de macroinvertébrés benthiques pour chacune des deux îles lors du développement de l'IBMA-971 et de l'IBMA-972 : nous parlerons de « biotypologies ». Les données physico-chimiques, géomorphologiques et les données relatives à l'occupation du sol avaient été associées aux données biologiques afin de dégager les profils de distribution des macroinvertébrés en fonction des conditions environnementales (Analyse multivariée : Analyse Canonique des Correspondances (CCA) pour la Martinique, Analyse de Redondance (RDA) pour la Guadeloupe).

Les biotypologies obtenues pour la Guadeloupe et la Martinique ont fait l'objet de publications scientifiques présentées en ANNEXES 6 et 7 (Touron-Poncet *et al.*, 2012 ; Bernadet *et al*., 2013). La méthode employée et les résultats obtenus y sont détaillés.

Pour la Martinique et la Guadeloupe, respectivement 3 et 4 groupes (nommés cluster) de stations avaient été mis en évidence. Au final, on considèrera les sous-régions suivantes pour l'élaboration de l'indice commun (Figure 5) :

En Guadeloupe :

- Le cluster Centre Nord-Est est issu de l'assemblage entre 2 clusters (groupe 1 et 4), proches géographiquement mais très distants au niveau de la qualité de l'eau. Les stations impactées montrent de très fortes dégradations (plus fort NKJ) dans un environnement urbain ou agricole, tandis que les stations de références sont en zone de forêt. Les stations impactées sont réparties en zone urbaine ou agricole **(cluster 1)** ;
- Les stations du cluster Ouest représentent un intermédiaire entre le cluster 1 et le cluster 3 (voir fig. de la RDA). Une légère influence agricole se retrouve dans les sites de référence, pour la plupart en zone de forêt. Les stations impactées sont réparties dans les trois environnements (urbain, agricole et forestier) **(cluster 2)** ;
- Les stations du cluster Sud sont caractéristiques d'un milieu volcanique avec une forte minéralisation des rivières. Les stations impactées sont réparties dans les trois environnements (urbain, agricole et forestier) **(cluster 3).**

En Martinique :

- un cluster nord de haute altitude regroupant des stations situées dans des zones boisées (land cover) et aux eaux bien oxygénées (**cluster 4**) ;
- un cluster nord de moyenne à basse altitude regroupant de stations dont les eaux sont relativement bien oxygénées mais impactées par des taux d'ammonium élevés et/ou la présence de terres cultivées (**cluster 5**) ;
- un cluster sud de stations impactées, notamment par la présence de terres cultivées, présentant des taux de matières en suspension et une conductivité élevée (**cluster 6**).

Les biotypologies ont révélé que les facteurs géomorphologiques sont d'importants déterminants de la composition et de la diversité des communautés de macroinvertébrés benthiques. La couverture végétale joue aussi un rôle clé dans la délimitation des sous-régions écologiques pour la faune d'eau douce.

En milieu insulaire, les assemblages d'espèces sont distincts de ceux observés en milieu continental. Les communautés sont la résultante des facteurs biogéographiques, historiques et géomorphologiques (Boulton *et al.*, 2008). Dans les îles, notamment caribéennes, les communautés de macroinvertébrés sont naturellement pauvres en espèces (Smith *et al*., 2003 ; Hughes, 2005 ; Gonçalves et al., 2008), et en Martinique comme en Guadeloupe, la faune est globalement très ubiquiste, notamment les taxons les plus abondants. **Dans ce contexte, il est difficile d'identifier des espèces polluo-sensibles et de baser un indice sur des métriques qualitatives liées à la présence/absence de ces espèces. Nous construirons alors un indice sur une approche plutôt quantitative des peuplements.**

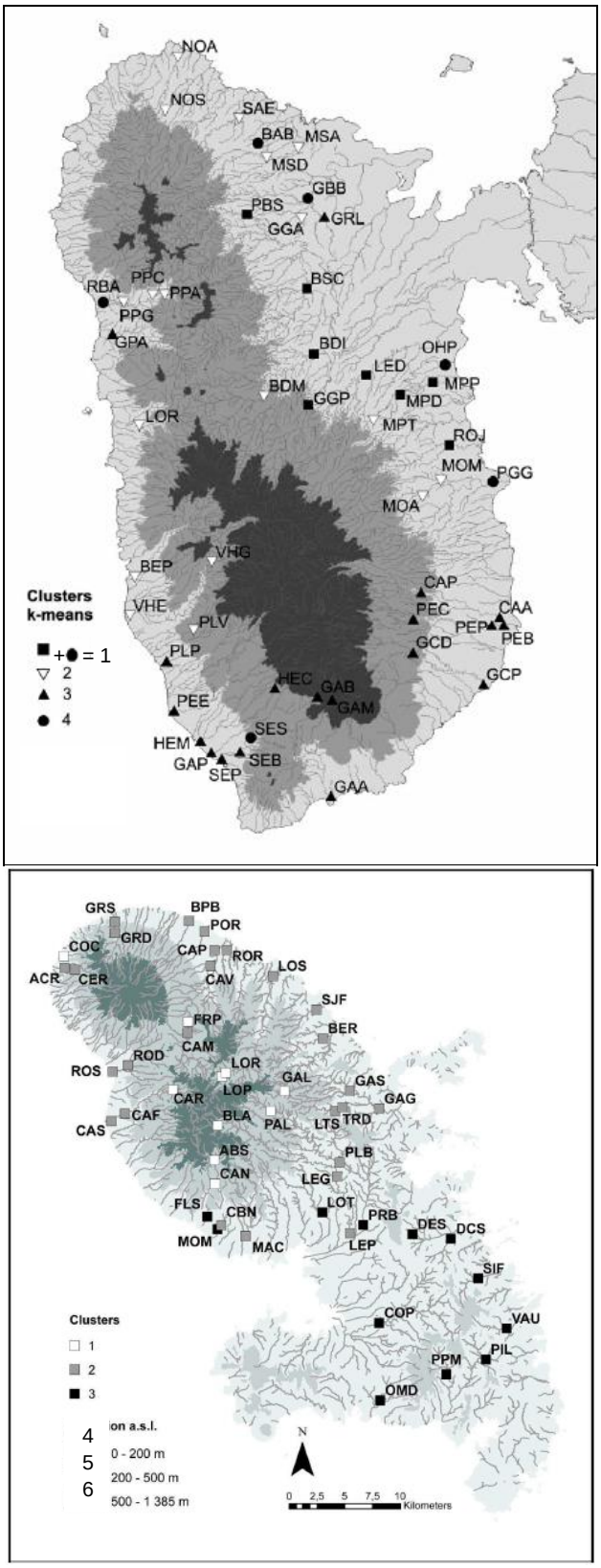


Figure 5. Carte de localisation des stations et appartenance aux clusters. Pour la Guadeloupe les clusters 1 et 4 sont associés pour former le cluster 1 pour la création de l'indice.

3.3. Choix des stations LIRRs

Les biotypologies ont révélé 6 sous-ensembles de stations homogènes du point de vue de la composition et de la structure de leurs communautés faunistiques. Dans chacun de ces sous-ensembles, nous avons identifié des stations pas/peu perturbées, dites de « moindre impact » ou **« LIRR » (Least Impaired River Reaches**) sur la base des données physico-chimiques de l'eau et sur avis d'experts (confirmé par la biotypologie avec la prise en compte de la qualité physique et biologique pour chaque sous-écorégions). Les LIRRs serviront à déterminer les valeurs de référence moyennes pour chacune des métriques calculées. *In fine*, la distribution des scores des stations LIRRs servira aussi à déterminer les classes de qualité pour l'indice final. Par opposition, toutes les stations impactées qui ne sont pas des LIRRs sont appelées **« IRRs » (Impaired River Reaches).**

Les stations LIRRs de chaque sous-région sont listées dans le Tableau 6.

Pour le cluster 6 (Martinique), aucune discontinuité n'a été mise en évidence dans la partie sud de l'île dans la biotypologie. En particulier, aucun site de référence ou de moindre impact ne s'est détaché dans l'analyse pour cette partie de l'île. Comme pour l'IBMA-972, nous avons considéré des sites peu impactés et de faible altitude du cluster 5 comme LIRRs pour le cluster 6, à savoir les stations Fond Baise (CAF, rivière du Carbet), Stade de Grand'Rivière (GRS, Grande Rivière), Anse Céron (ACR, rivière de l'Anse Céron) et Case Navire Bourg Schoelcher (CBN, rivière de Case Navire).

Tableau 6 : Liste des stations LIRRs pour chacune des sous-régions.

Guadeloupe		**Martinique**	
Cluster 1	Inra (BDI)	Cluster 4	Tunnel Didier (CAN)
	Chaude (BSC)		Palourde Lézarde (PAL)
	Diane (LED)		Gommier (GAL)
	Goyaves amont (GGP)		Trace des Jésuites (LOR)
	Duquerry (MPD)		Source Pierrot (CAR)
	Rose (ROJ=		Amont Confluence Pirogue (LOP)
	Severin (PBS)		Pont de l'Alma (BLA)
Cluster 2	Bras David amont (BDM)		Couleuvre (COC)
	Trianon (MPT)	Cluster 5	Propreté (PRO)
	Vieux habitants amont (VHG)		Trou Diablesse (GRD)
	Débauchée (MSD)		Habitation Céron (CER)
	Confiturerie (PPC)		Amont confluence Ferré (ROX)
	Solitude (NOS)		Amont Basse Pointe Bourg (BPBam)
	Moreau amont (MOA)	Cluster 6	Anse Céron (ACR)
	Mineurs (MOM)		Fond Baise (CAF)
	Confiturerie amont (PPA)		Case Navire Bourg Schoelcher (CBN)
	Radier habituée (LOR)		Stade de Grand' Rivière (GRS)
Cluster 3	Moscou (GAM)		
	La digue (CAP)		
	Bassin bleu (GAB)		
	Dumanoir (GCD)		
	Concession PEC		

Pour obtenir un indice discriminant et fonctionnel se basant sur des calculs d'écarts à la référence, la qualité de l'eau doit être effectivement meilleure en conditions de référence par rapport aux conditions impactées. Pour vérifier cette condition, les valeurs moyennes, minimales et maximales des variables physico-chimiques de l'eau et des variables d'occupation du sol ont été calculées pour les stations LIRRs et IRRs sur les données à partir desquelles sera créé l'indice, soit carême 2011.

Tableau 7. Valeurs moyennes, minimales et maximales pour les variables physico-chimiques de l'eau et les variables d'occupation du sol pour les stations LIRRs et les stations IRRs.

Variables	Least impaired river reaches Mean (Min Max)			Impaired river reaches Mean (Min Max)		
Dissolved oxygen (mg/l)	8.48	7.66	9.33	7.48	0.58	9.60
Biological oxygen demand ($mg.L^{-1}$)	0.75	0.00	7.00	1.26	0.00	9.00
Kjeldahl nitrogen ($mg.L^{-1}$)	0.35	0.00	0.50	1.29	0.00	29.90
Nitrate ($mg.L^{-1}$)	0.91	0.00	9.40	3.19	0.00	14.60
Total phosphorus ($mg.L^{-1}$)	0.04	0.02	0.05	0.15	0.02	1.70
Suspended matter ($mg.L^{-1}$)	8.59	1.10	52.00	33.65	1.00	289.00
pH (U pH)	8.04	7.59	8.54	7.95	7.07	8.90
Conductivity ($\mu S.cm^{-1}$)	147.72	56.00	574.00	456.09	81.00	5460.00
Potassium ($mg.L^{-1}$)	1.18	0.38	2.50	3.65	0.69	33.60
Chloride ($mg.L^{-1}$)	10.40	7.10	19.90	96.15	7.80	1324.00
Sulfate ($mg.L^{-1}$)	6.38	1.60	37.00	17.95	1.90	170.00
Bicarbonate ($mg.L^{-1}$)	41.64	0.10	74.50	90.61	30.00	302.00
Silice (mg/l SiO2)	29.82	12.62	47.70	27.89	13.30	60.97
% urbanised lands	1.1	0.0	40.6	9.1	0.0	99.0
% agricultural lands	6.4	0.0	90.0	47.7	0.0	100.0
% forest	88.1	10.0	100.0	30.6	0.0	100.0

Les valeurs moyennes des variables pour les stations LIRRs sont pour la plupart moins dégradantes que celles des stations impactées, sinon égales. Aussi, c'est dans le groupe de stations IRRs que l'on enregistre les valeurs extrêmes dégradantes. **La qualité de l'eau des stations LIRRs est donc effectivement bien meilleure que celle des stations IRRs dans leur ensemble.**

3.4. Présentation des métriques

DEFINITIONS (Bonada *et al.*, 2006)

Une **métrique** est une mesure calculée qui décrit certains aspects d'une communauté biologique tels que sa structure, son fonctionnement, ou toute autre caractéristique biologique Par exemple, la richesse taxonomique et le taux d'espèces détritivores.
Les **indices multimétriques** sont des combinaisons de métriques qui, ensemble, sont présumées représenter une gamme de réponses des communautés biologiques aux perturbations d'origines anthropiques.

411 métriques (ANNEXE 8 Tableau 18) ont été calculées en prenant en compte les prélèvements unitaires associés :

- à l'ensemble des prélèvements (Phase'A+B+C') ;
- aux 4 substrats marginaux (i.e. Phase 'A') ;

- aux 4 substrats dominants échantillonnés dans l'ordre décroissant de leur habitabilité (i.e. Phase 'B') ;
- aux 4 substrats dominants échantillonnés au prorata de leur surface relative, compte tenu des substrats échantillonnés lors de la constitution du bocal B2 (i.e. Phase 'C') ;
- aux 8 substrats dominants (i.e. Phases 'B+C') ;
- aux 8 substrats échantillonnés compte tenu de leur habitabilité (i.e. Phases 'A+B').

On distingue 4 types de métriques :

- les métriques relatives à la richesse taxonomique (ex. richesse taxonomique totale, richesse relative en coléoptères, richesse relative en prédateurs) ;
- les métriques quantitatives des communautés (ex. abondance totale, abondance relative en coléoptères, abondance relative des Ephéméroptères+Trichoptères) ;
- les métriques composites faisant intervenir richesse taxonomique et densités (ex. indices de diversité de Shannon, Berger-Parker, Simpson, Menhinick) ;
- les métriques relatives aux traits bio-écologiques présents dans les communautés.

Par manque de connaissance de la faune des Antilles françaises, la plupart des traits pris en compte dans la création de l'I_2M_2 métropolitain n'ont pu être considérés dans l'étude. Lorsque cela s'est avéré possible, les valeurs des traits bio-écologiques établies pour la faune métropolitaine (Tachet *et al.*, 2010) ont été étendues à la faune antillaise, et complétées pour les taxons « régionaux » grâce à des travaux réalisés en Bolivie (Tomanova *et al.*, 2008 ; Tomanova & Usseglio-Polatera, 2007). Nous avons calculé les métriques relatives au trait biologique « type de respiration» et aux 4 traits écologiques « relation au substrat/locomotion », « source de nourriture », « mode d'alimentation » et « nature du substrats »[2]. Au total, 38 métriques relatives aux traits ont été calculées.

3.5. Normalisation des métriques

[2] ***Respiration :*** *les modes respiratoires sont très variés (quatre modalités en Martinique et Guadeloupe). Cette respiration peut se faire 1) directement à travers les téguments pour les organismes primitifs 2) grâce a des branchies 3) avec un plastron respiratoire 4) avec un spiracle.*
Relation au substrat : *Les macro-invertébrés présentent une très grande diversité de modes de locomotion. Les stratégies des organismes sont diverses, allant de la fixation au substrat (temporaire ou permanente) au vol en passant par l'enfouissement, la marche et la nage.*
Source de nourriture : *Les sources de nourriture disponible pour les macro-invertébrés peuvent être regroupées en plusieurs catégories : les particules organiques de faible taille (microorganismes et fin débris organiques) ; les végétaux (morts ou vivants), les invertébrés (morts ou vivants) et les vertébrés (principalement du fait du parasitisme)*
Mode d'alimentation : *Le mode d'alimentation correspond à la manière dont les organismes se procurent et ingèrent leurs sources de nourriture. Cette ingestion peut se faire à l'aide de structures biologiques non spécifiques (absorbeurs), primitives (mangeurs de sédiments fins et broyeurs) ou spécialisées (racleurs, filtreurs, perceurs).*
Subtrats : *Neuf types de substrats sur lesquels les invertébrés peuvent vivre ont été définis en fonction de leur caractère organique ou minéral et de leur granulométrie (pour les minéraux).*

Les métriques ont été normalisées avant d'être sélectionnées. Cette normalisation est réalisée :

1. Pour enlever l'influence du type de cours d'eau (les biotypologies sont considérées pour calculer des écarts normalisés à la situation de référence).
2. Pour que les métriques évoluent dorénavant toutes dans le même sens : après normalisation, elles seront toutes décroissantes le long du gradient d'anthropisation.
3. Pour exprimer les résultats sous forme de ratios de qualité écologique (EQRs) bornés entre 0 et 1. Selon la DCE, l'évaluation de l'état écologique doit être exprimée en terme d'écart par rapport à un état dit de référence (**EQR=Ecological quality Ratio**) pour un même type de cours d'eau, autrement dit l'écart à la référence d'une station est calculé par rapport aux valeurs des métriques des LIRRs du cluster de la station considérée) (Hering *et al*., 2006). Cet écart s'exprime de 0 à 1, avec une valeur proche de 1 pour les sites de référence et une valeur proche de 0 pour des sites en mauvais état écologique.

3.5.1. Les Valeurs de référence

Une métrique peut répondre de manière différente suivant la nature de la pression/perturbation subie et/ou en fonction de l'intensité de pression/perturbation, et pour une sous-écorégion donnée (cluster). Compte tenu de la variété des réponses possibles, il est indispensable de définir la valeur de référence de chaque métrique pour chaque sous-région.

1. CLASSIFICATION DES STATIONS EN LIRRs ET EN IRRs (cf. § Choix des stations LIRRs)

2. CALCUL DES ECARTS NORMALISES A LA REFERENCE

Les valeurs des métriques ont été transformées en écarts normalisés (SES) à la situation de référence pour le même type de cours d'eau (Gotelli & McCabe, 2002) de la façon suivante :

$SES = (Obs_{type} - M_{type}) / sd_{type}$ [1]

avec : Obs = valeur observée de la métrique pour une station donnée, et M_{type} et sd_{type} = moyenne et écart-type des valeurs de la métrique en situation de référence pour le même type de cours d'eau. Grâce à cette normalisation, les valeurs des métriques pourront être comparées entre types de cours d'eau différents (clusters).

3. ATTRIBUTION D'UN TYPE DE REPONSE A CHAQUE METRIQUE

Les réponses des métriques à une pression pouvant varier, nous avons donc déterminé, pour chaque métrique son type de réponse (Figure 6), sachant qu'il existe trois types de réponses possibles :

- TYPE I : pas de réponse significative ;
- TYPE II : la métrique diminue significativement en situation perturbée par rapport à la valeur observée en situation de référence pour le même type de cours d'eau ;
- TYPE III: la métrique augmente significativement en situation perturbée par rapport à la valeur observée en situation de référence pour le même type de cours d'eau).

L'efficacité de discrimination (DE) de chacune des métriques a été calculée. $DE_{SES(25)}$ correspond à la proportion de stations IRRs dont la valeur SES de la métrique est inférieure au premier quartile de la distribution des LIRRs, et $DE_{SES(75)}$ correspond à la proportion de stations

IRRs dont la valeur SES de la métrique est supérieure au troisième quartile de la distribution des LIRRs.

Si $DE_{SES(25)}$<0.25 et $DE_{SES(75)}$<0.25, alors la réponse de la métrique est de type I (pas de réponse) ;
Si $DE_{SES(25)}$ > 0,25 et $DE_{SES(25)}$ > $DE_{SES(75)}$, alors la réponse de la métrique est de type II (décroissante) ;
Si $DE_{SES(75)}$ > 0.25 et $DE_{SES(75)}$ > $DE_{SES(25)}$), alors la réponse de la métrique est de type III (croissante).

.

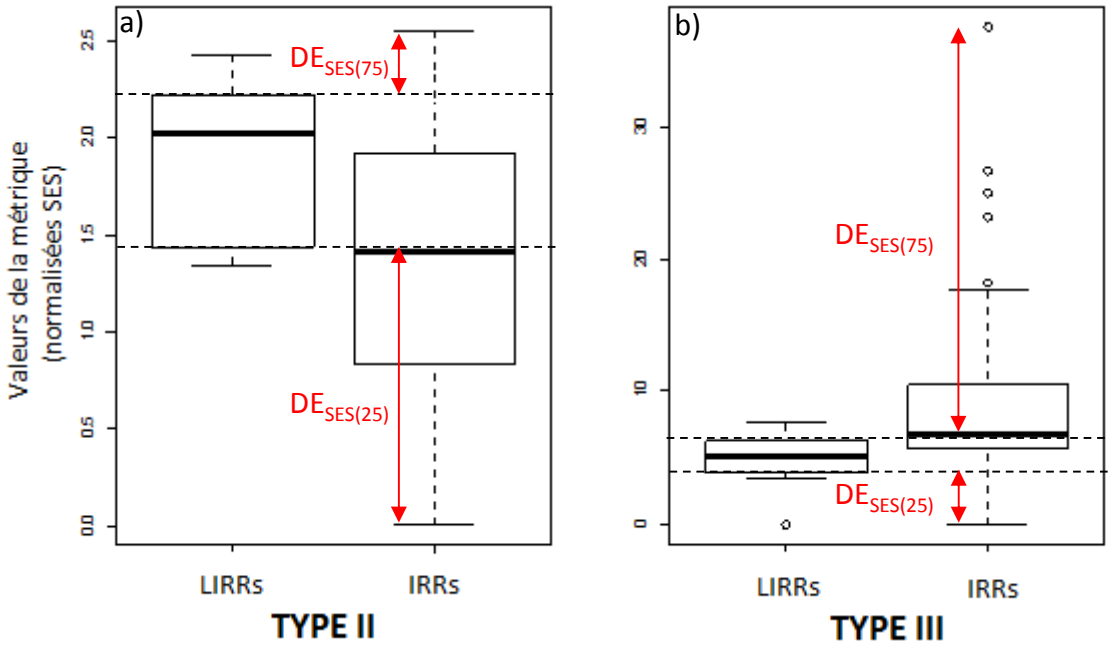


Figure 6 : Illustration des types de réponses des métriques aux pressions anthropiques : (a) métriques décroissantes (type II) et (b) métriques croissantes (type III). Les boites à moustache représentent la distribution des valeurs des métriques exprimées en SES pour les stations LIRRs et IRRs. Les boîtes s'étendent du 25ème centile au 75ème centile. La ligne épaisse représente la valeur médiane de la distribution. Les points représentent les valeurs extrêmes. Les lignes en pointillées soulignent le premier et le 3ème quartile de la distribution des valeurs pour les stations LIRRs.

4. DETERMINATION DES MEILLEURES VALEURS ET DE LA PIRE VALEUR POUR CHAQUE METRIQUE

Pour chaque métrique, on obtient les « meilleures » valeurs (une valeur de référence pour chaque cluster) et la « pire » valeur (commune aux trois clusters) pour notre jeu de données de construction en se référant aux 5ème et 95ème centiles de la distribution des valeurs SES des stations LIRRs et IRRs. Les 5ème et 95ème centiles ont été utilisés plutôt que les valeurs les plus basses et les plus élevées de la distribution afin d'écarter les valeurs extrêmes des métriques (Ofenböck et *al.*, 2004).

Si la métrique est de type I ou II, la valeur dite « meilleure » correspond à la valeur maximale que la métrique peut avoir dans les LIRRs pour un type de cours d'eau (cluster). Si la métrique est de type III, la meilleure valeur correspond à la valeur minimale.

La valeur dite « pire » correspond à la valeur minimale (cas des métriques de type I et II) ou à la valeur maximale (type 3) que la métrique peut avoir dans les IRRs sur tout le jeu de données.

Pour chaque métrique, nous disposons finalement d'une « pire » valeur et de six « meilleures valeurs » (une pour chaque cluster de stations).

3.5.2. Calcul des écarts à la référence (EQR : Ratio de qualité Ecologique)

L'expression de l'état écologique des cours d'eau en EQR (Ecological Quality Ratio), ou écart à la référence, est une des principales exigences de compatibilité DCE pour les méthodes d'évaluation. L'EQR est le rapport entre un état observé et l'état que "devrait" avoir le milieu en l'absence de perturbation anthropique. L'EQR est calculé sur la base des valeurs des métriques, et doit être compris entre 0 et 1.

Que les métriques soient croissantes ou décroissantes le long d'un gradient de pression/perturbation, les EQR doivent être exprimés de telle sorte que :

-Si la valeur observée sur un point de prélèvement est égale à la valeur de référence, l'EQR est égal à 1 ;
-Si la valeur observée s'éloigne de la valeur de référence, l'EQR tend vers 0.

Pour satisfaire à cette double condition, le calcul de l'EQR a été défini de la façon suivante (Hering *et al.*, 2006) :

- Si la métrique est de TYPE II ou II : **EQR = (Obs - Mini)/(Maxi- Mini)** **[2]**
- Si la métrique est de TYPE III : **EQR = 1-(Obs - Mini)/(Maxi- Mini)** **[3]**

avec « Obs » : la valeur de la métrique observée pour un point de prélèvement donné après normalisation en SES, sur un cours d'eau appartenant à un type déterminé. Pour l'équation [2], « Maxi » et « Mini » correspondent respectivement à la « meilleure » et la « pire » valeur pour cette métrique sur le même type de cours d'eau, alors que dans l'équation [3] « Maxi » et « Mini » correspondent respectivement à la « pire » et la « meilleure » valeur de la métrique.

Si la valeur observée est supérieure à la meilleure valeur (cas d'une station de meilleure qualité comparé à la valeur de référence), alors la valeur de l'EQR est bornée à 1. De même, si la valeur de l'EQR est inférieure à la pire valeur, la valeur de l'EQR est bornée à 0 (la qualité est plus faible que la pire des valeurs).

3.6. Sélection des métriques pertinentes

Le travail statistique a été réalisé avec le logiciel R.v2.12.0 (R Development Core Team, 2008).

3.6.1. Quatre critères de sélection

Les métriques ont été sélectionnées en prenant en compte 4 critères, simultanément :

- *Une forte efficacité de discrimination des métriques :*

Le pouvoir de discrimination (DE, d'après Ofenbock *et al.*, 2004) d'une métrique pour un type de pression donné a été calculé comme la proportion d'assemblages faunistiques sur sites perturbés (IRRs) présentant une valeur d'EQR plus faible que le premier quartile de la distribution des valeurs de cette métrique dans les LIRRs.

Le calcul des DE a été répété 100 fois à l'aide d'un « bootstrap » en sélectionnant à chaque fois un sous-échantillon aléatoire représentant 60% du jeu de données de construction de l'indice. Une estimation robuste du DE de chaque métrique est alors obtenue en moyennant les 100 estimations obtenues à partir des sous-échantillons du jeu de données de construction.

Dans un même temps, une première sélection des métriques s'effectue en conservant les métriques discriminant significativement un état perturbé d'un état non perturbé (i.e. DE moyen ≥0.6). Ainsi, nous sélectionnons les métriques qui identifient au moins 60% des assemblages soumis à une pression.

- *Une forte stabilité en condition de référence (LIRRs) :*

La stabilité d'une métrique en conditions de référence (i.e. dans les LIRRs) a été évaluée en utilisant le coefficient de variation (CV) de la distribution de ses valeurs d'EQR dans les assemblages benthiques des LIRRs.

Comme pour les DE, une estimation robuste du CV a été calculée en moyennant les 100 estimations obtenues sur des sous-échantillons aléatoires (60% du jeu de données de construction) et à l'aide d'un « bootstrap ».

Les métriques présentant une grande stabilité dans les LIRRs (i.e. CV≤1/3) ont été sélectionnées.

- *Une faible spécificité :*

Nous avons sélectionné les sites de manière à couvrir l'ensemble de la gamme de perturbations et à disposer de gradients de perturbations. Malgré cela, certaines catégories de pressions sont représentées par un faible nombre de sites (par exemple, seulement cinq sites d'échantillonnage en aval d'une usine de traitement des eaux usées en Martinique), les cas n'étant pas abondants sur ces territoires exigus. Aussi, beaucoup de stations sont impactées simultanément par plusieurs pressions, et certains impacts ne sont pas précisément identifiés pour plusieurs sites en raison d'un manque d'information. En particulier, les concentrations en chlordécone, composé organochloré qui contamine fortement les sols et l'eau douce de la Martinique et de la Guadeloupe après des années d'utilisation sans restriction dans les bananeraies, n'ont pas été mesurées sur tous les sites. À ce jour, les effets de cette molécule sur les macroinvertébrés ne sont pas identifiés (Coat, 2009). Dans ce contexte, il est difficile d'identifier des métriques capables de discriminer spécifiquement une catégorie ou un groupe très restreint de catégories de pression. Un **indice généraliste** semble être beaucoup plus approprié dans un **contexte multi-pressions**. Pour l'indice, nous recherchons donc des métriques présentant une faible spécificité de réponse, c'est-à-dire des métriques répondant à un grand nombre de pressions/perturbations environnementales.

La réponse de chacune des métriques à chacun des paramètres environnementaux considérés a été testée à l'aide de régressions linéaires simples. Le seuil de significativité a été fixé à 0,05.

Nous avons considéré dans l'analyse 16 variables environnementales susceptibles de refléter les niveaux de pressions/perturbations des hydrosystèmes : le taux d'oxygénation de l'eau (mg/l), la DBO_5, le taux d'ammonium, le taux de nitrates, le phosphore total, les matières en suspensions, le pH, la conductivité, les taux de potassium, chlorures, sulfates, bicarbonates et silice, mais aussi les pourcentages de terres urbanisées, agricoles, et de forêt bordant les stations. Nous disposons de deux types de variables environnementales : les variables « qualité de l'eau » (les 13 premières variables citées) et les variables « qualité de l'habitat » (3 variables). Les autres variables chimiques dont nous disposions étant trop fortement corrélées aux variables chimiques citées plus haut, elles ont été écartées du jeu de données (ex. le taux de phosphates, fortement corrélé au taux de phosphore total).

Les métriques corrélées significativement (p-value<0.05) à au moins 70 % des variables « qualité de l'eau » (soit à 9 variables) et à au moins 1 variable « qualité de l'habitat » ont été sélectionnées.

- *Non redondance des métriques :*

Pour éviter la redondance entre métriques, les métriques candidates fournissant le même type d'information taxonomique ou bio/écologique ont été rassemblées en groupes homogènes quant à l'information biologique ou écologique restituée. Pour chacun des groupes de métriques « similaires », seule la métrique présentant la plus faible spécificité puis le DE moyen le plus élevé a été sélectionnée pour une intégration éventuelle dans l'indice multimétrique. Des tests de corrélation de Spearman ont été appliqués.

3.6.2. Résultats

- *Une forte efficacité de discrimination des métriques :*

La majeure partie des métriques ont un DE moyen <0,60 (Figure 7 a). Sur les 290 métriques initiales, seulement 90 ont un DE≥0.6.

Aussi, la majorité des métrique est stables dans les LIRRs, puisque plus de la moitié des métriques (207 métriques exactement) ont un CV≤1/3 (Figure 7 b).

Seulement **74 métriques** remplissent les deux critères de sélection à la fois et seront retenues pour la suite de la sélection. La liste de ces 74 métriques candidates et les valeurs de DE et CV moyens associés sont présentés en ANNEXE 9 Tableau 19).

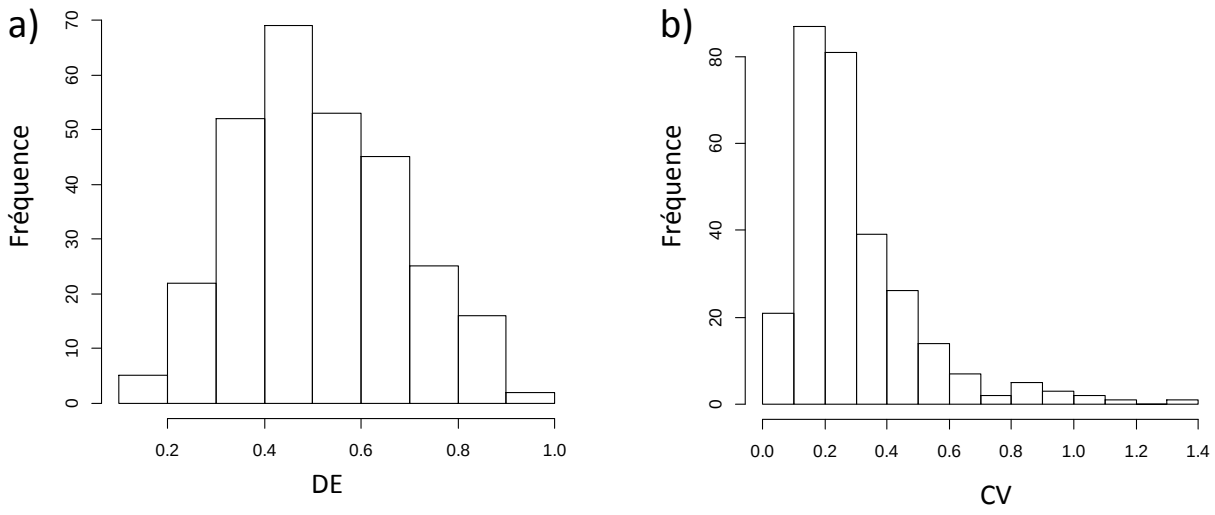


Figure 7. Histogrammes des fréquences des valeurs de DE (a) et CV (b) des métriques (n=290 métriques).

- *Faible spécificité :*

Sur les 74 métriques dégagées, 34 sont significativement corrélées (p-value<0,05) à au moins 9 des 13 variables « qualité de l'eau » et à au moins 1 des variables « qualité de l'habitat ». Les résultats de chacune des 74 métriques sont détaillés en ANNEXE 10 Tableau 20.

- *Non redondance :*

Certaines des 34 métriques généralistes dégagées sont redondantes. Après application du critère de sélection de non redondance, 7 métriques ont été conservées. Elles sont présentées dans le paragraphe suivant.

3.7. Métriques finales

Nous proposons finalement 7 métriques à inclure dans l'indice, qui sont :

- le trait relatif au préférendum d'habitat des substrats minéraux grossiers « Blocs Dalles Pierres Galets » ;
- le trait relatif au préférendum d'habitat pour la vase ;
- le nombre de taxons d'Ephéméroptères + Trichoptères + Coléoptères (ETC) dans les phases A+B ;
- la richesse taxonomique des phases B+C ;
- l'indice de Shannon calculé sur les phases B+C ;
- le nombre de taxons de trichoptères dans les phases B+C ;
- l'abondance d'Ephéméroptères dans les phases B+C.

Toutes ces variables sont initialement (avant normalisation) de TYPE II (décroissantes avec les impacts anthropiques), excepté la métrique relative au préférendum d'habitat pour la vase qui est une variable de type III (croissante). Les caractéristiques des métriques finales sont présentées dans le Tableau 8.

Tableau 8. Résultats de DE, CV et spécificité des métriques finales.

Métrique	Type de réponse	DE moyen	CV moyen	N de réponses significatives	
				Qualité de l'eau	Dégradation de l'habitat
BlocsDallesPierresGalets [A+B+C]	Croissante	0.87	0.28	9	3
Abondance Ephemeroptera [B+C]	Croissante	0.62	0.28	11	2
Nombre de taxons ETC [A+B]	Croissante	0.79	0.18	11	3
Nombre de taxons [B+C]	Croissante	0.64	0.20	10	2
Nombre de taxons Trichoptera [B+C]	Croissante	0.74	0.17	11	3
Indice de Shannon [B+C]	Croissante	0.73	0.14	11	3
Vase [A+B+C]	Décroissante	0.67	0.22	9	2

3.8. Valeurs de références

Les valeurs de références (meilleures valeurs et pire valeur) des métriques finales obtenues à partir du jeu de données d'apprentissage sont données dans le Tableau 9.

Tableau 9. Valeurs de références (meilleures valeurs et pire valeur) des métriques finales.

Sous-région	Valeurs de références	Blocs [A+B+C]	Vase [A+B+C]	Nombre de taxons ETC [A+B]	Nombre de taxons [B+C]	Indice de Shannon [B+C]	Nombre de taxons Trichoptera [B+C]	Abondance Ephemeroptera [B+C]
Cluster 1	Meilleure valeur	1.3386	-1.2654	0.9271	1.2271	1.3029	0.8977	1.6720
Cluster 2	Meilleure valeur	1.5868	-1.2677	1.6194	1.3989	1.3274	1.3035	1.1347
Cluster 3	Meilleure valeur	1.3047	-1.1035	0.9279	0.8011	1.2041	1.2105	1.3228
Cluster 4	Meilleure valeur	0.9590	-1.4706	1.2739	0.2133	0.1633	0.1677	0.7630
Cluster 5	Meilleure valeur	1.1808	-1.0122	1.1367	1.2308	1.0935	1.1630	1.1346
Cluster 6	Meilleure valeur	1.1230	-0.7536	1.1529	1.1301	1.1615	0.8042	1.0204
Tous les clusters	Pire valeur	-3.1315	4.1702	-5.1889	-4.2128	-6.1363	-4.8361	-2.9984

3.9. Calcul de l'indice (IBMA)

La formule pour calculer l'indice final nommé **IBMA (Indice biologique macroinvertébrés des Antilles)** avec les métriques sélectionnées est donnée dans l'équation [4] :

$$\mathbf{IBMA = \Sigma\,(DE_m \times EQR_m) \,/\, \Sigma\, DE_m} \qquad \mathbf{[4]}$$

avec DE_m l'efficacité de discrimination de la métrique « m » et EQR_m la valeur d'EQR de la métrique « m ».

Le score final de cet indice est compris entre 0 et 1.

Dans ce calcul, les valeurs d'EQR pour une métrique sont multipliées par l'efficacité de discrimination de la métrique, ce qui permet de donner plus de poids aux métriques qui ont un plus fort DE. La division par la somme des DE des 5 métriques permet de borner les valeurs de l'indice entre zéro et 1.

4. Classes écologiques

4.1. Classes pour l'IBMA

Comme recommandé par la DCE, l'indice doit pouvoir être interprété en termes de 5 classes de qualité écologique (« Très Bon », « Bon », « Moyen », « Médiocre » et « Mauvais »). Une telle interprétation nécessite la définition de limites inter-classes.

Pour la DCE, les valeurs seuils doivent être fixées de manière à ce que les sites de référence soit de très bonne qualité biologique.

Les limites des classes ont été fixées suivant la distribution des valeurs des scores de l'IBMA du jeu d'apprentissage, en ne considérant que les LIRRs « vraies » (les LIRRs du cluster 6, cluster sud de la Martinique, ont été exclues). Les limites établies sont les suivantes :

- Le premier quartile de la distribution des LIRRs a été pris pour limite inférieure du « Très bon état» ;
- La valeur minimale de la distribution des LIRRs a été pris pour limite « Bon état/Etat médiocre » ;
- La médiane de la distribution des IRRs a été pris pour limite « Mauvais état/Etat Médiocre » ;
- Le premier quartile de la distribution des IRRs a été pris pour limite « Mauvais Etat/Très mauvais état ».

En appliquant ce découpage (Figure 8), on obtient les classes suivantes (Tableau 10):

Tableau 10 : limites des classes d'états de l'indice IBMA.

Etat mauvais	Etat médiocre	Etat moyen	Bon état	Très bon état
[0 ; 0.3537 [	[0.3537 ; 0.4866 [	[0.4866 ; 0.6003 [	[0.6003 ; 0.7324 [	[0.7324 ; 1]

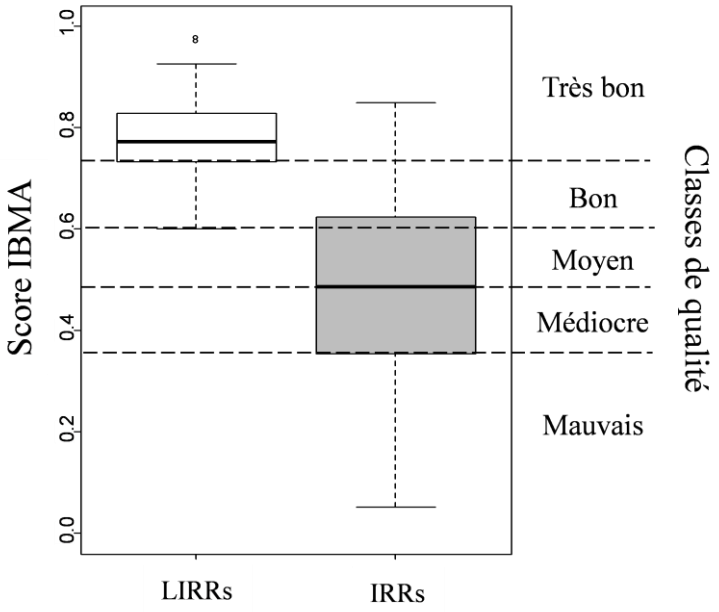


Figure 8. Découpage des classes d'états suivant la distribution des scores de l'IBMA du jeu de données d'apprentissage.

4.2. Classes spécifiques au cluster 6 (zone sud de la Martinique)

Par manque de stations de référence adaptées, les stations du cluster 6 (cluster sud de la Martinique), semblent être sous-notées par le découpage des classes présenté précédemment.

Les limites des classes ont donc été abaissées afin de réaliser une meilleure évaluation des sites du cluster 6. Seule **la limite du « Très bon état/bon état » n'a pas été modifiée**. Le découpage a été réalisé en se référant à la distribution des IRRs du cluster 6 :

- La limite « Bon état/Etat médiocre » a été fixée arbitrairement à 0.5000 ;
- La médiane de la distribution des IRRs du cluster 6 a été prise pour limite « Mauvais état/Etat Médiocre » ;
- Le premier quartile de la distribution des IRRs du cluster 6 a été pris pour limite « Mauvais Etat/Très mauvais état ».

En appliquant ce découpage, on obtient les classes suivantes :

Tableau 11 : limites des classes d'états de l'indice IBMA.

Etat mauvais	Etat médiocre	Etat moyen	Bon état	Très bon état
[0 ; 0.2900 [	[0.2900 ; 0.3500 [	[0.3500 ; 0.5000 [	[0.5000 ; 0.7324 [	[0.7324 ; 1]

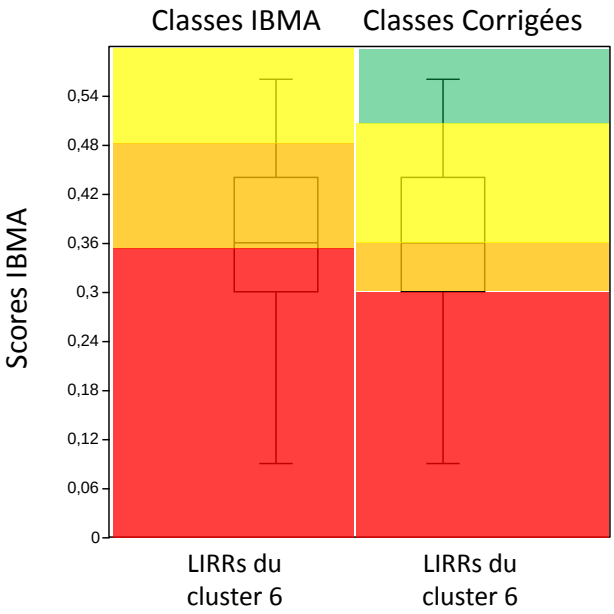


Figure 9. Découpage des classes d'états pour le cluster 6 suivant la distribution des scores de l'IBMA des stations IRRs du cluster 6 du jeu de données d'apprentissage. A gauche sont présentées les classes de l'indice IBMA, à droite les classes corrigées/adaptées au cluster 6.

5. Test de l'indice

5.1. Méthode

L'efficacité de la discrimination et le coefficient de variation des LIRRs de l'IBMA ont été calculées sur l'ensemble des données du jeu d'apprentissage, puis pour chaque île séparément pour évaluer la performance de l'IBMA et sa stabilité dans les LIRRs sur chaque île.

Ensuite, le DE et CV des LIRRs de l'IBMA du jeu d'apprentissage ont été comparés au DE et CV des LIRRs de l'indice de Shannon, indice qui a été utilisé jusqu'à présent pour évaluer la qualité écologique des sites dans les Petites Antilles françaises. Pour nous permettre une comparaison directe avec les scores de l'IBMA, les scores de l'indice de Shannon ont été bornés entre 0 et 1.

Pour évaluer la robustesse de l'efficacité de discrimination de l'IBMA, ce dernier a été calculé sur les jeux de données « tests », et le DEs du jeu d'apprentissage et des jeux de données tests ont été calculés et comparés.

Ensuite, la stabilité des valeurs de l'IBMA en conditions de référence (LIRRs) a été testé avec deux tests de Kolmogorov-Smirnov, qui ont été utilisés pour rechercher des différences significatives dans la distribution des valeurs de l'IBMA des LIRRs entre le jeu de données d'apprentissage et les deux jeux de données tests de la saison sèche.

5.2. Résultats

Considérant les deux îles et l'ensemble du jeu d'apprentissage, le DE et CV des LIRRs de l'IBMA sont égaux à 0,92 et 0,12, respectivement. Les valeurs pour l'indice de Shannon calculé sur les mêmes données sont DE = 0,75 et CV = 0,19, respectivement.

Considérant seulement le jeu de données d'apprentissage de la Guadeloupe, le DE et CV des LIRRs de l'IBMA sont de 0,93 et 0,12, respectivement, tandis que ceux de l'indice de diversité de Shannon sont égaux à 0,83 et 0,12 (Figure 10a). De la même manière, les valeurs de DE et CV des LIRRs de l'IBMA et de l'indice de diversité de Shannon calculés sur les données d'apprentissage de la Martinique sont égales à 0,96 et 0,11, 0,63 et 0,22, respectivement (Figure 10b).

Le DE et CV des LIRRs calculés sur les jeux de données tests sont égaux à 0,86 et 0,18 pour carême 2010 et 0,92 et 0,11 pour carême 2012. Les distributions des scores des LIRRs du jeu d'apprentissage et des jeux de données tests ne présentent aucune différence significative (test de

Kolmogorov-Smirnov sur les jeux de données tests de carême 2010 et carême 2012, respectivement: D = 0,3218, p = 0,1560 et D = 0,2258, p = 0,3716; Figure 11).

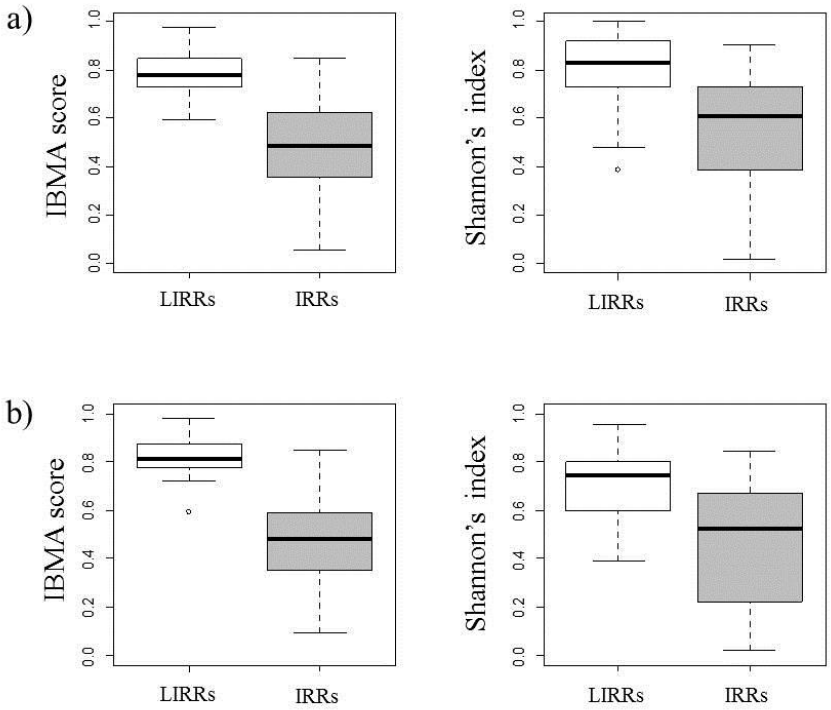


Figure 10. Distributions des scores de l'IBMA et de l'indice de Shannon des LIRRs (boîtes blanches) et des IRRs (boîtes grises) pour la Guadeloupe (a) et en Martinique (b).

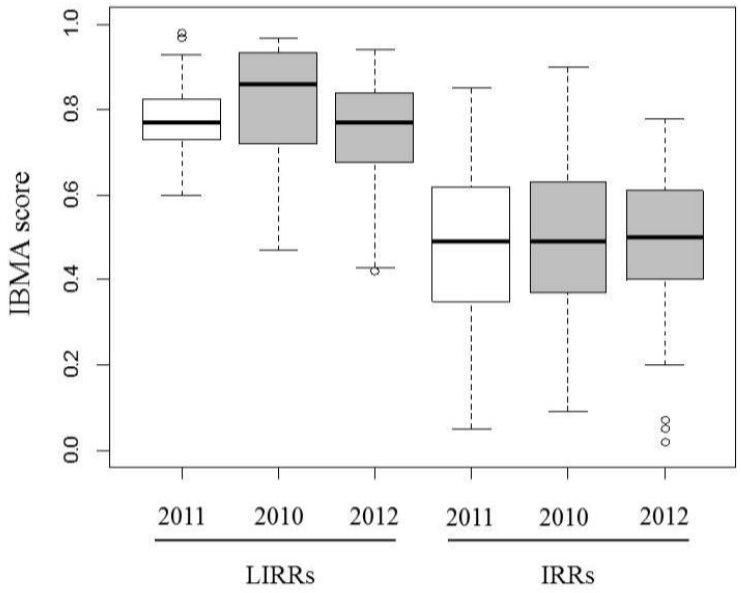


Figure 11. Distributions des scores de l'IBMA des LIRRs et des IRRs pour le jeu de données d'apprentissage (boîtes blanches) et les jeux de données tests (boîtes grises), en considérant la Martinique et la Guadeloupe.

6. Effet de saisonnalité

6.1. Méthode

Avant de déterminer si l'IBMA est sensible à un effet de saisonnalité (diminution ou augmentation des notes entre le carême et l'hivernage), il faut s'assurer que les données physico-chimiques/les impacts soient comparables entre les saisons. Des Analyses en Composantes Principales avaient déjà été réalisées sur chacune des deux îles sur les données de carême et hivernage 2010 (cf. Compte rendu annuel 2010). Les principaux résultats seront rappelés.

Des tests des rangs signés de Wilcoxon pour échantillons appariés ont été utilisés pour évaluer la stabilité de l'IBMA et de chacune des 7 métriques composites entre les saisons de carême et hivernage 2010.

6.2. Résultats

D'après les résultats de l'ACP (Figure 12), les axes 1 et 2 expliquent 34% et 17% de la variabilité du jeu de données, respectivement. A eux deux, ils expliquent 51% de la variabilité du jeu de données. L'effet « saison » explique ainsi une grande partie de la variabilité totale des données. Cependant, les groupes de stations « hivernage » et « carême » n'étant pas distinct l'un de l'autre dans le plan factoriel retenu, **l'effet « saison » est assez faible**. Globalement les valeurs des paramètres physico-chimiques sont du même ordre de grandeur au carême et à l'hivernage 2010. On constate que la variabilité entre les stations des paramètres physico-chimiques est plus grande au carême qu'à l'hivernage.

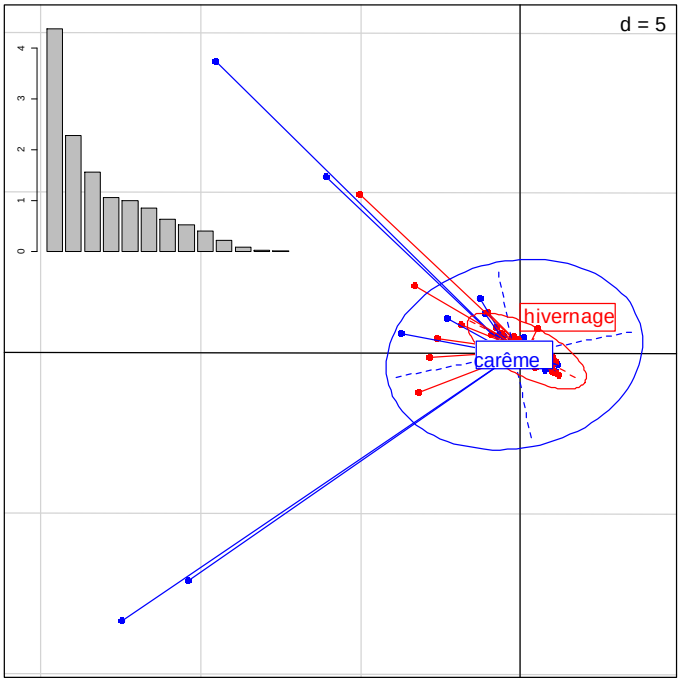


Figure 12. Résultats de l'Analyse en Composantes Principales sur 13 paramètres physico-chimiques pour le carême (bleu) et l'hivernage (rouge) 2010 pour la Martinique (à gauche) et la Guadeloupe (à droite).

Les résultats des tests de rangs de Wilcoxon pour données appariées (Tableau 12) montrent que les valeurs de l'IBMA ne diffèrent pas significativement entre les saisons ($V = 859$, $p > 0.05$). Cette tendance est valable dans la majorité des cas entre les paires puisque la classe de qualité reste inchangée entre les saisons de carême et hivernage pour la moitié des stations (29 stations). Cependant, dans certains cas, les valeurs de l'IBMA à l'hivernage sont inférieures (dégradation de la classe de qualité pour 15 stations) ou supérieures (amélioration de la classe de qualité pour 14 stations), comparées aux valeurs de carême.

Prises individuellement, les métriques ne montrent pas de différences significatives entre les saisons, excepté les métriques "Nombre de taxons [B+C]" et "Nombre de Trichoptères [B+C]" qui ont des moyennes significativement inférieures à l'hivernage comparé au carême.

Tableau 12. Résultats des tests de Wilcoxon et valeurs moyennes des métriques composites (± erreurs standards) pour les saisons de carême et hivernage 2010. NS : Non Significatif.

Métriques	V	*P*	Carême Moy ± ES	Hivernage Moy ± ES
Blocs [A+B+C]	319	0.95 (NS)	0.53 ± 0.05	0.55 ± 0.04
Vase [A+B+C]	235	0.13 (NS)	0.57 ± 0.05	0.66 ± 0.05
Nombre de taxons ETC [A+B]	372	0.55 (NS)	0.60 ± 0.04	0.58 ± 0.04
Nombre de taxons [B+C]	522	**<0.0001**	0.62 ± 0.05	0.50 ± 0.04
Indice de Shannon [B+C]	301	0.22 (NS)	0.73 ± 0.04	0.76 ± 0.03
Nombre de taxons de Trichoptères [B+C]	340	**0.0083**	0.61 ± 0.06	0.49 ± 0.06
Abondance des Ephéméroptères [B+C]	313	0.80 (NS)	0.59 ± 0.05	0.59 ± 0.06
IBMA	859	0.98 (NS)	0.60 ± 0.03	0.61 ± 0.034

Finalement, même si dans l'ensemble les valeurs de l'IBMA ne diffèrent pas significativement entre les saisons, deux métriques composites sont sensibles à la saison de prélèvement, et seulement la moitié des stations se voient attribuées la même notation (classe qualité écologique) entre les deux saisons. Autrement dit, l'IBMA n'est pas très stable entre les saisons. Compte tenu aussi des contraintes à effectuer les prélèvements faunistiques pendant la saison d'hivernage, nous déconseillons de réaliser des évaluations à cette saison.

7. Cartes d'état

L'IBMA a été calculé pour l'ensemble des sites de l'étude pour les campagnes de carême (carême 2010, 2011 et 2012) et la campagne d'hivernage (2010), et une classe d'état a été attribuée à chacun des sites (Figure 143 pour la Guadeloupe ; Figure 14 pour la Martinique).

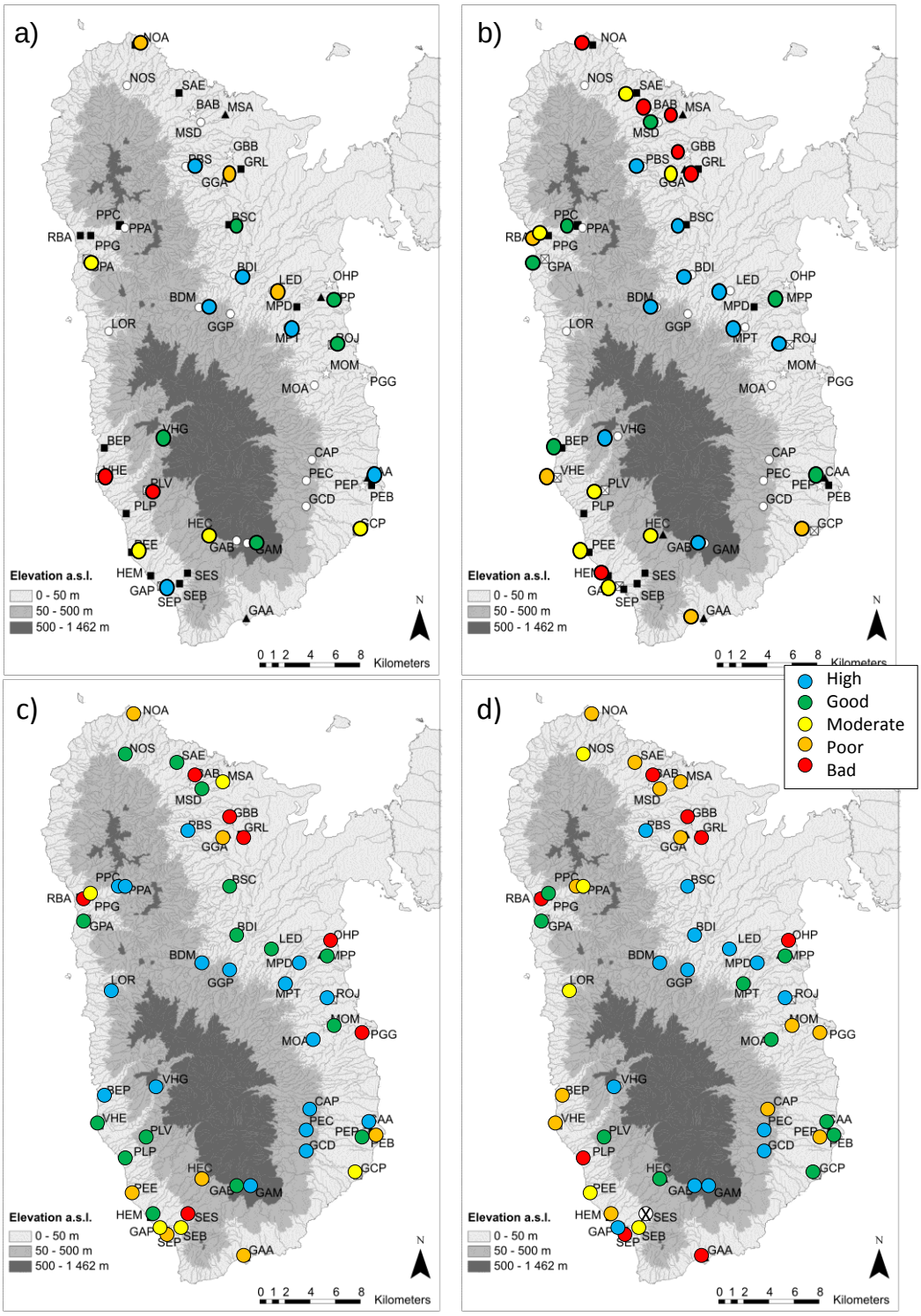


Figure 13. Cartes d'état des sites de Guadeloupe selon les campagnes. a) Carême 2010 ; b) Hivernage 2010 ; c) Carême 2011 ; d) Carême 2012.

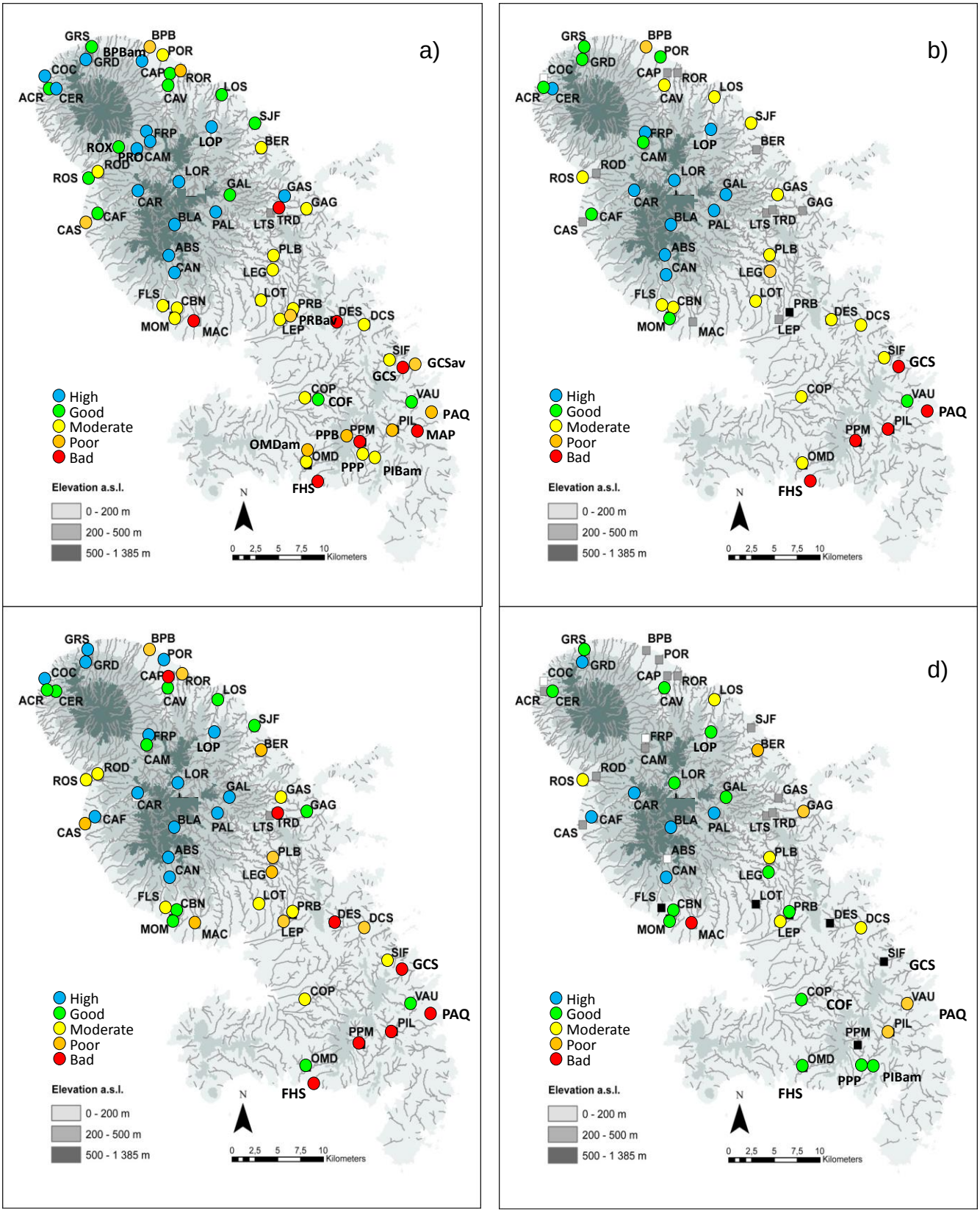


Figure 14. Cartes d'état des sites de Martinique selon les campagnes. a) Carême 2010 ; b) Hivernage 2010 ; c) Carême 2011 ; d) Carême 2012.

8. Conclusion et discussion

L'indice **IBMA** proposé est un **indice multimétrique généraliste capable de discriminer la pression** anthropique de la variabilité naturelle. Nous avions sélectionné les sites de manière à couvrir l'ensemble de la gamme des pressions anthropiques et de disposer de gradients de perturbations. Malgré cela, certaines catégories de pressions sont représentées par un faible nombre de sites. Aussi beaucoup de sites sont impactés par plusieurs catégories de pressions (**contexte multi-pression**), qui sont mal définies et non quantifiées pour un certain nombre de sites (cas des micropolluants par exemple). Dans ce contexte, il est difficile d'identifier des métriques capables de discriminer spécifiquement un ou un groupe très restreint de catégories de pression. Un indice généraliste semblait donc être beaucoup plus approprié.

En Martinique comme en Guadeloupe, la faune est globalement très ubiquiste, notamment les taxons les plus abondants. **Dans ce contexte, il est difficile d'identifier des espèces polluo-sensibles et de baser un indice sur des métriques qualitatives liées à la présence/absence de ces espèces. Dans ces conditions, un indice fondé sur une approche plutôt quantitative des peuplements semblait plus pertinent.**

Notre indice est performant pour discriminer les sites impactés des sites de référence puisque 92% des sites classés comme « impactés » sur la base des données environnementales sont aussi considérés comme « impactés » par l'IBMA. Comparé à l'indice de Shannon, l'IBMA améliore significativement la détection des sites impactés, d'au moins 10% pour la Guadeloupe et de plus de 33% pour la Martinique. Nous avons testé l'IBMA sur un jeu de données indépendant, ce qui nous a permis de démontrer sa stabilité en conditions de référence et sa robustesse en termes d'efficacité de discrimination. L'efficacité de discrimination de l'IBMA est élevée et varie entre 0,86 et 0,92 selon l'île. Dans tous les cas, l'efficacité de discrimination de l'IBMA est supérieure à celle de l'indice de Shannon qui était jusque-là utilisé pour évaluer la qualité biologique des sites.

Cependant, l'IBMA est moins performant dans le sud de la Martinique puisque les sites de référence font défaut dans cette sous-région. La sélection de sites de référence appropriés est une étape cruciale dans l'élaboration d'un indice multimétrique puisque cela facilite les comparaisons entre les sites de référence et les sites impactés. L'utilisation de LIRRs d'une sous-région voisine nous a conduit à sous-évaluer la qualité des rivière dans le sud de la Martinique et nous a donc obligé à adapter les limites de classes écologiques pour cette sous-région en particulier. En outre, des difficultés subsistent dans cette sous-région en ce qui concerne les sites présentant des valeurs très élevées de conductivité en relation liées bien plus à la lithologie (Lions et al, 2008.);concentrations élevées de Na, Ca, Mg, Cl) qu'aux impacts anthropiques.

Comparé à la typologie de la France métropolitaine, la Martinique et la Guadeloupe ont reçu peu d'attention : les typologies de Martinique et Guadeloupe sont peu poussées et doivent être affinés (Wasson *et al.*, 2004; Chandesris *et al*., 2005). Compte tenu de l'état actuel des connaissances, l'utilisation de nos biotypologies basées sur les communautés de macroinvertébrés et les caractéristiques physico-chimiques des rivières semble plus pertinente que l'utilisation des hydroécoregions strictes fondées sur le climat, la géologie et la végétation.

Nous avons sélectionné **sept métriques** pour l'indice final IBMA. Deux d'entre elles («blocs»

et «vase») sont des **catégories de traits** relatives aux préférences de substrat des invertébrés. La préférence pour les « blocs » (substrats minéraux grossiers) diminue avec l'impact anthropique. Les macroinvertébrés vivant sur les substrats minéraux grossiers sont des taxons rhéophiles (Prodon 1976) qui sont généralement polluosensibles en eau tempérées (par exemple Philopotamidae). En revanche, la préférence pour la « vase » augmente avec la dégradation anthropique. Les organismes vivant dans la vase (par exemple Chironomidae, Syrphidae) présentent des adaptations pour survivre dans un environnement pauvre en oxygène (par exemple siphon respiratoire des Syrphidae, l'hémoglobine des Chironomidae) ce qui leur confère une résistance à la pollution. L'inclusion des traits indiquant les fonctions écologiques des taxa a de nombreux avantages (Charvet *et al*., 1998; Dolédec *et al.,* 2006), mais les procédures de « codage flou » des traits bio-écologiques (Chevenet et al, 1994) font défaut dans les zones tropicales où l'autoécologie de la majorité des espèces est mal (ou pas) documentée (Tomanova et Usseglio-Polatera, 2007; Tomanova *et al.,* 2008; Moya *et al*., 2011). Les cinq autres métriques sont des mesures taxonomiques qui diminuent avec l'impact anthropique. Parmi elles, trois métriques (Abondance des Ephéméroptères [B + C], Nombre de taxons ETC [A + B] et nombre de taxons de Trichoptères [B + C]) prennent en compte les Ephéméroptères et les Trichoptères, qui sont des taxons bien connus pour leur sensibilité à la dégradation de l'environnement (Gabriels et *al* ., 2010). L'Abondance des Ephéméroptères est rarement utilisée dans les indices multimétriques (par exemple Moya *et al*., 2007), bien que les Ephéméroptères soient répandues dans les rivières et particulièrement rares sur les sites très impactés. Enfin, la richesse taxonomique ('Nombre de taxons [B + C]') et l'indice de diversité de Shannon (Indice de Shannon [B + C]) sont parmi les indicateurs les plus fiables dans la plupart des indices multimétriques, et montrent une bonne réactivité aux perturbations anthropiques. Par conséquent, ils sont largement utilisés dans plusieurs index multimétriques à la fois en zone tempérée (par exemple Böhmer *et al*., 2004 ; Mondy *et al*., 2012) et en zone tropicale (par exemple Moya *et al*., 2011 ; Jun *et al.*, 2012 ; Helson et Williams, 2013). Enfin, les métriques incluses dans l'IBMA concernent toutes les phases du **protocole d'échantillonnage** [A, B, C], ce qui confirme que le protocole d'échantillonnage de l'AFNOR développé pour la France métropolitaine est pertinent et peut être utilisé en terrain tropical sans modification.

L'IBMA répond aux exigences de la DCE en prenant en compte l'abondance et la diversité des taxons. Une autre exigence de la DCE est que l'évaluation écologique doit considérer la sensibilité des taxons à la pollution (European Council, 2000). Aucune des métriques finales ne correspond à une mesure directe de la sensibilité à la pollution des taxons. À ce jour, les valeurs de tolérance manquent pour la faune locale et plusieurs études ont mis en garde que les valeurs de tolérance développées dans les régions tempérées ne sont pas transposables à la zone néotropicale (Moya *et al*., 2007 ; Tomanova *et al*., 2006). Les rapports ET/Diptères et ET/(diptères + Oligochètes) ont été calculées et inclues dans cette étude en tant que mesures de tolérance, mais ils n'ont pas été retenus par notre procédure statistique de sélection des métriques.

La résolution taxonomique est une question importante en bioindication (Bailey *et al*., 2001; Lenat et Resh, 2001 ; Chessman *et al*., 2007). De nombreuses méthodes d'évaluation biologique privilégient l'identification au niveau des familles pour ses avantages de rapidité, commodité et ses avantages économiques (Thorne et Williams, 1997). Cependant, il est souvent affirmé que les espèces congénères présentent différents niveaux de tolérance et des traits écologiques différents. L'identification au niveau taxonomique le plus bas possible (espèce) fournit des données écologiques plus précises, ce qui permet de détecter de multiples facteurs de stress et de discriminer avec plus de précision les différences d'intégrité biologique. Nous avons combiné les identifications au niveau familial (minimum de connaissances en matière de taxonomie, par exemple diptères), identifications au niveau du genre (par exemple, trichoptères, plus Ephemeroptera) et des espèces (par exemple, Odonata, décapodes, Caenidae), et cela semble être un bon compromis entre les besoins des enquêtes de routine et de la sensibilité de l'outil d'évaluation biologique.

En conclusion, l'indice multimétrique proposé (IBMA) est le premier outil de biosurveillance mis au point pour les Petites Antilles françaises. Non seulement il améliore considérablement la détection des sites impactés comparé l'indice de Shannon, mais il répond également autant que possible aux exigences de la DCE compte tenu de l'état actuel des connaissances sur la faune des Antilles françaises. En tant qu'indice généraliste, l'IBMA est sensible à la gamme complète des perturbations potentielles (y compris à la fois la dégradation de la qualité de l'eau et la dégradation de l'habitat). Il tient compte des caractéristiques taxonomiques et des traits biologiques des assemblages de macroinvertébrés benthiques. Pour apporter des améliorations à cet indice, les typologies des cours d'eau de la Martinique et de la Guadeloupe doivent être affinées et des études complémentaires doivent être menées afin d'améliorer nos connaissances biologiques et écologiques de la faune locale (en particulier en ce qui concerne la sensibilité des taxons à la pollution).

9. Références

AFNOR, 2009. Qualité de l'eau. Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu pro- fondes. XP T 90-333. *Afnor*, 1–15.

Bailey R., Norris R. and Reynoldson T., 2003. Bioassessment of freshwater ecosystems using the refer- ence condition approach. Kluwer Academic Publishers, New York, USA.

Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B. and Stribling J.B., 2009. Biological Data Analysis. In: A Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish. Second Edition. Rep. EPA/841-B-99–002, US EPA, Off. Water, Washington, DC.

Bernadet C., Touron-Poncet H., Céréghino R. (in prep) Distribution and habitat preferences of river macroinvertebrates in the French West Indies (Martinique, Guadeloupe).

Bernadet, C., H. Touron-Poncet, C. Desrosiers, A. Compin, N. Bargier,R. Céréghino 2013. Invertebrate distribution patterns and river typology for the implementation of the water framework directive in Martinique, French Lesser Antilles. knowledge and management of aquatic ecosystems 408, 01.

Böhmer, J., C. Rawer-Jost, A. Zenker, C. Meier, C. K. Feld, R. Biss,D. Hering 2004. Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: Development of a multimetric invertebrate based assessment system. Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters 34, 416-432.

Bonada, N. r., N. s. Prat, V. H. Resh,B. Statzner, 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: A Comparative Analysis of Recent Approaches. 51: 495-523.

Boulton A.J., Boyero L., Covich A.P., Dobson M., Lake S. and Pearson R.G., 2008. Are tropical streams ecologically different from temperate streams? In: Dudgeon D. (ed.), Tropical Stream Ecology, Academic Press, San Diego, 257–284.

Chandesris, A., J. G. Wasson,H. Pella 2005. Hydro-écorégions de la Martinique : Propositions de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Rapport Cemagref, 19 pp.

Charvet, S., A. Kosmala,B. Statzner, 1998. Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: perspectives for a general tool in stream management. Archiv Fur Hydrobiologie 142, 415-432.

Chevenet, F., S. Dolédec,D. Chessel, 1994. A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. Freshwater Biology 31, 295-309.

Chessman B., Williams, S., Besley, C., 2007. Bioassessment of streams with macroinvertebrates: effect of sampled habitat and taxonomic resolution. Journal of the North American Benthological Society 26, 546-565.

Coat, S., 2009. Identification du réseau trophique de rivière et étude de sa contamination par les pesticides organochlorés (Chlordécone et ß-HCH) en Guadeloupe, Université des Antilles et de la Guyane: 253 pp.

Compin A. and Céréghino R., 2007. Spatial patterns of macroinvertebrate functional feeding groups in streams in relation to physical variables and land-cover in Southwestern France. Landscape Ecol., 22, 1215–1225.

Cruiskshank M.M. and Tomlison R.W., 1996. Application of CORINE land cover methodology to the UK. Some issues raised from Northern Ireland. Global Ecol. Biogeogr., 4/5, 235–248.

Doledec, S., Philips, N., Scarsbrook, M.R., Riley, R.H., Townsend, C.R., 2006. A comparison of structural and functional approaches to determining land-use effects on grassland stream invertebrate communities. Journal of the North American Benthological Society 25, 44–60.

ENSAT (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse), 1995. Étude faunistique des rivières martiniquaises. ENSA-Toulouse Technical Report, 1–216.

European Council, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy, 1–72.

Gabriels W., Lock K., De Pauw N. and Goethals P.L.M., 2010. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium). Limnologica, 40, 199–207.

Gonçalves V., Raposeiro P. and Costa A.C., 2008. Benthic diatoms and macroinvertebrates in the as- sessment of the ecological status of Azorean stream. Limnetica, 27, 317–328.

Gotelli, N. J.,D. J. McCabe, 2002. Species co-occurence: A meta-analysis of J.M. Diamond's assembly rules model. Ecology, 83, 2091-2096. Ecology, 2091-2096.

Helson, J. E.,D. D. Williams ,2013. Development of a macroinvertebrate multimetric index for the assessment of low-land streams in the neotropics. Ecological Indicators 29, 167-178.

Hering D., Feld C.K., Moog O. and Ofenböck T., 2006. Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. Hydrobiologia, 566, 311–324.

Hughes S.J., 2005. Application of the Water Framework Directive to Macaronesian freshwater systems. Biol. Environ., 105, 185–193.

Jun, Y. C., D. H. Won, S. H. Lee, D. S. Kong,S. J. Hwang, 2012. A Multimetric Benthic Macroinvertebrate Index for the Assessment of Stream Biotic Integrity in Korea. International Journal of Environmental Research and Public Health 9, 3599-3628.

Lenat, D. R., Resh V.H., 2001. Taxonomy and stream ecology - The benefits of genus- and species-level identifications. Journal of the North American Benthological Society 20, 287-298.

Lions J., Allier D., Pinson S. and Vittecoq B., 2008. Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines en Martinique. Technical Report BRGM RP-

56748-FR, 124 p.

Lücke J.D. and Johnson J., 2009. Detection of ecological change in stream macroinvertebrate assem- blages using single metric, multimetric or multivariate approaches. Ecol. Indic., 9, 659–669.

Ofenböck, T., J. Gerritsen,M. Barbour, 2004. A stressor specific multimetric approach for monitoring running waters in Austria using benthic macro-invertebrates. Hydrobiologia 516, 251-268.

Mondy C.P., Villeneuve B., Archaimbault V. and Usseglio-Polatera P., 2012. A new macroinvertebrate- based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. Ecol. Indic., 18, 452–467.

Moya, N., R. M. Hughes, E. Dominguez, F. M. Gibon, E. Goitia, T. Oberdorff, 2011. Macroinvertebrate-based multimetric predictive models for evaluating the human impact on biotic condition of Bolivian streams. Ecological Indicators 11, 840-847.

Prodon, R., 1976. Le substrat, facteur écologique et éthologique de la vie aquatique :

Observations et expériences sur les larves de Micropterna testacea et Cordulegaster annulatus. Thèse de doctorat de l'université de Lyon 1, 221 pp.

R Development Core Team, 2008. R: A language and Environment for statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: http://R-project.org.

Tachet, H., P. Richoux, M. Bournaud,P. Usseglio-Polatera, 2010. Invertébrés d'eau douce-Systématique, biologie, écologie. CNRS éditions, Paris.

Thorne, R. S., Williams, W. P., 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: A multimetric system of bioassessment. Freshwater Biology 37, 671-686.

Tomanova, S., N. Moya,T. Oberdorff , 2008. Using Macroinvertebrate Biological Traits for Assessing Biotic Integrity of Neotropical Streams. River Research and Applications 24, 1230-1239.

Tomanova, S.,P. Usseglio-Polatera, 2007. Patterns of benthic community traits in neotropical streams: relationship to mesoscale spatial variability. Fundamental and Applied Limnology 170, 243-255.

Touron-Poncet, H., C. Bernadet, A. Compin, N. Bargier,R. Céréghino , 2013. River classification as the basis for freshwater biological assessment in overseas Europe: Issues raised from Guadeloupe (French Lesser Antilles). International Review of Hydrobiology 98, 34-43.

Wasson, J. G., A. Chandesris,H. Pella, 2004. Hydro-écorégions de la Guadeloupe. Proposition de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Rapport Cemagref, 20 pp.

10. Annexes

ANNEXE 1 Tableau 13. Niveaux de détermination pour les différents grands groupes de macroinvertébrés benthiques.

Taxa		Niveau taxonomique
Hydracarina		Phylum
Nemertea		Phylum
Polychaeta		Classe
Oligochaeta		Classe
Turbellaria		Famille
Annelida		Famille
Mollusca/Gastropoda	Sauf Gundlachia radiata, Amerianna carinata	Famille
	Gundlachia radiata, *Amerianna carinata*	Espèce
Mollusca/Bivalvia		Espèce
Crustacea/Amphipoda		Genre
Crustacea/Decapoda	Sauf Macrobrachium sp., Potimirim sp.	Espèce
	Macrobrachium sp., *Potimirim sp.*	Genre
Crustacea/Malacostraca		Espèce
Crustacea/Ostracoda		Classe
Trichoptera		Genre
Ephemeroptera	Sauf Caenidae	Genre
	Caenidae	Espèce
Heteroptera		Genre
Coleoptera	Sauf Staphilinidae	Genre
	Staphilinidae	Famille
Diptera	Sauf Ceratopogonidae, Chironomidae, Psychodidae Maruina sp.	Famille
	Ceratopogonidae, Chironomidae (Sauf Chironominae)	Sous-Famille
	Chironominae	Tribu
	Psychodidae *Maruina sp.*	Genre
Odonata		Espèce
Lepidoptera	Sauf Pyralidae	Ordre
	Pyralidae	Famille

ANNEXE 2 Tableau 14. Résultats des analyses physico-chimiques de chacune des stations de Guadeloupe et pour chacune des trois campagnes de prélèvements (carême 2010, hivernage 2010, carême 2011, carême 2012).

Réseaux	Code station	date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
RCS	BDI	1-mars-2011	7,7	92	0,64	1,26	0	0,59	0,053	0	0	0	0,2	0,4	1,41	23,9	7,7	82	5,9	2	7,7	0,34	9	1,7	30,51	2,5	3,6	25,52
		novembre 2010	8,55	101,20	1,10	1,01	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	13,60	16,40	23,60	7,26	69,20	4,10	1,50	6,66	0,61	8,93	2,08	24,40	2,00	2,40	16,08
		juin-10	7,91	99,3	1,6	1,488	30	0,84	0,05	0,05	1	0,1	0,37	0	1,33	27,33	8,22	93	1,29	0,4	3,52	0,4	7,79	1,71	24,4	2	2,8	17,97
RCS	BDM	mars-11	8,5	102	0,64	1,26	0	0,59	0,053	0	0	0	0,2	0,4	1,41	22,2	7,59	88	5,9	2	7,7	0,34	9	1,7	30,51	2,5	3,6	25,52
		novembre 2010	8,70	103,00	0,80	1,22	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	5,20	2,10	22,80	7,18	60,70	4,91	1,93	7,27	0,42	9,60	2,44	24,40	2,00	2,20	18,65
		juin-10	7,72	90,5	0,8	1,318	30	0,73	0,05	0,05	1	0,1	0,34	2,8	0,702	23,66	7,72	66	2,52	1,12	5,73	0,4	8,58	1,68	24,4	2	3,3	23,97
RCS	BSC	mars-11	6,72	84,7	1,6	1,76	10	0,62	0,05	0,05	1	0,1	0,15	6,4	1,56	24,9	6,46	174	4,8	2,1	9,7	0,68	14	2,7	24,4	2	3,6	27,58
		novembre 2010	8,23	98,00	1,00	1,19	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	2,61	24,20	7,15	76,90	3,41	1,77	8,14	0,51	11,20	2,48	15,81	1,50	2,90	14,88
		juin-10	7,97	100,9	0,50	2,14	30,00	0,45	0,05	0,05	1,00	0,10	0,25	2,00	5,36	27,37	7,73	97	2,50	1,32	7,55	0,77	10,10	2,90	15,85	1,50	2,60	29,12
RCS	CAA	mars-11	8,9	102	1,9	1,16	1	1,09	0,052	0,004	0,491	0	0,21	1,6	0,888	22	7,53	104	5,4	1,5	5,2	0,38	6,4	2	24,4	2	3,1	21,4
		novembre 2010	8,41	99,50	1,70	1,20	0,00	0,78	0,00	0,00	4,57	0,00	0,17	0,00	0,44	24,50	7,57	94,00	8,15	2,52	7,42	0,82	8,82	2,36	36,61	3,00	4,10	32,39
		juin-10	8,49	100,9	0,7	1,374	30	0,73	0,05	0,05	1	0,1	0,33	0	1,02	24,67	7,92	71	3,07	0,884	4,58	0,45	5,52	1,81	18,31	1,5	2,9	17,45
RCS	GAM	mars-11	5,6	64	0,97	1,48	16	0,92	0,046	0,003	0,467	0	0,22	1,2	1,61	19,2	7,23	73	6,7	1,7	7	1,2	7,4	3,3	30,51	2,5	2,7	38,57
		novembre 2010	7,65	90,00	1,10	1,75	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,87	21,10	6,88	32,10	6,17	1,57	6,42	1,65	6,59	3,66	30,51	2,50	4,80	31,18
		juin-10	8,27	93,6	0,6	1,645	30	0,28	0,05	0,05	1	0,1	0,62	0	0,576	21,64	7,13	36	4,24	0,992	5,4	0,91	6,39	4,22	18,31	1,5	2,6	9,72
RCS	GAP	mars-11	9,2	104	1	1,62	30	0,67	0,045	0,016	0,364	0,1	0,17	1,8	0,363	21,2	7,62	373	39	12	20	3,3	34	111	42,71	3,5	14,5	56,07
		novembre 2010	8,30	97,20	1,00	1,46	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,30	23,00	7,42	242,00	30,90	8,32	15,40	2,49	24,10	92,90	48,82	4,00	10,60	45,09
		juin-10	7,71	94,7	0,4	1,589	30	1,01	0,05	0,05	1	0,1	0,06	0	0,284	25,91	7,68	253	22,8	5,62	12	2,23	18,5	71,8	24,4	2	13,4	48,35
RCS	GCP	mars-11	8,2	98	1,5	1,72	0	0,48	0,049	0,004	0,675	0	0,22	1,8	0,942	24,4	7,97	272	17	5,3	10	1,9	18	24	36,61	3	5,5	32,9
		novembre 2010	7,70	92,00	2,30	1,36	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	0,47	24,20	7,46	152,00	24,80	8,04	13,70	2,57	26,90	28,00	61,02	5,00	8,00	44,06
		juin-10	8,53	107,3	0,8	1,3	30	0,62	0,05	0,05	1,8	0,1	0,43	3,4	1,17	27,07	8,17	189	11,5	3,65	7,37	1,32	15	16,5	42,71	3,5	4	32,21
RCS	GGA	mars-11	7,59	97,2	1,8	1,06	15	0,67	0,05	0,05	0,66	0,1	0,13	6,4	2,3	26,3	6,59	179	6,6	2,1	8,9	0,73	13	1,9	30,5	2,5	3,9	23,12
		novembre 2010	8,38	100,00	1,30	1,13	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	2,60	2,23	24,60	7,16	83,10	5,50	2,10	7,64	0,41	10,30	1,99	24,40	2,00	2,20	15,39
		juin-10	7,9	98,4	0,60	1,81	30,00	0,45	0,05	0,05	1,00	0,10	0,17	6,70	3,02	27,55	8,04	89	3,97	1,37	7,05	0,88	9,47	2,27	24,40	2,00	2,60	21,57

Réseaux	Code station	date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
RCS	GPA	mars-11	7,18	87,9	1	1,408	0	1,12	0,032	0	0	0	0,27	1	0,95	23,6	6,4	572	27	11	17	2	23	98	24,4	2	12,1	44,4
		novembre 2010	9,15	109,00	0,90	1,33	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	12,00	6,00	24,20	6,12	224,00	22,40	7,13	16,30	1,39	20,40	93,10	12,69	0,00	18,00	30,50
		juin-10	7,97	99,8	0,60	1,04	30,00	0,40	0,05	0,05	1,00	0,10	0,39	0,00	0,59	27,06	5,21	323	22,50	6,73	14,40	1,46	17,20	90,50	2,93	1,50	10,20	37,36
RCS	HEC	mars-11	8,2	98	1	1,56	30	0,59	0,043	0,018	1	0,1	0,17	3,6	0,954	22,1	6,5	220	24	6,6	13	2	14	14	85,43	7	10,8	68,61
		novembre 2010	7,70	94,50	2,00	1,74	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	5,69	22,20	6,85	210,00	23,10	5,39	12,40	3,17	13,40	50,00	61,02	5,00	11,40	50,24
		juin-10	7,93	89,8	0,6	1,489	41	0,95	0,05	0,051	3,01	0,1	0,43	4	0,633	22,24	7,25	238	25,5	5,99	13,4	3,59	15,9	63,8	42,71	3,5	14,2	56,42
RCS	LED	mars-11	9,5	108	2,47	0,618	0	0,76	0,054	0	0	0	0,23	1,6	2,11	22,8	7,69	87	6,9	1,9	8	0,52	7,9	1,2	30,51	3	2,8	31,7
		novembre 2010	8,58	97,90	1,40	1,19	0,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	1,69	22,90	7,44	79,90	5,70	1,67	7,25	0,45	8,63	1,15	30,51	2,50	5,20	26,55
		juin-10	8,09	96,1	1,2	1,717	30	0,78	0,05	0,05	1	0,1	0,36	2,6	2,57	24,41	7,58	47	3,4	0,9	5,53	0,4	6,81	1,23	18,31	1,5	1,4	17,97
RCS	MPP	mars-11	7,5	94	1,5	0,805	1	1,43	0,043	0,005	0	0	0,17	4,4	2,07	27,6	8,03	81	5,1	1,4	6,7	0,32	7,8	1,1	24,4	2	3	18,31
		novembre 2010	8,71	99,90	1,80	1,30	0,00	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	2,85	22,10	7,47	76,50	6,50	1,79	7,33	0,45	8,58	1,60	30,51	2,50	4,90	21,06
		juin-10	8,38	101,8	1,3	1,607	30	0,67	0,05	0,05	1	0,1	0,31	4,4	2,43	25,66	8,09	82	3,94	1,14	5,2	0,4	6,11	1,39	18,31	1,5	2,4	16,42
RCS	MPT	mars-11	7,94	95,3	0,9	1,39	0	1,09	0,056	0	0	0	0,17	0,2	0,892	22,7	7,38	132	1,6	1,2	5,8	0,22	6,7	1,1	24,4	2	3,2	21,74
		novembre 2010	8,74	99,60	1,20	1,28	0,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	1,14	21,00	7,47	68,00	4,80	1,37	1,03	0,51	7,23	1,03	30,51	2,50	4,80	26,55
		juin-10	8,96	108,8	1	1,376	30	0,56	0,05	0,05	1	0,1	0,34	2,8	0,692	25,36	8,11	66	2,75	0,888	4,76	0,26	5,57	1,13	18,31	1,5	1,2	16,42
RCS	NOA	mars-11	8,2	95,5	1,6	1,57	2	0,81	0,05	0,05	1	0,1	0,21	1,6	4,21	24,3	7,17	151	6,7	3,8	17	1,4	24	6	36,61	3	3,2	36,68
		novembre 2010	8,71	96,00	1,70	2,59	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	15,00	28,10	24,80	7,31	149,20	6,32	3,07	13,20	2,32	18,80	5,03	30,51	2,50	4,80	21,54
		juin-10	7,18	89,5	0,60	2,19	30,00	0,40	0,05	0,05	1,00	0,10	0,28	3,60	5,54	26,38	7,59	168	4,18	2,55	13,60	1,13	19,60	6,40	18,31	1,50	3,60	27,24
RCS	PBS	mars-11	8,76	102	1,3	1,58	1	0,78	0,05	0,05	0,38	0,1	0,2	1,6	0,544	22,8	7,72	109	6,7	3,2	9,5	0,65	14	3,5	36,61	3	3,8	32
		novembre 2010	8,12	96,70	1,00	1,07	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,75	23,80	7,31	101,80	6,09	2,95	9,28	1,16	12,40	3,33	36,61	3,00	6,20	24,66
		juin-10	8,57	101,1	0,60	1,33	30,00	0,40	0,05	0,05	1,00	0,10	0,26	2,00	0,88	24,58	8,03	98	4,49	2,26	9,33	0,89	13,40	4,32	24,40	2,00	3,00	29,98
RCS	PEE	mars-11	7,62	91,2	1,6	1,11	29	0,64	0,049	0,017	1	0,1	0,17	1,2	0,587	22,9	7,49	276	17	4,4	9,2	1,3	11	39	24,4	2	2,4	43,03
		novembre 2010	8,35	99,50	1,20	1,45	0,00	0,73	0,00	0,00	2,27	0,00	0,11	0,00	0,97	24,20	7,72	195,80	15,20	4,08	8,68	1,70	10,30	30,90	30,51	2,50	3,80	37,71
		juin-10	8,8	107,1	0,5	0,679	30	0,95	0,05	0,05	1,25	0,1	0,09	0	0,546	25,45	7,86	111	10,8	2,66	6,84	1,22	7,23	28,9	18,31	1,5	3,1	33,93
RCS	PLV	mars-11	7,19	85,3	1,3	2,3	30	0,76	0,065	0,016	1	0,1	0,18	3,4	5,95	22,7	7,53	194	11	2,4	11	1,7	10	2,8	36,61	3	4	45,43
		novembre 2010	8,60	102,00	0,90	2,08	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	2,80	8,27	21,80	7,49	91,20	5,95	2,10	9,02	1,96	9,62	3,15	36,61	3,00	3,60	32,56
		juin-10	6,81	80	0,9	2,329	30	0,78	0,066	0,05	1	0,1	0,183	0	2,28	23,83	7,76	101	6,25	2,15	9,95	1,86	10,7	4,8	30,51	2,5	3,8	37,02

Réseaux	Code station	date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si

RCS	ROJ	mars-11	8,6	107	1,3	1,61	0	0,5	0,054	0,003	0	0	0,18	3,4	0,572	22,9	7,45	79	5,3	1,7	6,7	0,41	8,1	0,95	24,4	2	3,2	24,32
		novembre 2010	7,90	95,00	1,70	1,18	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	1,22	25,00	7,24	69,10	4,64	1,72	6,59	0,46	8,41	0,00	24,40	2,00	3,90	24,15
		juin-10	7,73	94,2	0,9	1,516	30	0,84	0,05	0,05	1	0,1	0,58	0	0,722	25,42	7,99	81	4,56	1,53	6,43	0,4	7,42	1	24,4	2	2,8	14,49
RCS	VHE	mars-11	8,07	100,9	1,6	1,48	30	0,87	0,054	0,011	1	0,1	0,16	0,8	0,291	25,5	8,14	83	5,8	1,6	6	0,36	6,3	2,3	24,4	2	3,4	30,15
		novembre 2010	8,60	101,00	1,50	1,46	0,00	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,31	23,50	7,35	46,80	5,83	1,71	5,76	0,62	5,91	2,44	30,51	2,50	5,20	22,09
		juin-10	7,91	82,5	0,5	1,091	30	0,67	0,05	0,05	1	0,1	0,157	0	0,394	25,76	7,92	66	4,89	1,35	5,32	0,454	5,4	2,71	24,4	2	3	24,83
RCS	VHG	mars-11	8,6	100	1,6	0,552	30	0,7	0,047	0,009	1	0,1	0,17	0,2	0,36	21,6	7,7	81	5,7	1,5	5,6	0,41	5,7	2,0	24,4	2	3,4	26,38
		novembre 2010	8,70	102,00	1,60	1,27	0,00	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,30	22,10	7,15	71,40	6,16	1,66	5,61	0,58	5,64	2,25	30,51	2,50	3,80	23,80
		juin-10	8,18	96,4	0,9	1,076	30	0,73	0,072	0,05	1	0,1	0,123	0	0,383	23,87	7,91	65	4,93	1,42	2,78	0,68	5,36	2,78	24,4	2	2,9	25
RC	BAB	novembre 2010	5,4	67	0,6	2,2	22	1,4	0,05	1	10,5	0,06	0,14	13	5,7	26,5	6,35	223	15	2,7	18,4	2,2	22,6	10,5	58	4,75	5,2	12
		mars-11	3,61	44,1	2,600	0,000	3,200	4,800	6,600	0,090	1,800	0,100	0,420	26,000	5,200	25,2	6,7	243	13,000	3,100	16,800	2,100	23,200	5,900	79,900	6,550	4,600	4,700
RC	BEP	novembre 2010	8,64	102,6	0,5	0,9	20	1	0,05	0,02	1	0,07	0,02	11	3,1	24,1	8,02	115,6	8,2	3,8	9,5	0,8	9	5,3	45	3,7	3,6	14,9
		mars-11	8,26	102	0,700	0,000	0,700	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,020	21,000	2,700	26	8,19	141,6	13,000	2,900	11,200	0,900	10,700	6,600	56,100	4,600	4,300	23,300
RC	CAP	novembre 2010	8,55	99	0,5	0,6	20	1	0,05	0,02	1	0,04	0,02	14	0,68	21,9	7,42	57,1	4,2	1,1	4,9	0,5	4,8	2,4	24,5	2	1,7	17,7
		mars-11	8,6	98,3	0,800	0,000	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,030	0,000	7,400	1,000	21,1	7,74	66,7	5,500	1,400	5,700	0,500	5,300	2,800	27,800	2,300	2,000	20,400
RC	GAA	novembre 2010	7,85	97	0,7	0,4	20	1	0,05	0,02	6,4	0,13	0,04	70	17	26,4	8,15	372	23	12,6	22,1	4,4	21	38	112	9,2	11,4	33,1
		mars-11	8,74	105	0,500	0,000	0,600	0,000	0,000	0,000	5,100	0,070	0,070	70,000	17,000	25	8,49	388	26,000	13,400	23,000	4,400	21,800	40,700	105,000	8,600	12,100	30,300
RC	GAB	novembre 2010	8,4	100,1	0,5	1,2	20	1	0,05	0,02	1	0,02	0,02	17	2,7	20,6	7,14	147,1	12	3,3	6,6	1,1	15,1	32,1	9,73	0,8	4,6	11,3
		mars-11	8,84	101,6	0,600	0,000	0,400	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	13,000	1,200	18,7	6,8	574	61,000	16,200	19,700	3,600	70,000	156,000	11,400	0,950	22,200	24,400
RC	GBB	novembre 2010	5,2	63,5	1,6	1,6	20	1	0,05	0,02	1,6	0,12	0,07	27	9,1	25	6,78	118	6,6	2,6	10,2	1	13,7	2,7	38,7	3,15	2,9	22,7
		mars-11	8,86	91,2	1,700	0,000	1,200	0,600	0,440	0,000	1,400	0,100	0,060	24,000	3,400	23,7	6,7	120,5	6,100	3,000	8,600	0,800	14,500	2,600	42,100	3,450	2,900	11,500
RC	GCDg	mars-11	8,28	94	0	0	0,8	0	0	0,000	0,000	0,040	0,000	2,200	0,770	22,9	7,82	81,4	7,200	2,300	5,900	1,000	10,600	10,500	19,700	1,600	2,800	18,500

Réseaux	Code station	date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
RC	GGP	novembre 2010	8,4	98	0,5	0,4	20	1	0,05	0,02	1	0,02	0,02	2	0,63	22,2	7,23	55,7	3,3	1,4	5,3	0,5	6	1,3	21,1	1,75	1,5	15,8

		mars-11	8,52	100,9	0,800	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,200	22,7	7,4	62,4	4,200	1,400	5,800	0,000	7,000	1,200	22,000	1,850	1,700	15,100
RC	GRL	novembre 2010	5,42	67,6	0,5	1	22	1	0,05	0,02	1,2	0,01	0,02	16	15	26,6	10,56	290	10	1,2	10,5	1	14,5	7,1	31,2	3	3,6	11,9
		mars-11	5,95	73,8	0,000	0,000	0,900	0,000	0,000	0,000	1,300	0,000	0,000	3,400	3,300	26,3	6,8	133,5	9,000	1,500	10,900	0,600	14,800	3,900	36,800	3,000	3,200	11,300
RC	HEM	novembre 2010	8,4	102,5	0,8	1,2	28	1	0,15	0,15	6,4	0,46	0,16	24	4,6	25,2	8,18	283	24	6,7	14,9	3,7	16,9	42,2	63,1	5,55	9,4	27,4
		mars-11	9,24	111,3	0,500	0,000	1,100	0,000	0,000	0,000	4,500	0,180	0,070	27,000	2,800	24,5	7,63	74,2	29,000	8,100	15,900	3,400	18,200	62,000	44,400	4,450	10,400	26,800
RC	LORg	mars-11	8,29	94	0		0	0	0	0,000	0,000	0,090	0,000	2,800	0,360	23,1	7,94	106,1	8,000	2,500	9,200	0,800	10,900	5,700	36,900	3,050	3,000	31,500
RC	MOAg	mars-11	8,37	97,3	0,5	0	0,5	0	0	0,000	0,000	0,050	0,000	2,400	1,100	24,3	7,69	56,5	4,300	1,200	5,200	0,000	5,900	1,000	23,000	1,900	1,600	19,900
RC	MOMg	mars-11	7,91	94,3	0	0	0,5	0	0	0,000	0,000	0,050	0,000	3,800	1,100	25,4	7,75	58,7	4,800	1,300	5,300	0,000	6,100	1,100	23,800	1,950	1,700	20,700
RC	MPD	novembre 2010	8,82	101,1	0,5	0,6	25	1	0,05	0,02	1	0,04	0,02	12	1,8	21,7	7,36	70,7	4,1	1,3	6,2	0,5	6,9	1,1	28,5	2,35	1,7	23,9
		mars-11	9,8	115,6	0,000	0,000	0,500	0,000	0,000	0,000	0,200	0,030	0,000	11,000	1,500	23	8,69	309	5,100	1,500	6,800	0,500	7,100	1,000	28,500	2,350	1,800	10,700
RC	MSA	novembre 2010	8,24	91	0,5	0,5	20	1	0,05	0,02	1	0,01	0,02	24	1,4	24,8	6,76	96	4	2,3	9,9	0,9	14,1	4	21,6	1,8	2	9,3
		mars-11	8,41	97	0,000	0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	1,100	0,000	0,000	17,000	2,200	22,5	6,72	99,8	4,500	2,500	10,100	0,900	14,300	3,900	24,500	2,000	2,200	10,800
RC	MSD	novembre 2010	7,95	95	0,5	0,5	20	1	0,05	0,02	1	0,03	0,02	6,2	0,75	24,4	7,13	87,9	3,6	2,1	9,3	0,8	13,4	4	21,6	1,75	1,8	19,5
		mars-11	8,54	99	0,000	0,000	0,700	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000	0,000	15,000	1,200	22,3	6,88	92,1	4,000	2,300	9,500	0,800	13,400	4,200	22,000	1,800	2,000	11,200
RC	NOSg	mars-11	7,49	88,7	0	0	1,3	0	0	0,000	0,000	0,050	0,000	2,200	3,300	24,7	7,27	103,2	4,000	2,500	12,000	1,000	17,500	5,100	20,800	1,700	2,100	26,600
RC	OHP	novembre 2010	5,9	71,7	1	2,8	24	7,3	0,05	0,13	1,3	0,27	0,21	23	17	26,5	7,61	353	15	3,3	27,5	3,6	38,6	9,7	93,3	7,65	5,3	16,9
		mars-11	4,24	51,3	1,800	0,000	3,900	12,100	0,710	0,090	0,000	1,230	0,610	37,000	14,000	25,3	7,24	356	13,000	2,200	29,100	2,500	37,700	10,900	117,000	9,550	5,200	10,900
RC	PEBg	mars-11	8,25	96,3	0	0	1	0	0	0,000	1,200	0,050	0,000	2,600	0,440	24,6	7,51	53,4	3,600	1,500	4,500	0,600	5,500	2,500	18,100	1,500	1,500	18,100
RC	PECg	mars-11	8,22	94,1	0,6	0	0,9	0	0	0,000	0,000	0,040	0,000	0,000	1,900	22	7,53	43,6	3,000	0,900	3,900	0,000	4,800	2,700	14,500	1,200	1,200	15,800
RC	PEP	novembre 2010	5,32	63,5	1	3,2	23	1,3	0,05	1,1	20,5	0,36	0,18	31	33	25	7,42	320	27	4,8	11,8	7,4	27,8	6,1	80,4	6,6	9,1	12,3
		mars-11	8,235	95,2	0,3	0	0,95	0	0	0	0,6	0,045	0	1,3	1,17	23,3	7,52	48,5	3,3	1,2	4,2	0,3	5,15	2,6	16,3	1,35	1,35	16,95
RC	PGG	novembre 2010	7,1	83,5	2,2	1,6	20	3	3,6	0,02	1	0,44	0,17	11	5,9	26,1	7,52	124	7,6	3	11,9	2	11,5	4,4	53,2	4,35	3,3	21,2
		mars-11	9,14	107,2	3,3	0	1,7	9,1	9	0,040	0,000	0,840	0,400	20,000	10,000	23,600	7,530	88,800	9,300	2,200	12,600	2,100	14,800	6,900	81,400	6,650	3,300	16,900
RC	PLP	novembre 2010	8,3	98,5	0,8	1,1	20	1	0,05	0,02	1,2	0,17	0,05	13	6,9	24,3	7,5	109,3	6,2	2,3	10,3	2,5	10,2	3,7	41,5	3,4	2,6	28,2
		mars-11	8,39	98	0,500	0,000	1,200	0,000	0,000	0,000	0,600	0,110	0,040	29,000	2,700	22,7	7,78	109,4	6,700	2,400	11,100	2,100	10,300	3,400	40,800	3,350	2,500	19,000
RC	PPAg	mars-11	8,21	92,8	0	0	0,8	0	0	0,000	0,000	0,070	0,000	3,600	1,100	23,7	7,76	167,3	13,000	4,700	10,800	1,100	13,100	33,500	27,700	2,250	5,200	28,900
RC	PPC	novembre 2010	8,3	96,5	0,6	1,1	24	1	0,05	0,02	1	0,04	0,02	18	4,1	23,1	7,65	151,7	11	4,1	10,8	1	13	20,6	35,5	3	4,4	23
		mars-11	8,51	98	1,000	0,000	1,300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,000	11,000	4,500	22	7,93	180	14,000	5,200	12,600	1,000	15,600	20,700	47,000	4,000	5,500	27,800

Réseaux	Code station	date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
RC	PPG	novembre 2010	8,15	96,5	0,5	1,4	20	1	0,05	0,02	1	0,03	0,02	15	5,9	24,1	7,66	178,2	12	4,7	12,8	1	15	21,2	49	4	5,4	29,5
		mars-11	8,5	101	0,500	0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	16,000	4,100	24,1	7,8	212	15,000	6,200	15,200	1,100	18,400	23,300	51,700	4,450	6,100	21,300
RC	RBA	novembre 2010	8,53	103,5	0,5	1,6	20	1	0,05	0,02	1	0,06	0,03	20	16	25,7	7,91	295	15	7,8	20,8	1,3	30,4	16,2	74,4	6,4	6,6	33,2
		mars-11	8,47	104,7	1,200	0,000	2,400	0,000	0,000	0,020	1,300	0,690	0,280	14,000	7,300	25,9	7,79	344	17,000	8,700	33,400	2,700	42,800	24,400	100,000	8,200	8,300	24,200
RC	ROM	novembre 2010	8,15	97	0,5	0,3	20	1	0,05	0,02	1	0,01	0,02	42	1,4	20,3	4,18	172	12	2,1	6	0,8	4,3	59	0	0	4,3	1

		mars-11	8,8	102,4	0,000	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	52,000	0,830	18,9	4,17	186,000	14,000	2,400	6,400	0,800	4,500	65,000	0,000	0,000	5,100	0,000
RC	SAE	novembre 2010	8,1	96	0,5	0,6	20	1	0,05	0,02	1	0,02	0,02	6,2	2,2	24,6	7	115	5,5	2,7	11,5	0,9	16,6	2,8	34,9	2,85	2,7	19,8
		mars-11	8,61	98,3	0,000	0,000	0,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,200	3,000	21,5	7,37	121,8	6,400	3,000	11,600	1,000	17,100	3,000	33,400	2,750	2,700	17,900
RC	SEB	novembre 2010	8,2	98,5	0,7	1,6	20	1	0,05	0,02	10,2	0,32	0,11	47	7,1	23,9	8,39	306	17	8,6	19,2	4	20,5	22,7	91,8	7,5	9,2	34,8
		mars-11	9,43	113,6	0,900	0,000	1,500	0,000	0,000	0,030	10,300	0,220	0,120	51,000	13,000	24	8,68	308	16,000	8,700	19,900	3,700	23,000	23,900	71,800	6,200	8,100	26,400
RC	SEPg	mars-11	8,22	94,8	0,5	0	2,2	0	0	0,000	5,600	0,410	0,110	4,200	3,400	24,8	8,37	301	28,000	8,200	19,400	4,000	20,400	30,600	103,000	8,450	10,700	40,000
RC	SESg	mars-11	8,16	97,3	0,6	0	2,4	0	0	0,000	4,600	0,250	0,080	4,200	5,900	24,8	8,23	302	20,000	16,500	16,500	3,200	15,300	21,300	78,000	6,400	7,800	38,700

ANNEXE 3 Tableau 15. Résultats des analyses physico-chimiques de chacune des stations de Martinique et pour chacune des trois campagnes de prélèvements (carême 2010, hivernage 2010, carême 2011).

RSR : Réseau de Sites de Référence, RCS : Réseau de Contrôle de Surveillance, GEOCH : sites à géochimie particulière, STEP : sites en aval de stations d'épuration, DOM : sites soumis à une pollution domestique diffuse, PEST : sites en zone agricole, INDUS : sites en aval de rejet industriel.

Réseau	Code station	Date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
RSR	CAN	avr-10	6,70	82,0	0,8	0,80		1,0	0,05	0,02	1,00	0,05	0,02	21	1,4	26,3	7,76	128	8,2	3,0	10,2	1,5	14,6	3,6	41,0	3,4	3,1	18,9
RSR		oct-10	6,11	76,3	4,0	0,56	30	0,5	0,05	0,05	0,32	0,05	0,05	3	1,7	24,5	7,80	100	7,0	2,6	9,7	1,2	11,5	2,5	40,3	3,3		32,5
RSR		mars-11	8,71	99,6	0,6	0,75		0,5	0,05	0,02	0,30	0,05	0,05	1,1		21,9	7,67	112	7,7	2,8	9,5	1,2	11,0	2,4	42,9	3,6		30,0
RSR	CAR	avr-10	8,24	99,2	0,7	0,50		1,0	0,05	0,02	1,00	0,02	0,02	19	4,8	24,9	8,30	142	11,0	3,2	8,7	1,0	13,1	15,1	37,8	3,1	3,5	6,6
RSR		oct-10	6,90	84,6	4,0	0,50	30	0,5	0,05	0,05	0,30	0,05	0,05	3	1,1	23,3	7,16	113	11,0	2,9	8,5	0,9	7,9	6,8	47,6	3,9		31,9
RSR		mars-11	8,75	99,9	0,5	0,50		0,5	0,05	0,02	0,30	0,05	0,05	2,5		21,9	8,37	137	10,3	2,8	8,0	0,8	7,7	8,0	45,5	3,8		28,5
RSR	CER	avr-10	7,85	94,3	0,6	0,80		1,0	0,05	0,02	1,00	0,04	0,02	24	4,9	24,6	8,17	160	11,0	3,3	11,1	1,2	18,0	4,9	30,3	2,5	4,3	13,6
RSR		oct-10	6,77	81,6	4,0	0,72	30	0,5	0,05	0,05	0,52	0,05	0,05	2	0,5	23,9	8,05	116	12,0	3,1	11,0	1,1	10,8	2,8	61,0	5,0		39,6
RSR		mars-11	8,24	99,6	0,6	0,90		0,5	0,05	0,02	0,41	0,05	0,05	4,2		24,9	8,31	150	11,7	3,0	10,2	1,1	10,6	2,9	57,7	4,8		34,4
RSR	GAL	avr-10	7,48	89,6	0,5	0,40		1,0	0,13	0,02	1,00	0,01	0,02	8,8	1,0	24,6	7,55	62	2,8	1,6	6,1	0,5	11,4	2,2	12,1	1,0	1,5	1,5
RSR		oct-10	6,53	79,6	4,0	0,50	30	0,5	0,05	0,14	0,75	0,05	0,05	2	0,4	23,2	7,05	50	2,3	1,4	5,9	0,5	8,6	1,7	14,2	1,2		15,8
RSR		mars-11	8,16	100,7	0,5	0,45		0,5	0,05	0,02	0,53	0,05	0,05	1,7		22,8	7,92	56	2,2	1,3	5,4	0,5	8,2	1,8	12,2	1,0		12,6
RSR	GRD	avr-10	8,52	102,1	0,5	0,90		1,0	0,05	0,02	1,00	0,06	0,03	34	3,1	24,2	8,28	132	9,5	2,8	10,1	1,7	10,9	3,3	46,0	3,8	3,5	9,5
RSR		oct-10	7,20	85,8	4,0	0,82	30	0,5	0,05	0,05	0,47	0,05	0,05	2	0,5	23,3	7,19	102	8,3	2,6	9,3	1,6	8,8	2,4	46,4	3,8		45,8
RSR		mars-11	8,87	108,8	0,5	0,71		0,5	0,05	0,02	0,42	0,05	0,05	2		22,5	8,16	112	8,4	2,5	9,3	1,5	9,2	2,5	45,6	3,8		43,4
RSR	LOR	avr-10	7,74	92,4	0,6	0,30		1,0	0,05	0,02	1,00	0,01	0,02	13	2,6	24,4	7,90	135	14,0	3,8	7,4	0,7	14,7	39,7	22,1	1,8	5,0	6,7
RSR		oct-10	6,38	77,2	4,0	0,60	30	0,5	0,05	0,05	0,30	0,05	0,05	9	1,1	23,1	7,25	99	9,0	2,4	6,6	0,6	6,4	17,1	25,6	2,1		22,5
RSR		mars-11	8,44	95,8	0,5	0,44		0,5	0,05	0,02	0,30	0,05	0,05	6,1		21,7	7,93	129	13,1	3,4	6,8	0,4	7,8	37,0	16,3	1,4		18,4
RSR	PAL	avr-10	7,53	90,0	0,8	0,40		1,0	0,05	0,02	1,00	0,01	0,02	10	1,8	24,4	7,85	75	5,0	1,8	6,3	0,6	14,0	3,9	18,8	1,6	2,0	7,1
RSR		oct-10	6,71	82,1	4,0	0,59	30	0,5	0,05	0,05	0,30	0,05	0,05	2	0,4	24,0	7,07	61	4,0	1,6	6,0	0,6	7,7	2,1	22,4	1,8		21,4
RSR		mars-11	8,30	100,9	0,5	0,70		0,5	0,05	0,02	0,30	0,05	0,05	1,9		22,0	7,96	64	3,6	1,4	5,4	0,5	7,2	2,3	19,3	1,6		16,7

Réseau	Code station	Date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
RSR	PIL	avr-10	4,26	52,6	0,6	3,80		1,0	0,05	0,02	1,10	0,06	0,10	106	98,0	26,8	7,89	1510	57,0	54,5	110,0	4,3	242,0	21,2	259,0	21,3	36,7	12,1
RSR		oct-10	4,65	58,2	5,0	2,26	30	0,5	0,05	0,05	1,53	0,29	0,11	7	1,2	25,7	8,05	1139	51,0	19,0	52,0	3,1	93,2	15,5	219,6	18,0		42,8
RSR		mars-11	5,88	71,7	1,0	5,28		0,7	0,05	0,02	0,38	0,09	0,07	35,2		25,1	8,13	1560	76,8	30,0	90,1	3,5	187,8	16,4	270,4	22,5		37,4
RSR	VAU	avr-10	7,65	100,0	0,5	3,40		1,0	0,05	0,02	1,00	0,22	0,14	75	25,0	30,1	8,11	783	33,0	21,0	58,8	3,8	107,0	22,0	131,0	10,8	16,9	13,8
RSR		oct-10	6,12	81,6	6,0	3,13	32	0,5	0,05	0,05	1,56	0,13	0,05	43	6,8	29,5	8,18	605	89,0	38,0	103,4	4,6	195,0	19,3	370,9	30,4		43,0
RSR		mars-11	8,73	111,9	1,0	3,85		0,5	0,05	0,02	0,69	0,35	0,15	8		28,0	8,31	742	44,4	16,9	50,0	2,9	89,2	15,0	181,4	15,1		38,3
RCS	ACR	avr-10	8,14	97,0	4,0	0,71	30	1,0	0,02	0,05	0,34	0,04	0,02	1	0,4	24,3	8,03	134	13,7	3,6	11,8	3,6	12,4	3,4	64,5	5,3	4,9	30,2
RCS		oct-10	7,90	95,2	1,0	1,65	16,2	0,1	0,01	0,05	0,55	0,05	0,01	5,5	1,3	24,1	7,92	119	10,8	2,9	9,7	1,1	9,5	2,4	55,6	4,6	3,9	35,3
RCS		mars-11	8,36	98,9	0,5	10,35	30	0,5	0,05	0,50	0,36	0,05	0,05	4,7	0,5	24,8	8,27	155	12,7	3,3	11,1	1,3	11,4	2,9	60,1	5,0	4,5	38,9
RCS	BER	avr-10	7,11	87,2	4,0	0,63	33	1,0	0,02	0,01	2,99	0,05	0,03	3,6	3,6	27,6	8,25	171	15,4	4,9	11,9	1,3	15,3	6,1	64,3	5,3	5,9	28,0
RCS		oct-10																										
RCS		mars-11	8,42	106,7	0,9	0,79	30	0,7	0,05	0,50	3,57	0,05	0,08	12,1	3,4	27,6	7,96	169	13,1	4,1	10,4	1,2	12,9	5,3	56,8	4,7	4,9	28,5
RCS	CAF	avr-10	7,68	98,3	4,0	0,68	19,7	1,0	0,01	0,05	0,06	0,03	0,03	20,1	2,9	28,8	8,34	147	14,5	4,4	11,5	1,2	9,8	6,3	69,1	5,9	5,5	29,3
RCS		oct-10	7,28	96,5	2,0	1,24	3,8	0,2	0,01	0,05	0,25	0,04	0,05	16,4	7,4	27,4	8,09	151	10,8	3,2	9,2	1,0	8,5	6,0	53,9	4,5	4,1	32,1
RCS		mars-11	8,39	103,0	0,5	10,41	30	0,5	0,05	0,50	0,30	0,05	0,05	5,4	1,3	25,9	8,54	164	12,8	3,7	10,3	1,1	9,0	6,0	59,2	4,9	4,7	34,0
RCS	CAV	avr-10	7,52	91,3	4,0	0,36	30	1,0	0,01	0,05	4,16	0,04	0,04	2	0,7	25,5	8,30	148	13,3	4,5	11,4	2,3	11,2	7,9	59,3	4,9	5,2	39,8
RCS		oct-10	8,23	104,6	3,0	0,87	1,7	0,2	0,01	0,05	3,69	0,04	0,05	8,8	1,8	26,4	8,08	134	9,8	3,2	8,9	1,7	9,4	6,5	45,2	3,8	3,5	40,9
RCS		mars-11	9,60	113,6	0,5	0,74	30	0,5	0,05	0,50	4,10	0,05	0,05	3,00	1,1	24,0	8,12	136	10,6	3,5	9,4	1,7	9,7	6,2	49,1	4,1	4,1	43,9
RCS	CBN	avr-10	7,87	97,8	4,0	0,90	30	1,0	0,03	0,05	0,74	0,05	0,03	1	0,8	26,7	7,87	160	21,5	9,3	23,6	2,5	29,1	3,7	116,5	9,7	9,2	34,0
RCS		oct-10	6,28	77,5	3,0	1,94	20,3	0,4	0,15	0,04	0,77	0,07	0,04	33,4	26,8	25,4	7,87	186	10,0	3,6	11,6	1,5	12,1	3,0	58,2	4,9	3,1	32,3
RCS		mars-11	8,82	106,4	7,0	13,73	30	0,5	0,05	0,50	0,63	0,05	0,05	2,6	1,0	25,0	8,01	264	13,9	5,4	15,3	1,8	17,3	3,0	74,5	6,2	5,7	37,9
RCS	GRS	avr-10	8,35	102,3	4,0	0,88	20,2	1,0	0,01	0,05	0,53	0,05	0,05	1,1	0,4	25,6	8,35	133	10,2	3,2	10,9	1,8	10,6	3,0	55,4	4,5	3,8	45,6
RCS		oct-10	8,19	99,7	2,0	0,88	30	0,0	0,01	0,05	0,56	0,07	0,02	2,3	0,6	25,1	8,11	138	8,6	2,6	9,5	1,6	9,3	2,5	51,5	4,3	3,2	43,0
RCS		mars-11	9,33	113,3	0,6	0,47	30	0,5	0,05	0,50	0,62	0,06	0,05	2,00	0,4	21,9	8,09	112	9,2	2,7	10,2	1,8	9,8	2,7	49,4	4,1	3,4	47,7
RCS	LEG	avr-10	7,60	95,4	4,0	0,62	30	1,0	0,03	0,01	1,73	0,02	0,02	3,5	3,5	27,2	7,96	119	10,1	4,6	12,5	1,4	17,1	3,6	51,9	4,3	4,5	24,2
RCS		oct-10	7,21	93,4	1,0	0,96	30	0,2	0,02	0,05	1,64	0,03	0,05	5,4	4,9	27,1	7,82	108	7,7	3,2	9,2	1,1	11,9	2,8	40,6	3,4	3,2	25,2
RCS		mars-11	7,79	101,9	0,5	6,01	30	0,5	0,05	0,50	1,41	0,05	0,05	3,4	1,9	25,9	8,16	116	7,2	3,0	8,6	1,0	11,1	2,7	37,1	3,1	3,1	24,2
RCS	LEP	avr-10	7,29	96,3	4,0	0,70	30	1,0	0,02	0,05	2,32	0,05	0,03	4,2	6,3	30,0	7,90	153	12,3	5,8	15,1	1,8	21,6	5,5	61,5	5,0	5,4	19,7
RCS		oct-10																										

Réseau	Code station	Date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
RCS		mars-11	8,42	105,5	0,7	0,85	30	0,5	0,05	0,50	2,35	0,05	0,05	3,2	2,6	26,9	7,75	148	9,2	3,8	10,2	1,2	13,2	3,6	45,1	3,8	3,9	24,8
RCS	LOP	avr-10	8,97	96,0	4,0	0,32	30	1,0	0,01	0,05	0,11	0,05	0,01	0,8	0,4	24,2	7,84	100	9,9	2,7	7,8	0,7	8,2	15,7	30,3	2,5	3,6	18,2
RCS		oct-10	7,98	100,0	2,0	0,67	8,1	0,1	0,00	0,05	0,16	0,05	0,01	0,5	0,3	25,3	7,72	102	5,0	1,8	6,8	0,6	8,0	5,7	23,9	2,0	2,0	21,6
RCS		mars-11	7,66	91,4	0,5	0,56	30	0,5	0,05	0,50	0,30	0,05	0,05	2,00	1,1	24,3	7,79	112	8,2	2,2	6,8	0,5	7,4	11,9	26,6	2,2	3,0	21,8
RCS	GAG	avr-10	6,89	89,3	4,0	0,68	30	1,0	0,01	0,05	3,23	0,05	0,02	4,6	5,2	29,0	7,72	156	10,6	5,0	12,6	1,4	18,4	4,3	49,4	4,1	4,7	18,8
RCS		oct-10																										
RCS		mars-11	8,17	98,6	0,8	0,74	30	0,5	0,05	0,50	3,92	0,05	0,05	5,3	3,4	24,9	7,62	168	9,1	4,1	11,0	1,2	15,7	4,2	44,2	3,7	4,0	21,0
RCS	MAC	avr-10	7,53	93,4	1,0	1,93	30	1,0	0,04	0,05	6,63	1,36	0,45	3,8	3,5	27,2	7,86	417	25,8	9,3	48,4	4,2	72,5	13,4	102,6	8,4	10,4	35,5
RCS		oct-10																										
RCS		mars-11	8,40	103,7	5,0	17,17	43	0,5	0,05	0,50	3,73	0,45	0,20	5,5	3,3	26,2	7,96	376	17,8	6,2	29,3	2,6	43,2	7,5	94,8	7,9	7,0	39,2
RCS	COP	avr-10	6,10	80,9	3,8	2,46	40	1,0	0,04	0,12	4,87	0,20	0,11	17,7	8,6	30,8	7,81	407	26,7	10,2	34,3	3,6	48,0	10,1	124,2	10,2	10,9	31,9
RCS		oct-10	5,70	73,0	2,0	2,38	9,1	0,5	0,03	0,06	4,37	0,11	0,06	17,7	11,5	27,1	7,71	411	25,9	9,4	28,5	3,7	41,6	9,2	116,7	9,7	10,3	36,2
RCS		mars-11	7,34	96,2	0,6	1,78	30	0,5	0,10	0,32	4,15	0,14	0,07	11,00	7,4	29,2	7,99	396	25,7	8,9	28,4	3,7	39,8	9,7	117,5	9,8	10,1	35,1
RCS	LOS	avr-10	7,78	97,3	4,0	0,47	11,1	1,0	0,01	0,05	1,02	0,05	0,03	2	1,2	27,3	7,93	105	15,6	4,9	11,9	1,3	15,3	6,0	65,0	5,3	5,9	22,5
RCS		oct-10	7,18	94,8	2,0	0,51	27,4	0,0	0,01	0,05	0,88	0,05	0,00	3,1	1,8	26,3	7,92	112	7,6	2,3	7,3	0,7	8,5	9,8	29,1	2,4	2,9	21,8
RCS		mars-11	8,35	102,4	0,6	0,62	30	0,5	0,05	0,50	1,04	0,05	0,05	3,00	1,2	26,1	7,96	122	8,3	2,5	7,8	0,7	9,0	10,4	30,1	2,5	3,1	23,5
RCS	MOM	avr-10	7,13	90,1	1,0	1,14	30	1,0	0,05	0,02	2,35	0,08	0,06	1,8	4,1	27,4	7,60	197	19,1	7,2	23,7	4,1	48,6	5,7	67,2	5,5	7,8	24,6
RCS		oct-10	6,01	76,2	3,0	2,20	2,5	0,4	0,10	0,02	2,20	0,05	0,05	17,9	17,7	27,2	7,76	156	8,7	3,9	12,9	1,9	17,6	3,8	42,3	3,5	3,8	27,4
RCS		mars-11	8,50	103,2	7,0	8,59	30	0,5	0,06	0,50	1,94	0,07	0,05	4,7	2,6	25,3	7,86	236	11,8	4,7	16,5	1,6	26,5	4,5	51,4	4,3	4,9	31,2
RCS	OMD	avr-10	6,71	85,9	0,4	2,84	17,7	1,0	0,02	0,05	0,74	0,03	0,04	4,3	3,7	28,0	7,66	570	25,2	15,9	46,8	4,2	116,1	9,9	71,0	5,9	12,9	27,2
RCS		oct-10	6,15	77,0	2,0	2,82	31	0,5	0,02	0,05	1,56	0,06	0,02	5,5	9,4	25,9	7,83	517	22,3	12,7	39,6	3,6	94,7	9,7	64,6	5,4	10,9	32,3
RCS		mars-11	7,28	88,0	0,5	3,57	30	0,5	0,05	0,50	0,93	0,07	0,05	10,00	15,2	24,9	7,73	565	22,2	12,6	38,6	3,7	90,8	10,3	66,7	5,6	10,7	31,4
RCS	PIB	avr-10	6,50	89,4	3,3	1,00	30	1,0	0,05	0,05	0,30	0,05	0,08	34,7	7,9	30,4	7,69	25100	136,1	320,8	2519,5	97,5	4562,5	623,7	172,7	14,2	164,7	22,5
RCS		oct-10	6,80	91,0	3,0	1,51	102	1,0	0,31	0,05	3,13	0,56	0,23	50,4	23,4	30,0	7,91	6656	47,9	68,1	509,8	25,4	912,8	123,6	140,1	11,7	39,8	34,0
RCS		mars-11	6,49	84,1	0,5	1,51	30	0,5	0,09	0,50	0,85	0,26	0,11	13,00	8,2	27,3	8,02	6300	60,3	99,3	767,7	32,4	1365,0	193,2	141,8	11,8	55,9	34,7
RCS	PIBam	mars-11	8,02	100,6	0,5	3,44	30	0,5	0,05	0,05	1,39	0,15	0,08	18,4	18,6	26,8	8,10	650	40,5	15,3	43,0	3,3	72,2	12,3	173,0	14,4	16,4	39,8
RCS	PLB	avr-10	7,46	91,2	4,0	0,70	11,9	1,0	0,23	0,09	4,47	0,03	0,03	7,8	5,6	25,7	7,50	157	11,1	5,4	14,4	1,7	21,3	4,6	52,9	4,3	5,0	21,2
RCS		oct-10	7,33	95,0	5,0	1,77	16	0,8	0,02	0,05	4,70	0,05	0,05	44,4	27,5	27,3	7,40	136	9,2	4,4	12,0	1,5	18,0	4,1	42,5	3,5	4,1	22,7
RCS		mars-11	7,33	89,1	0,5	6,89	30	0,5	0,05	0,50	4,10	0,05	0,05	4,3	3,4	25,3	7,66	184	9,1	4,4	11,5	1,4	17,2	4,1	41,7	3,5	4,1	22,0
RCS	PPP	mars-11	7,67	99,1	0,9		20	0,5	0,06	0,11	4,50	0,19	0,09	49,00	33,0	29,0	8,33	442	19,0	6,3	19,6	5,2	33,1	9,8	66,1	5,4	6,8	26,7

Réseau	Code station	Date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
RCS	PRB	avr-10	6,67	87,5	4,0	1,68	20,4	1,0	0,05	0,01	2,28	0,02	0,08	94,3	56,3	29,5	7,72	331	18,7	7,9	22,0	2,1	31,7	6,1	113,5	9,3	7,8	31,2
RCS		oct-10																										
RCS		mars-11	7,78	96,8	0,5	1,35	30	0,5	0,05	0,50	3,74	0,05	0,05	7,8	6,4	26,5	8,01	341	21,8	8,7	24,2	2,5	34,6	9,7	96,1	8,0	9,0	34,4
RCS	ROS	avr-10	7,41	96,0	3,0	1,15	30	1,0	0,04	0,03	8,15	1,23	0,38	7,8	2,1	29,0	8,11	240	17,3	5,8	15,1	5,0	18,3	7,8	74,1	6,1	6,7	58,2
RCS		oct-10	7,11	95,2	2,0	1,41	30	0,4	0,03	0,05	7,48	0,15	0,07	21,9	9,8	27,1	8,17	221	14,2	4,6	12,9	2,1	15,1	5,1	65,5	5,5	5,5	59,5
RCS		mars-11	8,24	102,7	0,5	11,96	30	0,5	0,05	0,50	9,02	0,38	0,16	17,8	2,2	26,6	8,50	240	15,6	5,0	13,8	6,2	16,7	7,1	71,0	5,9	6,0	61,0
GEOCH	ABS	avr-10	7,85	93,1	0,5		20	1,0	0,05	0,02	1,00	0,06	0,02	17	2,3	24,0	7,48	114	8,0	2,7	11,0	1,7	12,8	2,4	43,8	3,6	3,1	31,3
GEOCH		oct-10	5,22	65,9	0,6		20	1,0	0,05	0,02	1,00	0,10	0,02	16	4,2	24,1	8,02	117	8,2	3,3	10,3	1,1	10,4	2,6	48,8	4,0	3,5	33,8
GEOCH		mars-11	8,65	99,6	1,1		20	0,5	0,05	0,02	1,00	0,10	0,03	31,00	2,9	22,3	7,84	134	9,5	3,3	9,8	1,1	10,2	2,4	50,1	4,1	3,4	18,5
GEOCH	BLA	avr-10	8,54	98,5	0,5		20	1,0	0,05	0,02	1,00	0,05	0,02	4,6	2,3	22,6	7,76	108	8,2	3,2	7,6	0,7	8,0	1,7	49,1	4,0	3,4	29,6
GEOCH		oct-10	5,92	72,6	0,7		20	1,0	0,05	0,02	1,00	0,06	0,02	5,6	0,9	22,1	8,05	107	8,0	3,4	7,9	0,7	8,1	2,9	49,5	4,1	3,4	27,7
GEOCH		mars-11	8,13	92,0	0,7		20	0,5	0,05	0,02	1,00	0,07	0,02	7,4	3,4	21,4	8,16	128	8,2	3,6	8,0	0,7	8,1	1,6	48,0	4,0	3,3	21,1
GEOCH	CAD	avr-10	8,03	93,0	0,8		20	1,0	0,05	0,02	1,80	0,08	0,03	4,4	2,0	22,4	7,60	87	7,0	1,7	8,3	0,9	8,4	6,5	29,8	2,5	2,2	24,8
GEOCH		oct-10	7,65	95,2	0,5		20	1,0	0,05	0,02	0,10	0,05	0,02	8,6	1,7	22,2	7,65	88	6,5	1,6	8,3	0,9	7,9	6,0	30,4	2,5	2,4	25,4
GEOCH	COC	avr-10	8,23	98,6	0,7		20	1,0	0,05	0,02	1,30	0,08	0,04	11	4,3	25,6	7,48	168	11,0	3,5	12,7	1,5	15,1	4,4	55,4	4,6	4,3	36,0
GEOCH		oct-10																										
GEOCH		mars-11	8,29	96,6	1,4		20	0,5	0,05	0,02	1,00	0,10	0,03	20,00	13,0	22,9	8,05	213	14,0	4,9	16,9	1,5	19,9	4,2	71,6	5,9	5,4	29,4
GEOCH	MAP	mars-11	5,84	73,6	0,5		20	0,5	0,05	0,02	2,30	0,13	0,07	70,00	90,0	27,2	7,47	1790	81,0	37,8	110,0	3,4	320,0	22,9	182,0	15,0	36,4	30,2
GEOCH	PAQ	avr-10	4,83	62,4	0,6		53	1,0	0,05	0,02	1,00	0,07	0,08	181	54,0	28,6	7,63	4230	274,0	148,0	430,0	5,8	1065,0	52,0	218,0	17,9	126,4	33,9
GEOCH		oct-10	3,64	46,0	0,7		23	1,0	0,05	0,02	1,20	0,07	0,06	100	57,0	25,9	7,77	2933	178,0	114,0	290,0	6,1	959,0	26,0	177,0	14,6	89,3	25,7
GEOCH		mars-11	3,13	39,1	4,3		383	0,5	0,05	0,02	1,00	0,14	0,06	132,00	60,0	25,7	7,65	5460	251,0	136,0	361,0	4,9	1324,0	49,0	210,0	17,3	125,0	25,6
GEOCH	PRO	mars-11	8,16	95,4	0,5		20	0,5	0,05	0,02	1,00	0,07	0,02	6,4	7,1	23,1	7,59	109	5,9	1,7	6,2	0,6	7,1	4,8	28,3	2,4	2,1	24,7
GEOCH	ROX	mars-11	9,18	105,4	0,5		20	0,5	0,05	0,02	2,70	0,10	0,02	52,00	9,2	22,2	8,01	113	9,5	2,6	10,5	2,4	9,6	6,1	0,1	3,7	3,5	45,0
PEST	BPB	avr-10	8,18	104,0	0,5		20	1,0	0,05	0,02	13,10	0,20	0,06	59	4,3	27,7	7,58	182	13,0	4,8	14,2	2,9	14,5	10,5	53,3	4,4	5,0	45,8
PEST		oct-10	4,46	55,8	0,7		20	1,0	0,05	0,02	10,80	0,16	0,07	55	8,3	26,0	8,01	156	12,0	4,1	12,8	2,9	12,3	9,3	47,3	3,9	4,4	32,5
PEST		mars-11	8,44	106,8	0,7		20	0,5	0,05	0,02	12,70	0,22	0,06	52,00	5,6	27,4	8,13	224	14,0	4,5	13,9	2,9	13,8	10,3	58,1	4,8	5,3	41,0
PEST	BPBam	mars-11	8,40	98,9	0,5		20	0,5	0,05	0,02	9,40	0,16	0,04	24,00	4,7	23,5	7,85	186	11,0	3,8	12,3	2,5	11,0	8,5	50,5	4,2	4,2	20,3
PEST	CAM	avr-10	8,40	104,0	0,7		20	1,0	0,05	0,02	1,00	0,04	0,02	4,8	2,2	26,9	7,39	115	8,0	2,9	8,0	1,4	8,3	10,6	33,0	2,7	3,2	25,6
PEST		oct-10	5,65	71,5	0,6		20	1,0	0,05	0,02	1,50	0,03	0,03	15	4,1	25,1	7,60	113	8,1	2,7	7,2	1,4	8,2	7,9	33,5	2,8	3,1	17,5
PEST		mars-11	8,14	98,8	1,2		20	0,5	0,05	0,02	1,80	0,04	0,02	20,00	3,9	25,2	7,58	122	8,8	3,0	7,6	1,3	8,9	8,1	38,0	3,1	3,5	13,9

Réseau	Code station	Date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
PEST	COF	mars-11	5,71	70,8	0,5		20	0,5	0,05	0,27	4,80	0,14	0,07	16,00	17,0	25,8	7,46	408	22,0	9,7	21,7	2,6	39,8	8,8	104,0	8,6	9,3	13,6
PEST	DCS	avr-10	5,48	69,5	1,3		160	1,0	0,14	0,06	1,10	0,30	0,14	24	8,1	27,5	7,49	511	170,0	407,0	2585,0	106,0	5470,0	737,0	173,0	14,2	210,0	22,0
PEST		oct-10	3,69	46,9	0,9		38	1,3	0,48	0,58	5,30	0,38	0,17	47	24,0	27,6	7,86	541	44,0	52,6	472,0	23,3	779,0	149,0	154,0	12,6	45,1	25,4
PEST		mars-11	9,37	117,0	0,7		20	1,0	0,52	0,19	7,10	0,26	0,12	87,00	54,0	26,5	8,25	687	45,0	21,7	175,0	11,2	309,0	22,5	137,0	11,2	20,2	20,9
PEST	POR	avr-10	8,01	101,6	0,5		20	1,0	0,05	0,02	10,30	0,20	0,07	10	4,0	27,6	7,90	171	11,0	4,4	13,8	3,1	12,4	7,8	52,5	4,4	4,4	47,0
PEST		oct-10	4,72	59,2	0,5		20	1,0	0,05	0,02	7,20	0,14	0,06	46	6,4	26,0	8,11	142	9,1	3,5	11,3	2,6	10,7	5,9	43,4	3,6	3,6	27,6
PEST		mars-11	8,08	96,8	0,5		20	0,5	0,05	0,02	10,10	0,21	0,07	39,00	8,1	7,8	7,79	213	14,0	4,5	13,2	2,9	12,9	8,1	54,7	4,6	4,8	45,0
PEST	ROR	avr-10	7,64	94,4	0,5		20	1,0	0,05	0,02	3,70	0,07	0,02	8,4	3,1	26,2	7,18	147	10,0	3,7	9,6	1,6	10,9	7,3	38,1	3,3	3,8	33,0
PEST		oct-10																										
PEST		mars-11	7,83	96,4	0,6		20	0,5	0,05	0,02	6,40	0,05	0,03	28,00	5,1	25,9	7,76	188	11,0	3,8	10,2	1,6	12,3	7,0	44,1	3,6	4,1	27,5
PEST	SIF	avr-10	5,55	75,7	0,5		20	1,0	0,05	0,02	1,00	0,16	0,06	45	18,0	31,8	7,55	619	25,0	16,4	46,2	3,0	77,0	18,0	141,0	11,6	13,5	33,5
PEST		oct-10	8,91	52,7	0,5		20	1,0	0,05	0,02	3,00	0,17	0,09	48	18,0	30,0	7,88	491	16,0	13,3	38,3	3,6	60,0	16,9	95,7	8,3	9,5	24,9
PEST		mars-11	6,91	88,4	1,7		20	0,5	0,05	0,02	1,10	0,17	0,06	56,00	15,0	27,9	7,86	687	31,0	16,3	46,3	3,4	80,0	20,6	129,0	10,6	14,3	20,8
STEP	CAS	avr-10	8,26	103,8	0,5		20	1,0	0,08	0,02	1,00	0,11	0,04	26	8,1	27,2	7,85	147	13,0	3,7	10,0	1,3	9,4	10,2	57,0	4,7	4,9	31,2
STEP		oct-10																										
STEP		mars-11	7,87	97,8	0,7		20	1,9	2,00	0,58	1,30	0,87	0,30	17,00	3,6	26,6	8,40	176	12,0	4,2	14,4	2,0	15,0	7,4	64,2	5,3	4,8	22,7
STEP	FHS	avr-10	1,36	19,8	1,8		57	12,6	16,00	0,36	1,00	3,40	1,60	29	16,0	29,0	7,15	5600	88,0	72,1	488,0	26,1	1055,0	156,0	242,0	19,9	51,5	27,4
STEP		oct-10	0,58	7,1	1,7		40	7,3	8,00	0,29	1,00	0,33	0,67	51	16,0	29,5	7,18	2748	37,0	32,4	250,0	15,5	447,0	58,0	175,0	14,4	23,0	21,4
STEP		mars-11	0,58	7,2	0,8		69	29,9	38,00	0,15	0,10	2,50	1,30	41,00	35,0	27,4	7,07	2090	68,0	72,1	606,0	33,6	1099,0	170,0	302,0	24,8	44,6	19,4
STEP	FLS	avr-10	4,23	55,5	1,1		20	1,0	0,05	0,02	3,30	0,05	0,02	5,8	2,5	29,7	7,20	529	6,7	3,0	10,8	1,1	13,1	6,9	24,6	2,5	2,8	20,3
STEP		oct-10	4,29	57,4	0,7		20	1,0	0,05	0,03	4,10	0,28	0,09	22	8,9	28,1	7,77	2454	21,0	16,0	81,8	5,4	146,0	23,0	101,0	8,3	12,3	34,2
STEP		mars-11	7,23	92,8	0,7		20	2,9	3,40	0,83	4,10	2,10	0,73	42,00	4,6	28,2	7,61	649	31,0	21,9	95,9	9,2	138,0	22,9	195,0	16,0	16,0	24,9
STEP	GCS	avr-10	4,00	52,0	3,2		72	5,4	0,64	12,00	25,50	7,30	2,70	62	20,0	29,0	7,55	1710	232,0	88,2	203,0	13,6	759,0	107,0	264,0	21,7	98,0	34,3
STEP		oct-10	0,00	0,0	1,4		43	1,8	0,75	5,00	10,10	1,90	0,67	29	6,2	28,2	7,42	2136	169,0	89,1	171,0	8,4	643,0	64,0	188,0	15,5	78,4	23,2
STEP		mars-11	2,75	34,6	9,0		29	6,3	7,30	3,10	14,60	5,00	1,70	32,00	7,7	34,6	7,33	2840	174,0	91,1	213,0	10,6	690,0	88,0	273,0	22,4	79,5	21,3
STEP	GCSav	mars-11	7,14	90,8	1,3		38	1,2	0,09	0,07	6,30	0,48	0,21	106,00	66,0	27,3	8,13	730	15,0	6,4	22,0	2,4	44,5	11,0	75,5	6,3	7,2	19,8
STEP	LTS	avr-10	7,93	98,5	0,5		20	1,0	0,17	0,46	9,00	0,07	0,03	14	6,5	26,6	7,29	145	10,0	4,4	14,2	1,6	15,7	10,1	42,7	3,5	3,8	18,9
STEP		oct-10	5,80	73,7	0,7		20	1,0	0,15	0,42	6,60	0,05	0,02	5	6,9	26,4	7,55	161	9,3	4,3	11,9	1,1	13,7	9,1	43,3	3,6	4,1	15,1
DOM	DES	avr-10	6,68	83,5	0,7		20	1,0	0,05	0,02	1,00	0,23	0,12	65	18,0	26,8	7,65	431	28,0	12,5	35,1	2,0	54,0	12,4	125,0	10,2	11,5	35,1

Réseau	Code station	Date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
DOM		oct-10	3,60	46,4	0,6		20	1,0	0,06	0,02	3,50	0,29	0,11	50	16,0	27,4	8,06	370	22,0	11,4	31,7	3,3	49,1	14,2	106,0	8,7	10,1	24,6
DOM		mars-11	7,32	91,3	0,6		20	0,5	0,05	0,02	2,70	0,26	0,10	68,00	23,0	26,5	8,32	513	26,0	12,9	34,9	2,9	57,0	14,7	122,0	10,0	13,2	18,3
DOM	MAV	mars-11	7,23	91,4	0,5		20	0,5	0,05	0,02	2,30	0,10	0,03	11,00	8,1	27,5	7,73	466	23,0	14,0	31,4	3,1	94,0	6,4	51,9	4,3	10,8	27,1
DOM	PPB	mars-11	8,05	97,6	0,6		22	0,5	0,05	0,02	3,60	0,12	0,07	98,00	52,0	25,3	8,14	359	11,0	4,3	16,0	2,7	23,9	7,9	45,0	3,7	4,4	18,3
DOM	SJF	avr-10	7,82	97,8	0,6		20	1,0	0,05	0,02	2,50	0,07	0,03	7,6	3,2	27,1	7,38	123	6,5	3,6	11,2	1,2	17,0	3,5	39,5	3,3	3,3	25,0
DOM		oct-10	5,94	74,0	0,7		20	1,0	0,05	0,02	5,30	0,07	0,03	10	2,5	25,9	7,80	142	7,5	3,8	12,1	1,5	16,8	3,7	36,6	3,0	3,4	24,4
DOM		mars-11	8,38	102,6	0,5		20	0,5	0,05	0,02	4,20	0,07	0,03	14,00	8,0	25,2	7,87	157	7,7	1,9	11,3	1,5	16,1	3,6	37,1	3,1	2,7	18,7
INDUS	CAP	avr-10	8,47	108,3	0,5		20	1,0	0,05	0,02	3,90	0,08	0,02	23	3,4	28,3	8,32	137	10,0	3,3	9,0	1,8	9,8	7,8	42,9	3,5	3,7	35,1
INDUS		oct-10																										
INDUS		mars-11	8,17	98,0	1,0		20	0,5	0,05	0,02	4,40	0,09	0,03	6,4	2,4	24,8	7,87	170	11,0	3,4	9,4	1,8	10,0	7,2	41,7	3,6	3,7	29,9
INDUS	DCA	avr-10	1,52	19,5	0,8		26	1,0	0,55	0,07	1,00	0,05	0,05	19	6,9	28,2	7,32	466	24,0	16,9	46,8	4,2	74,0	1,3	158,0	13,0	12,8	23,1
INDUS		oct-10	1,54	19,4	0,6		20	1,4	0,77	0,24	1,60	0,07	0,05	25	19,0	26,4	7,34	429	14,0	14,9	43,0	4,9	65,0	8,1	106,0	8,7	9,5	21,3
INDUS	FRP	avr-10	7,63	93,1	0,5		20	1,0	0,05	0,02	1,80	0,04	0,02	7,8	3,2	25,5	7,13	80	5,5	2,3	6,9	1,0	8,1	2,5	27,0	2,4	2,2	25,7
INDUS		oct-10	5,86	73,8	1,5		20	1,1	0,05	0,02	1,60	0,22	0,10	30	10,0	24,4	7,81	82	4,3	1,8	4,9	1,6	6,6	2,3	23,7	2,0	1,9	12,1
INDUS		mars-11	8,07	95,3	0,6		20	0,5	0,05	0,02	2,00	0,06	0,02	14,00	2,7	23,6	7,80	93	5,6	2,4	6,5	0,9	7,8	1,9	32,7	2,7	2,4	19,0
INDUS	GAS	avr-10	7,96	102,7	0,6		27	1,8	0,77	0,39	3,00	2,10	0,71	73	6,0	28,6	7,79	110	21,0	11,6	40,9	5,7	53,0	12,6	135,0	11,1	9,7	35,6
INDUS		oct-10	6,63	82,0	0,5		20	1,0	0,05	0,02	4,10	0,04	0,02	8,8	3,5	25,2	7,75	88	7,0	3,1	8,9	1,2	12,8	3,6	32,2	2,7	3,1	18,0
INDUS		mars-11	8,48	102,6	1,0		20	0,5	0,05	0,02	4,20	0,06	0,02	12,00	3,4	25,0	8,10	132	6,6	1,8	8,3	1,2	12,2	3,6	30,0	2,5	2,3	16,7
INDUS	PPM	avr-10	5,79	78,4	1,8		20	1,0	0,06	0,02	1,00	0,14	0,01	33	12,0	31,4	7,25	334	22,0	9,7	25,8	4,7	48,0	6,0	109,0	9,0	9,8	25,5
INDUS		oct-10	5,82	72,6	110,0		201	1,1	0,17	0,22	4,60	0,62	0,21	26	14,0	25,5	7,84	329	16,0	9,3	24,5	9,5	42,2	7,7	86,9	7,1	7,7	22,4
INDUS		mars-11	3,68	46,6	0,6		33	0,5	0,05	0,14	1,00	0,23	0,12	47,00	16,0	29,3	7,64	457	23,0	10,8	26,2	5,9	50,0	9,8	98,0	8,1	9,6	22,0
INDUS	PRBav	mars-11	7,75	94,5	0,5		20	0,5	0,05	0,02	2,90	0,08	0,03	30,00	21,0	25,3	7,98	366	17,0	8,8	18,3	1,8	27,2	7,3	84,0	6,9	7,6	24,9
INDUS	ROD	avr-10	8,45	104,0	3,5		23	1,0	0,05	0,03	8,40	1,10	0,38	45	6,3	26,3	8,12	206	13,0	5,5	15,6	13,4	21,1	10,1	53,6	5,3	5,5	57,1
INDUS		oct-10																										
INDUS		mars-11	8,27	100,5	0,5		20	0,5	0,06	0,03	9,70	0,80	0,26	54,00	6,5	25,1	8,60	242	12,0	5,3	14,4	11,2	18,8	9,1	72,7	6,0	5,7	27,3
INDUS	LOT	avr-10	7,26	94,8	0,6		20	1,0	0,05	0,02	2,00	0,12	0,09	52	20,0	29,3	7,29	175	10,0	4,4	15,4	2,1	18,6	5,9	49,1	4,0	4,2	23,1
INDUS		oct-10	4,55	58,5	0,7		20	1,0	0,05	0,02	3,60	0,06	0,02	8,4	10,0	27,4	7,62	169	10,0	4,6	15,2	1,7	19,5	5,8	49,2	4,1	4,3	21,8
INDUS		mars-11	8,58	103,7	0,5		20	0,5	0,05	0,02	3,20	0,08	0,04	19,00	6,7	29,8	7,90	230	8,7	4,8	16,0	1,9	20,8	5,5	51,3	4,2	4,2	17,3
INDUS	TRD	avr-10	7,20	90,1	4,6		20	1,0	0,05	0,03	1,00	0,03	0,02	53	2,6	26,9	7,04	106	6,2	2,9	10,8	1,3	13,2	4,3	36,3	3,0	2,8	15,2

Réseau	Code station	Date	Oxygène dissous	Taux de saturation	DBO_5	COD	DCO	NKJ	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	Ptot	MES	Turbidité	Température	pH	Conductivité	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	TAC	TH	Si
INDUS		oct-10																										
INDUS		mars-11	6,76	83,2	0,5		20	0,5	0,05	0,02	2,90	0,03	0,02	289,00	86,0	25,9	7,35	134	6,0	2,4	9,7	1,1	12,2	4,1	30,4	2,5	2,4	13,3

ANNEXE 4 Tableau 16. Données topographiques et occupation des sols sur les bassins versants des sites d'études de Guadeloupe (données Corine Land Cover 2012).

Cours d'eau	Code station	Altitude	Surfaces urbanisées	Surfaces agricoles	Forêts
		m	%	%	%
Grande Rivière de Capesterre	CAA	15	1	99	0
Rivière du Grand Carbet	GCP	15	0	38	62
Rivière du Galion	GAP	5	23	0	77
Grande Rivière à Goyave	GGA	16	0	100	0
Rivière Grande Plaine	GPA	8	3	60	37
Rivière aux Herbes	HEC	495	0	60	40
Rivière Moustique Petit-Bourg	MPP	15	4	96	0
Rivière des Pères	PEE	2	58	0	42
Grande Rivière de Vieux Habitants	VHE	7	35	39	25
Rivière du Plessis	PLV	280	0	16	84
Rivière Nogent	NOA	7	1	81	18
Rivière Bras David	BDI	106	0	0	100
Rivière Bras David	BDM	230	0	0	100
Rivière Grande Anse	GAM	650	0	5	95
Rivière la Lézarde	LED	40	0	0	100
Rivière Moustique Petit-Bourg	MPT	110	0	9	91
Grande Rivière de Vieux Habitants	VHG	250	0	0	100
Rivière du premier Bras	PBS	110	0	3	97
Rivière Bras de sable	BSC	35	0	75	25
Rivière la Rose	ROJ	12	0	27	73
Rivière Moustique Ste Rose	MSD	46	0	85	15
Grande Rivière à Goyave	GGP	233	0	0	100
Grande Rivière de Capesterre	CAP	227	0	2	98
Rivière du Galion	GAB	590	0	0	100

Rivière Rouge	ROM		0	0	100
Rivière Moustique Ste Rose	MSA	12	6	77	17
Rivière Grande Anse	GAA	16	29	49	22
Rivière aux Herbes	HEM	9	72	0	28
Rivière Baret	BAB	75	77	23	0
Ravine Grand Boucan	GBB	10	2	98	0
Ravine de Onze Heure	OHP	5	14	86	0
Petite Rivière à Goyave	PGG	3	8	92	0
Rivière du Pérou	PEP	31	12	81	7
Rivière du Plessis	PLP	26	19	16	65
Rivière de Beaugendre	BEP	16	0	0	100
Rivière Petite Plaine	PPG	23	26	14	60
Rivière Moustique Petit-Bourg	MPD	59	0	91	9
Rivière Sens	SEB	127	36	0	64
Ravine bleue	RBA	5	6	22	72
Rivière Petite Plaine	PPC	123	0	0	100
Rivière Salée	SAE	41	0	23	77
Ravine Grossou	GRL	22	22	78	0
Rivière du Pérou	PEC	282	0	1	99
Rivière du Grand Carbet	GCD	283	0	1	99
Rivière du Pérou	PEB	13	19	81	0
Rivière Moreau	MOA	108	0	40	60
Rivière Moreau	MOM	60	2	1	97
Rivière Lostau	LOR	92	0	0	100
Rivière Petite Plaine	PPA	142	0	0	100
Rivière Nogent	NOS	154	0	14	86
Rivière sens	SES	205	93	7	0
Rivière sens	SEP	5	48	8	43

ANNEXE 5 Tableau 17. Données topographiques et occupation des sols sur les bassins versants des sites d'études de Martinique (données Corine Land Cover 2012).

	Cours d'eau	Code station	Numéro Ordre	Distance à la source	Altitude	Pente Moyenne	Surfaces urbanisées	Surfaces agricoles	Forêts
			STRAHLER	m	m	%	%	%	%
Source Pierrot	Rivière du Carbet	CAR	1	111	353		0	0	100
Paquemar	Rivière paquemar	PAQ	1	417	39	12.4	0	22	78
Aval Eloigné GCS	Rivière Grande Case	GCSav	1	1016	20	4.2	0	0	100
STEP Vauclin	Rivière Grande Case	GCS	1	422	51	5.6	0	78	22
Absalon	Ravine Absalon	ABS	2	1567	362	20.4	0	0	100
Deux Choux	Rivière du Carbet	CAD	2	474	573	12.9	0	0	100
Ravine Fond Henry STEP	Ravine de Fond Henry	FHS	2	2631	6	3.8	16	0	84
Desroses	Rivière Desroses	DES	2	1235	20	4.4	17	35	48
Volcart	Rivière Madame Marie	MAV	2	3057	61	5.7	14	41	45
Amont confluence Pirogue	Rivière Petit Nicolas	LOP	3	2486	348	13.3	0	0	100
Tunnel Didier	Rivière Case-Navire	CAN	3	6687	211	16.5	0	0	100
Couleuvre	Rivière Anse Couleuvre	COC	3	2230	19	9.8	0	0	100
Pont RN1	Rivière Rouge	ROR	3	6366	18	4.5	6	94	0
bourg Basse Pointe Pont RN1	Rivière de Basse-Pointe	BPB	3	9709	20	10.2	36	10	54
La Tracée STEP	Rivière La Tracée	LTS	3	676	149	5.9	0	26	74
Fond Lahaye STEP	Rivière Fond Lahaye	FLS	3	3882	18	5.2	0	62	38
Abattoir de volailles	Rivière Deux Courants	DCA	3	1772	12	1.5	0	85	15
Porcherie SOPODA	Rivière François	FRP	3	2005	321	12.3	0	6	94
Amont confluence Ferré	Rivière Madame	ROX	3	3026	396	9.6	0	0	100
Quartier Propreté	Rivière Capot	PRO	3	2614	359	2.3	0	90	10
BPB amont	Rivière de Basse-Pointe	BPBam	3	7290	150	10.0	0	4	96
Baudelle	Petite Rivière Pilote	PPB	3	1754	81	4.4	34	15	51
RD10 Habitation Céron	Rivière de l'Anse Céron	ACR	4	5251	39	4.9	0	0	100
Pont RD24 St-Marie	Rivière de Bezaudin	BER	4	8705	12	4.5	4	96	0

Pont Belle-Ile	Rivière Petite Lézarde	PLB	4	9162	56	1.9	0	47	53
Brasserie Lorraine	Petite Rivière	PRB	4	9349	10	0.3	0	100	0
Pont de Chaîne	Rivière Madame	MAC	4	9690	11	2.0	100	0	0
Dormante	Rivière Oman	OMD	4	5825	5	2.3	0	33	67
Palourde	Rivière Lézarde	PAL	4	3545	243	4.5	0	48	52
Pont de Montgérald	Rivière Case-Navire	MOM	4	12540	7	2.9	41	0	59
Case Navire (bourg Schoelcher)	Rivière Case-Navire	CBN	4	12538	7	2.8	41	0	59
Amont Habitation Céron	Rivière de l'Anse Céron	CER	4	5144	43	7.0	0	0	100
Trace des Jésuites	Rivière du Lorrain	LOR	4	4297	304	10.8	0	0	100
Gommier	Rivière du Galion	GAL	4	3205	304	14.0	0	27	73
Palourde	Rivière Lézarde	PAL	4	3545	243	4.5	0	48	52
Pont RD5 La Broue	Rivière du Vauclin	VAU	4	4438	21	1.5	0	100	0
Beauregard	Grande Rivière Pilote	PIL	4	2155	32	6.4	0	80	20
Pont de l'Alma	Rivière Blanche	BLA	4	2967	452	15.3	0	0	100
Pocquet Pont RN1	Rivière Pocquet	POR	4	9149	25	11.0	0	32	68
Deux Courants pont Séraphin	Rivière Deux Courants	DCS	4	4484	5	0.5	27	73	0
Fontane	Rivière du Simon	SIF	4	1558	12	1.6	18	80	2
Fond St Jacques	Rivière Saint-Jacques	SJF	4	6041	26	2.6	45	55	0
Deynel Confiturerie	Rivière la Tracée	TRD	4	2957	97	5.3	0	100	0
Longvilliers Station Total	Rivière du Longvilliers	LOT	4	8264	10	3.0	9	91	0
Distillerie La Mauny	Petite Rivière Pilote	PPM	4	3765	39	1.8	0	81	19
Distillerie Depaz	Rivière Roxelane	ROD	4	7117	63	6.6	0	88	12
Pont Massel	Rivière Massel	MAP	4	1526	25	3.4	0	51	49
Aval brasserie Lorraine	Petite Rivière	PRBav	4	9515	10	0.6	0	100	0
Pont Madeleine	Petite Rivière Pilote	PPP	4	6065	9	4.8	0	65	35
Amont stade Grand'Rivière	Grande Rivière	GRS	5	7035	39	7.3	0	0	100
St-Pierre (ancien pont)	Rivière Roxelane	ROS	5	8757	5	1.2	42	54	3
Pr AEP-Vivé Capot	Rivière Capot	CAV	5	18711	56	5.4	0	0	100
Fond Baise	Rivière du Carbet	CAF	5	11822	27	3.4	0	0	96
Petit Bourg	Rivière les Coulisses	COP	5	9813	5	0.1	2	98	0

Séguineau	Rivière du Lorrain	LOS	5	17070	14	3.4	0	70	30
Aval bourg Rivière Pilote	Grande Rivière Pilote	PIB	5	10182	1	1.5	34	54	13
Trou Diablesse	Grande Rivière	GRD	5	6570	49	9.1	0	0	100
Pont McIntosh	Rivière Capot	CAM	5	8361	318	2.8	0	81	19
STEP Carbet	Rivière du Carbet	CAS	5	13215	4	3.1	10	0	11
Siapoc Peintures	Rivière du Galion	GAS	5	15353	50	1.5	24	51	25
Décharge Le Poteau	Rivière Capot	CAP	5	20473	25	0.9	0	82	18
Feral	Rivière les Coulisses	COF	5	8798	5	0.3	0	100	0
Amont Bourg Rivière Pilote	Grande Rivière Pilote	PIBam	5	8085	5	3.1	0	87	13
Gué de la Désirade	Rivière Lézarde	LEG	6	20849	29	7.4	0	100	0
Pont RN1	Rivière Lézarde	LEP	6	29459	10	0.1	10	11	79
Grand Galion	Rivière du Galion	GAG	6	20143	7	1.6	0	100	0

ANNEXE 6. Biotypologie de la Guadeloupe.

International Review of Hydrobiology 2013, 98, 34–43 DOI 10.1002/iroh.201201475

RESEARCH ARTICLE

River classification as the basis for freshwater biological assessment in overseas Europe: Issues raised from Guadeloupe (French Lesser Antilles)

Heliott Touron-Poncet [1,2,3], Caroline Bernadet [1,2,3], Arthur Compin [1,2], Nicolas Bargier [3,4] and Régis Céréghino [1,2]

[1] UPS EcoLab (Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement), Université de Toulouse, INP, Toulouse Cedex, France

[2] EcoLab, CNRS, Toulouse, France

[3] Asconit Consultants Caraïbes, ZI Champigny, Ducos, Martinique, France

[4] Asconit Consultants, Parc Scientifique Tony Garnier, Lyon Cedex, France

Received: March 23, 2012
Revised: September 21, 2012
Accepted: October 12, 2012

Over the past decade, Europe's Water Framework Directive (WFD) has prompted a large amount of ecological research aiming at establishing river typologies and ecological indicators in member States. Yet, the lack of robust bioindicators in Europe's overseas regions arguably reflects minimal knowledge of the distribution patterns of aquatic species in the Community's outermost areas. Specifically, there has been no published classification of rivers for any European overseas region. Fifty-one sites were sampled for benthic invertebrates and environmental variables (land-cover, physical habitat, and water chemistry) in Guadeloupe, French Lesser Antilles. Redundancy analysis and k-means clustering were used to bring out spatial patterns in species composition in relation to environmental conditions. Our results highlighted the importance of land cover and geomorphology in delineating three ecological sub-regions (clusters) for freshwater invertebrates. Deviation from predictable community structure only occurred when river sites were subjected to harsh water chemistry alterations (urban runoff, wastewaters). Changes in species richness did not detect environmental stress efficiently within a given sub-region, probably because most sites are naturally species-poor due to the insular context and/or because disturbance is often weak. However, differences existed between clusters in terms of species identity and numerical dominance. Our a posteriori typology of sites was compared to local a priori expert opinion of river health, in an attempt to better characterize the network of survey sites, and to target sites for reference conditions.

INTRODUCTION

During the past decade, much research has been undertaken in the European Union towards developing robust methodologies for the implementation of Europe's most powerful piece of water legislation, the Water Framework Directive (WFD, 2000/60/EC). One of the newer approaches to assessing the ecological quality of rivers within the Framework is the Reference Condition Approach (RCA, BAILEY *et al*., 2003), where *ecological health* is defined in terms of similarity to an undisturbed ("reference") state. RCAs basically rely on classifications of reference sites from rivers of high biological quality, to provide system-specific predictions of the fauna to be expected under undisturbed conditions. By knowing what biota should be present in a given geographic zone, one can estimate the degree to which human activity has altered it (BENNETT *et al*., 2011) because any site can be assessed by comparing its biota to the reference sites, and any change in expected assemblages can indicate environmental changes in the area. Throughout continental Europe, environmental policies aimed at monitoring, improving or preserving the biological quality of surface waters now rely on RCA-derived metrics (MONDY *et al*., 2012).

Europe's political boundaries extend far beyond its continental limits. Although some member states (e.g., France, UK, the Netherlands) have overseas regions in various biogeographic areas of the World (Atlantic, Caribbean, Pacific, Indian Oceans), these regions were overlooked during the development phase of methods that fulfil WFD's requirements. Only recently have ecologists started to collect high-quality biological and environmental data in a standardized manner, so that they can be analyzed according to EU guidelines (e.g., CRUZ *et al*., 2010). Examples are recent and ongoing R&D projects supported by French National funds in the Lesser Antilles (this study), French Guiana (South-America), and the Reunion (Indian Ocean).

Macroinvertebrates constitute relevant biological indicators of ecosystem health, because they form an important part of animal production within freshwater ecosystems, and are tightly integrated into the structure and function of their habitats (COMPIN and CÉRÉGHINO, 2007). Inevitably however, recent macroinvertebrate-based tools cannot be transposed to EU's outermost regions, at least for three reasons related to differences in invertebrate biogeography and anthropogenic pressure. First, entire indicator taxa are missing from some areas (e.g., stoneflies are absent from the Lesser Antilles in the Caribbean). Second, at coarse taxonomic level, biological traits (e.g., body size, feeding habits), richness, and/or numerical dominance do not compare among biogeographic regions (especially in depauperate insular contexts). For instance, while most crustaceans are not recognized as sensitive bioindicators in rivers of continental Europe (DOHET *et al*., 2008), their higher diversity and biomass and much larger body size in tropical islands (e.g., *Macrobrachium heterochirus*, *Xiphocaris elongata, Micratya poeyi, Guiniota dentata*) could confer them higher functional importance within invertebrate communities (FIÈVET, 2001; PRINGLE *et al*., 1993, 1996). Third, and perhaps more importantly, the mismatch between freshwater biodiversity recognition on the one hand, and lack of robust bioassessment tools in Europe's overseas regions on the other, arguably reflects minimal knowledge of the distribution patterns of the aquatic species. Hence, if both ecologists and end-users need explicit geographic models (i.e. maps) to design river management actions, numerical patterning is urgently needed to provide theoretical backgrounds. This study takes a step towards analysing large numbers of site-specific data in European

overseas regions to explore spatial patterns of biological communities in relation to environmental conditions.

With the exception of few densely populated areas (capital cities or agricultural lands), anthropogenic disturbance in Europe's overseas region is often weak or limited to diffuse runoff from small cultivations and/or sparse habitations. Paradoxically, the lack of replication for various disturbance types poses methodological issues as to how to characterize typical species assemblages, or how to calibrate biological indices when uncertainties exists as regards networks of reference sites. To the best of our knowledge, there has been no published ecological classification (typology) of rivers for any European overseas region. In this study, we focussed on Guadeloupe, a Carribean archipelago in the Lesser Antilles, and one of France's 11 inhabited overseas regions. Although routine surveys carried out by local administrations suggest changes in species composition in relation to physical-chemical conditions at local (site) scales (ENSAT, 1995), we still don't know whether anthropogenic alteration of stream generates spatial discontinuities in predictable gradients, or even overrides geomorphological controls on the distribution patterns of macroinvertebrates at the regional (island) scale. Guadeloupe therefore provides a relevant framework to bring out spatial patterns of macroinvertebrate communities in relation to physical, chemical and land-use variables in a EU water policy perspective. Our study tested the following hypotheses: (i) invertebrate diversity broadly declines as anthropogenic pressures increases, (ii) geomorphology determines ecological sub-regions that have typical macroinvertebrate assemblages, and, subsequently (iii) reference conditions (species assemblages, richness, evenness, etc) vary across sub-regions. Specifically, we expected that current *a priori* categorisations of river sites used by local administrations ("expert knowledge") do not match the *a posteriori* classification of rivers sites based on statistical analyses of macroinvertebrate communities, calling for a re-thinking of the network of survey sites and reference conditions. We discuss freshwater invertebrate diversity and distribution in the context of EU's water policy and make suggestions for future directions.

METHODS

Study area and sampling sites

The Guadeloupean archipelago is part of the French Lesser Antilles. It consists of two main islands separated by a narrow salty channel. The northern island, Grande-Terre (848 km²) is a low limestone plateau. Because it only has a single perennial river, this island was omitted in our study. The southern island, Basse-Terre (590 km²), is composed of a North-South volcanic range. The Grande Soufrière Volcano (1467 m a.s.l.) forms the tallest mountain in the Lesser Antilles. The Basse-Terre piedmont is close to the seashore, so that the coastal plain is very narrow. Running waters consist in 55 fast-flowing streams (Fig. 2). The climate is tropical moist and the annual rainfall ranges from <1000 mm on the littoral coast to >10000 mm on the volcano slopes. There is a major reduction in rainfall between December and April (the dry season, or "Carême"). The mean annual air temperature is 27°C, and ranges from 24 to 31°C in summer to 20-29°C in winter. In mountain ranges however (500-1400 m a.s.l.), the mean annual temperature is around in 21-23°C.

Environmental variables

Sampling sites were categorised into five *a priori* groups, based on field observations of potential sources of disturbance: unimpacted, reference sites (REF), sites located below wastewater treatment plants (WTP), domestic or industrial runoff (URB), agricultural runoff (AGRI), and undetermined impact (UNDET). Unimpacted sites (REF) were defined as sites not subjected to anthropogenic impacts such as chemical pollution, agricultural or urban runoff, etc. When neither obvious impacts nor reference conditions could be ascertained, sites were categorized as "UNDET".

Fifty-one sampling sites were then characterized using three land-cover variables, 9 physical variables, and 14 chemical variables. For each site, a Geographic Information System (GIS, ESRI ArcGis 10) was used to delineate a geographical buffer zone including the sampling site, and a 1,000 m-long x 100 m-large riparian corridor located immediately upstream from the site. This size is well suited to assign a land-cover influence to each site (see also COMPIN and CÉRÉGHINO, 2007) and falls within that of the ''Reach Buffer'' sensu ALLAN (2004), i.e., a buffer of 100 m to several hundred meters in width on each bank and some hundreds of meters to a kilometer in length. The 3 land-cover variables were percent area within a buffer zone covered by forest (areas occupied by broad-leaved forest, shrubs and herbaceous vegetation associations), urban development (industrial, commercial and transport units; artificial and non-agricultural vegetated areas), and agricultural (arable lands, permanent crops and pasture). Digital land-cover information was obtained from the CORINE land-cover database for Guadeloupe (CLC 2006, French Ministry of Ecology, http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/t/telechargement-donnees-sig-corine-land-cover-dom.html; see also CRUISKSHANK and TOMLISON (1996)). This database was generated from orthorectified satellite images and provides thematic GIS map layers including up to 44 land-cover classes with a mapping scale of 1:100,000.

Physical variables were elevation above sea level (m), and the percentage composition of substrate types at each site: %litter, % submerged roots, %submerged vegetation, %sand (particle size <2 mm), %gravels (2-25 mm), %pebbles (25-250 mm), %boulders (>250 mm), and % rocky outcrops. These variables were chosen because they characterise the location of sampling sites within the upstream-downstream river continuum.

Water samples for chemical analyses were taken at each site and immediately frozen. Chemical analyses were carried out by the Laboratoire Départemental de la Drôme, France. The chemical variables measured in the laboratory were: turbidity (NTU), suspended solids, total Kjeldahl nitrogen, bicarbonate, chlorure, sulfate, nitrate, silice, total phosphorus and potassium, and biological oxygen demand (mg L^{-1}). Three variables (pH, conductivity (µS cm^{-1}), and dissolved oxygen (mg L^{-1})) were directly measured in the field using a WTW multi-340i probe.

Invertebrate sampling

Macroinvertebrate communities were sampled at 51 sites using a normalized protocol (Multi-Habitat Sampling, norm XP T 90-333 in AFNOR, 2009). During low flow

conditions (dry season, March 2011), we took twelve sample units per site on pre-defined habitat types, using a surber sampler (sampling area 0.05 m², mesh size 500 µm). Four sample units were taken from marginal habitats, i.e. from habitats with an individual share of less than 5% coverage (group A). Eight sample units were taken from major habitats (i.e. with an individual share of at least 5% coverage). Four of these samples were selected according to their carrying capacity (i.e., high biogenic potential, see above-mentioned norm) (group B). The last four sample units were selected in proportion to their relative coverage within the sampling reach (group C), taking account those habitats already sampled in group B (AFNOR 2009). All sample units were preserved with formalin (4% final concentration). In the laboratory, invertebrates were sorted, keyed to species or genus (except for Oligochaeta and most Diptera), and enumerate

Data analysis

The relationships between 26 environmental variables, sampling sites, and abundance data for 91 invertebrate taxa were examined using multivariate ordination. Invertebrate abundances were log (n+1) transformed prior to analyses. An initial Detrended Correspondence Analysis (DCA) in CANOCO v4.5 (TER BRAAK and SMILAUER, 1998) showed that a linear model was the most applicable because of low species turnover (gradient = 1.707) along Axis 1 (LEPŠ and ŠMILAUER, 2003); thereafter, a Redundancy Analysis (RDA) was used to examine invertebrate relationships with sampling sites and with the 26 environmental variables. Forward selection was employed to test which of the environmental variables explained a significant ($P < 0.05$) proportion of the species variance. The significance of explanatory variables was tested against 500 Monte-Carlo permutations. A k-means algorithm was applied to the scores of sampling sites on the most significant RDA axes, in order to divide the scatterplot into clusters. A Geographic Information System (GIS) was used to visualize further the modeled structures (clusters of sites) in a more popular way, and to further discuss differences between our *a posteriori* classification of sites (based on macroinvertebrate community structure) to the *a priori* categorisation of river sites based on local observations (expert opinion). Finally, in order to provide a clearer indication of univariate responses, the distributions of species richness, community evenness (Simpson index) and entropy (Shannon index) were compared among k-means clusters and among *a priori* disturbance categories, using Kruskall-Wallis tests.

RESULTS

Classification of sampling sites

Axes 1 and 2 of the RDA accounted for 23.9% of the total species variance and 52.3% of the species-environment relationship (Fig.1). Eigenvalues for axes 1 and 2 were 0.15 and 0.089, respectively. Species-environment correlations were 0.901 for axis 1 and 0.807 for axis 2. Forward selection identified eleven variables as explaining a significant amount of the species variance (arrows in Fig. 1a): %forest, Potassium and pH (P= 0.002), %litter and %boulders (P=0.004), elevation a.s.l. (P=0.006),

Kjeldahl Nitrogen (NK) (P=0.008), %submerged vegetation (P=0.01), Sulfates and Phosphorus (P=0.03), and Chlorures (P=0.032). The land cover variable "%forest" accounted for the greatest proportion of the total canonical eigenvalues (8 %, F= 4.34, P= 0.002).

The k-means algorithm allowed us to identify 4 clusters of sites (Fig 1a). Clusters were plotted on a geographical map of Basse-Terre, in order to ease interpretations (Fig. 2). K-means clusters were not congruent with the *a priori* categorization of sites into disturbance types (Fig. 2a,b), and, overall, anthropogenic disturbance did not overcome geomorphological controls of invertebrate community structure. Indeed, sites in clusters 1, 2 and 3 corresponded to three major biogeographic regions of the island, i.e., north-eastern area, central-northern range and southern area, respectively. Sites in cluster 1 were mostly characterized by coarse rocky substrates. Sites in cluster 2 belonged to forested areas. Sites in cluster 3 were at higher elevation, close to the Soufrière volcano. Consequently, they were characterized by higher sulfate concentrations. Sites in cluster 4 (mostly pre-identified as WTP and URB) were characteristic of spatial discontinuities in community diversity generated by severe anthropogenic disturbance.

Macroinvertebrate diversity

Ninety-one taxa were identified from 51 stations. The gradient analysis conducted through the RDA basically portrayed geographic changes in the compositional structure of invertebrate communities, and to a much lesser extent, the impact of anthropogenic disturbance (Cluster 4) (Fig 1b, Fig. 2). Sites in cluster 1 showed higher diversity (taxonomic richness and abundance) for insects, especially Ephemeroptera (mostly Baetidae and Leptohyphidae species, see Table 1), Trichoptera (Hydroptilidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae) and Coleoptera (Elmidae). Sites in cluster 2 showed high diversity for above-mentioned insect orders, but also had higher diversity for Odonata (Coenagrionidae, Libellulidae), Diptera (Chironomidae), Crustacea (Atyidae) and Mollusca (Hydrobiidae, Neritidae, Planorbidae). Sites in cluster 3 had high diversity for Mollusca and Crustacea, and for Diptera (Psychodidae, Limoniidae, Empididae, Simuliidae) and Coenagrionidae Odonata (but low diversity for other insect orders). Sites in cluster 4, which were located downstream from wastewater plants and urban outlets, were characterized by higher abundances for Mollusca (Thiaridae and Sphaeriidae), Annelida (Hirudinea and Oligochaetes), and Diptera (Chironomidae, Ephydridae, Limoniidae).

Box-plots suggested a trend for increasing within-cluster variability in diversity indices from cluster 1 to cluster 4. Taxonomic richness, community evenness (Simpson index) and entropy (Shannon index) differed significantly among clusters (Kruskal-Wallis tests, $p<0.05$, Fig. 3), and showed a decreasing trend from north-eastern (cluster 1) to south areas (cluster 3). However, taxonomic richness and evenness did not differ significantly between clusters 3 and 4. No clear patterns in community diversity were apparent when sites were divided into *a priori* categories based on local observations of potential disturbance (Fig. 3, Figs. 2a,b).

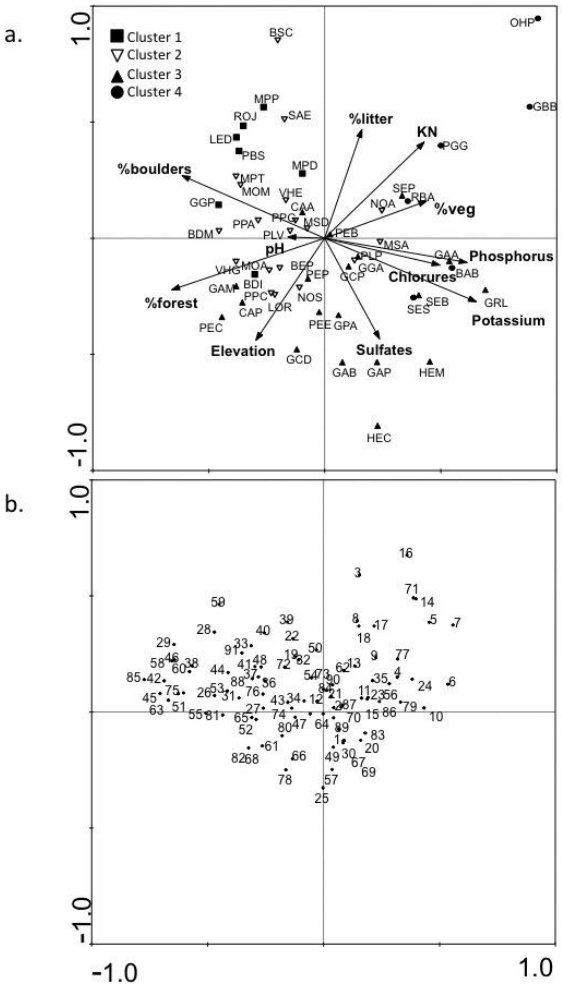


Fig 1. Redundancy analysis (RDA) biplots. (a) Sampling sites and environmental variables. Environmental variables are represented as vectors; directions show the gradients, arrow length represents the strengths of the variables on the ordination space. In order to lighten the figure, only variables explaining a significant ($P<0.05$) proportion of the species variance are represented. Different markers are used to assign sites to k-means clusters 1-4 (see text for a description). (b) distribution of invertebrate taxa in ordination space. Invertebrates are identified by numbers as in Table 1.

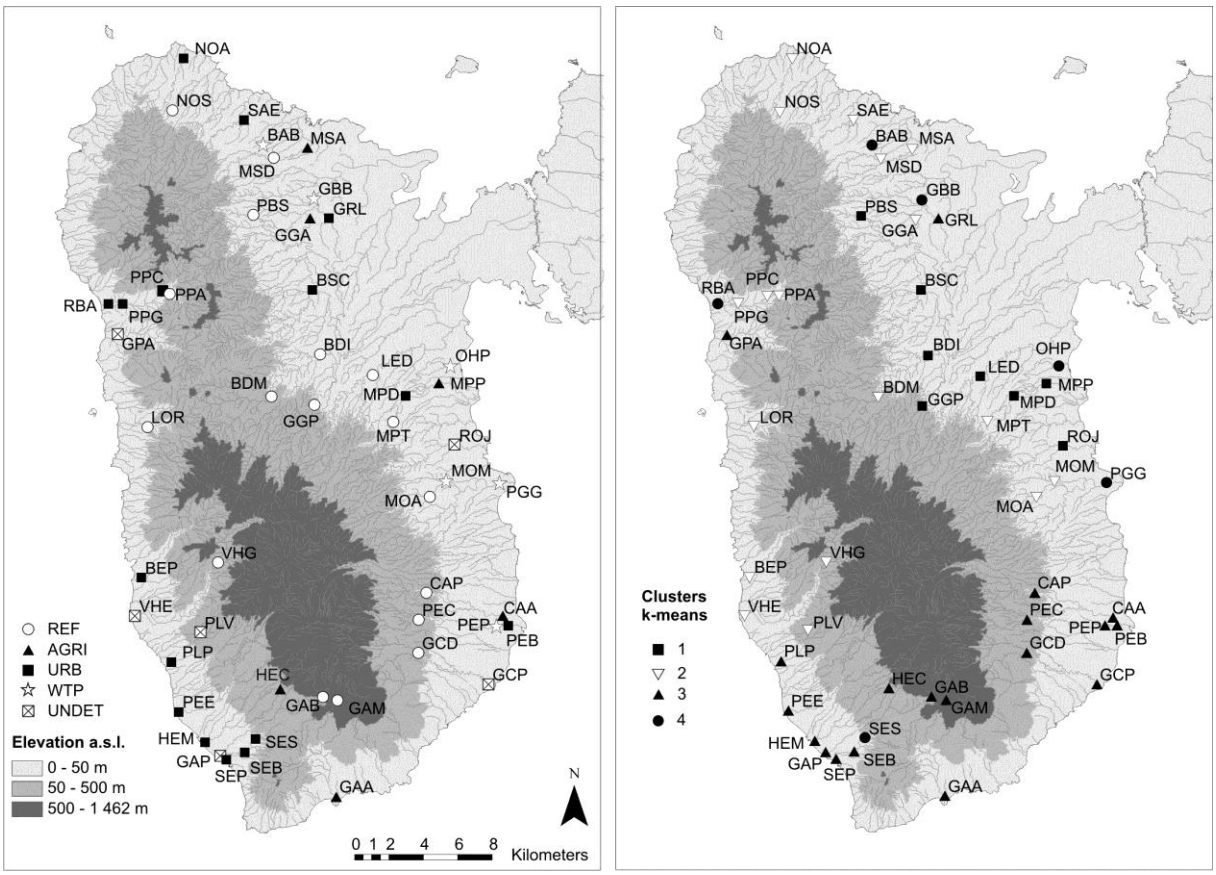


Fig 2. Distribution of sampling sites in the Basse-Terre rivers. (a) correspondence with *a priori* categories (REF= reference sites, AGRI= agricultural runoff, URB= domestic or industrial runoff, WTP= wastewater treatment plants, UNDET= undetermined). (b) correspondence with their location (clusters 1-4) on the RDA ordination space (see also Fig. 1).

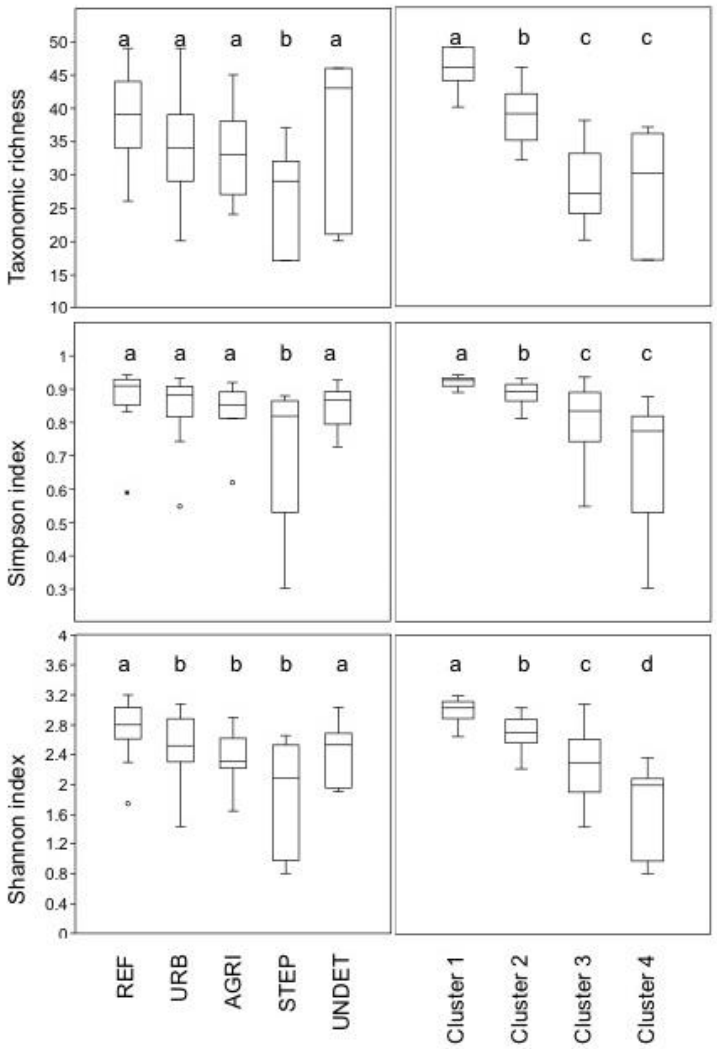


Fig 3. Boxplots of diversity metrics distributions (taxonomic richness, Simpson's evenness, Shannon's Entropy) in the five *a priori* site categories (left) and in the four clusters derived from the RDA and k-means analyses (right), with comparison of pairs of clusters. Significant differences between categories or clusters were tested with Kruskal-Wallis tests; lowercase letters above boxes indicate significant differences at $P<0.05$.

Table 1. Distribution of the various invertebrate taxa among clusters 1-4. Numbers indicate density (individuals per m^2) ± SE. Taxa ID as in Fig. 1.

Phylum	Class / Order	Family / Subfamily	Species	ID	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Nemertea				1	4.28±1.07	5.18±1.03	5.42±1.48
Hydracarina				2	2.33±0.82	5.25±1.54	1.42±0.18
Annelida	Achaeta	Dugesiidae		3	29.37±7.57	4.12±0.63	1.64±0.31
		Erpobdellidae		4	-	8±8	1±1
		Glossiphoniidae		5	-	9±9	1±1
	Oligochaeta			6	22.12±6.08	32.5±14.8	42.10±10.9
	Polychaeta			7	-	-	3±1
		Ancylidae		8	8.25±4.89	17.66±6.8	1±1
		Ampullariidae	*Pomacea glauca*	9	3±3	-	-
		Hydrobiidae		10	-	2±0.41	35.5±3.17
		Neritidae	Unidentified	11	-	30±8.33	1.75±0.34
			Neritina sp.	12	-	11.87±2.55	19.22±3.6
		Neritiliidae		13	-	40.5±16.5	60.75±27.1
		Physidae	*Physa* sp.	14	56.66±19.43	18.66±8.36	8.55±2.72
		Planorbidae		15	-	-	4±0.97
		Thiaridae		16	85.37±26.7	41.55±12.27	15.92±4.39
		Sphaeriidae	*Pisidium* sp.	17		2.62±0.49	-
Crustacea	Ostracoda			18	42.62±12.77	27.44±11.98	19.64±7.59
		Gammaridae		19	8.33±4.19	14.75±4.58	1.5±0.23
			Atya sp.	20	-	6.5±1.83	9.8±4.74
			Micratya poeyi	21	6±1.6	5.78±1.25	32.58±13.6
			Potimirim sp.	22	9.2±4.38	10.33±2.07	-

		Xiphocaridae	*Xiphocaris elongata*	23	1±1	2.25±0.59	9.16±3.76
			Macrobrachium sp.	24	1.2±0.16	3.5±0.92	15.11±3.98
		Pseudothelphusidae	*Guinotia* sp.	25	-	-	3.5±0.49
Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	*Phylloicus* sp.	26	7.16±3.11	5.8±2.06	2.4±0.48
		Glossosomatidae	*Protoptila* sp.	27	1.33±0.2	103.6±39.77	19±2.75
		Helicopsychidae	*Helicopsyche* sp.	28	12.87±3.61	8.2±2.2	3.75±0.63
			Smicridea sp.	29	52.62±17.81	12.86±3.41	7.11±2.7
		Hydroptilidae	Unidentified	30	-	-	1±1
			Alisorichia sp.	31	10±3.98	5.4±1.04	6.5±0.49
			Hydroptila sp.	32	9.42±5.92	28.1±18.48	2.33±0.35
			Neotrichia sp.	33	47.75±22.58	29.33±11.19	8.38±2.3
			Ochrotrichia sp.	34	-	1.5±0.17	-
			Oxyethira sp.	35	13.2±4.56	16.33±6.26	3.2±0.77
			Zumatrichia sp.	36	7±2.47	2.5±0.17	1.5±0.13
			Oecetis sp.	37	2.33±0.82	3.66±1.09	-
		Philopotamidae	*Chimarra* sp.	38	16.5±6.33	9.14±2.8	3.62±0.49
		Polycentropodidae	Polycentropodidae sp1	39	1±1	3±1	-
			Cernotina sp.	40	10±4.05	7.5±2.07	-
			Polyplectropus sp.	41	2±0.61	1±1	-
		Xiphocentronidae	*Xiphocentron fuscum*	42	19.62±8.33	8.85±2.39	1.77
	Ephemeroptera	Baetidae	Baetidae sp1	43	4±1	1.5±0.17	-
			Americabaetis spinosus	44	79.62±32.81	47.27±13.75	31.93±12.3

		Cloedes caraibensis	45	24.42±3.86	14.41±4.05	6.45±1.38
		Fallceon ater	46	12.25±4.57	12.07±3.35	10±2.92
	Caenidae	*Caenis* sp.	47	2.5±0.61	7.3±3.35	15.4±6.88
		Caenis femina	48	7.66±2.6	19.18±5.96	11.55±5.41
		Caenis catherinae	49	3±0.94	11.12±6.18	3.62±0.57
	Leptohyphidae	Unidentified	50	-	-	1.5±0.16
		Leptohyphes sp.	51	51.25±16.08	62.88±14.53	17.42±3.89
		Tricorythodes griseus	52	49±22.51	64.66±43.46	37.46±9.92
	Leptophlebiidae	*Hagenulopsis guadeloupensis*	53	2±0.29	3.83±0.90	1.66±0.26
Heteroptera	Mesoveliidae	*Mesovelia sp.*	54	7±7	-	1±1
	Veliidae	*Rhagovelia* sp.	55	3.25±0.28	2±0.3	2±0.28
		Microvelia sp.	56	-	-	-
		Laccophilus sp.	57	-	-	4±0.97
Coleoptera	Elmidae	*Elsianus* sp.	58	11.37±2.87	6.13±0.95	3±0.56
		Neoelmis sp.	59	58.37±9.71	16.43±4.09	2.12±0.23
		Hexanchorus sp.	60	7.85±3.44	3.78±0.64	2.42±0.18
	Gyrinidae	*Gyretes* sp.	61	4±1.5	-	2.33±0.26
	Hydraenidae	*Hydraena* sp.	62	5±5	1.5±0.17	1±1
	Psephenidae	*Psephenops* sp.	63	11.16±3.64	6.72±1.82	6±0.68
	Staphylinidae		64	1.5±0.25	-	6±1.99
Diptera	Blephariceridae		65	-	12.25±2.63	2.5±0.49
	Cecidomyidae		66	-	-	1.6±0.31
	Ceratopogonidae	Unidentified	67	-	-	19±4.69

	sF/ Ceratopogoninae		68	3±0.71	5.5±1.3	9.33±4.36
	sF/ Forcypomyinae	*Atrigopogon* sp.	69	2.25±0.88	1.75±0.5	1.85±0.36
	sF/ Dasyheleneidae		70	1.33±0.2	-	2±0.32
	sF/ Chironominae	Chironomini	71	66.12±21.38	51±20.53	18.42±6.14
		Tanytarsini	72	130.25±43.87	31.88±10.89	39.62±28.1
	sF/ Orthocladinae		73	101.5±36.03	26±7.29	90.26±22.6
	sF/ Tanypodinae		74	27.75±8.7	19.44±6.20	14.38±2.86
		Harrisius spp.	75	48.75±17.47	12.33±2.68	6.37±1.08
	Empididae	*Hemerodromia* sp.	76	13.62±4.45	7.76±3.11	2.88±0.53
	Ephydridae		77	3±1	-	2±0.32
	Limoniidae		78	1±1	3.5±0.83	1.66±0.26
	Psychodidae	Unidentified	79	5.5±1.75	-	2.8±0.47
		Maruina sp.	80	7±0.18	5.66±2.58	2±0.36
	Rhagionidae	*Chrysopilus* sp.	81	1.25±0.18	1.25±0.12	-
	Simuliidae		82	9.6±5.08	43.12±14.38	32.71±12.1
	Syrphidae		83	-	-	1±1
Odonata		Undetermined	84	5±0.71	1.33±0.14	1±1
	Coenagrionidae	*Argia concinna*	85	21.25±6.11	11.43±2.63	7.42±2.03
		Enallagma coecum	86	4±1.06	7.5±0.5	12.66±2.89
		Ischnura ramburii	87	-	2±0.33	-
	Libellulidae	*Brechmorhoga praecox*	88	1±1	1±1	-

		Macrothemys celleno	89	-	1±1	-
		Unidentified	90	5±1.89	2.75±0.9	1.75±0.27
Lepidoptera	Pyralidae		91	49.14±16.73	15.3±8.07	-

DISCUSSION

This study provides new, quantitative information on the distribution and environmental preferences of freshwater invertebrates in the French Lesser Antilles. To date, data were insufficient to carry out statistical analysis and validate models, so that expert knowledge was the only option to target networks of survey sites. Therefore, this is the first attempt to use an *a posteriori* inductive approach to community patterns, where a large volume of site specific data are subjected to ordination and cluster analyses in order (i) to derive spatial schemes, and (ii) to categorize sites in an objective way. Discussion herein evaluates issues arising from our analysis of freshwater diversity and distribution in Guadeloupe, and considers implications of this knowledge for the development of bio-assessment tools.

Ordination and cluster analyses are frequently used in the exploratory phase of typologies. All site categories were included in our multivariate analysis, regardless of *a priori* consideration of disturbance. By doing so, we expected that geographically adjacent sites appearing distant in modelling space (according to macroinvertebrate communities) would represent differences among sites in biological quality. Overall, our results highlight the importance of land cover (e.g., forest vs open areas) and geomorphology (particle size, river competence and erosive forces in relation to elevation, specific water chemistry nearby the volcano) in delineating ecological sub-regions for the freshwater biota. Deviation from predictable community structure within a given sub-region primarily occurred when river sites were subjected to harsh anthropogenic disturbance, notably urban runoff and wastewater inputs. In this case, disturbance mostly overrode geomorphological controls on the distribution of macroinvertebrate diversity through water chemistry alterations (phosphorus, nitrogen, chlorures).

Most bio-assessment systems use common species to assess the ecological quality of surface waters (NIJBOER, 2006), while rare species are rather used in assessing the conservation value of freshwaters (NIJBOER and VERDONSCHOT, 2004). Common taxa are expected to give a closer approximation to spatial patterns of community structure and evenness than do rare ones (CUCHEROUSSET *et al*., 2008; SIQUIERA *et al*., 2012). Fifty taxa out of 91 occurred in more than 25% of the sampling sites and 30 taxa were found at more than 50% of the sites. Most taxa (84.6%) were therefore widespread and occurred in 3 or 4 clusters. Only 3 and 11 taxa occurred in 1 and 2 clusters, respectively, and in low abundances (< 1 individual per m^2). *Macrothemys celleno* (Odonata) was only found in cluster 1, while *Guinotia* sp . (Crustacea) and *Laccophilus* sp. (Trichoptera) only occurred in cluster 3. However, despite the ubiquity of most invertebrates, individual sites only contained 17 to 49 taxa. This situation raise concerns as to how to define water quality classes and how to identify sensitive indicator species when (i) the regional species pool is poor (insular context, most genera contained only one or two species), (ii) values for mean or median species richness do not differ greatly between stressed and unstressed sites (see e.g. COMPIN and CÉRÉGHINO, 2003), and (iii) most species seem to have broad niches. It is worth noting, in addition, that species richness and community evenness were not significantly different between cluster 3 (influence of the volcano) and cluster 4 (human-impacted sites). However, species composition differed greatly between clusters 3 (insects) and 4 (molluscs, annelids). Important differences also existed between clusters in terms of numerical dominance. For instance, a small number of pollution resistant-taxa (Glossiphonidae,

Neritidae, Dugesiidae, Thiaridae, Oligochaetes and Tanytarsini) represented 75% of the mean invertebrate density in cluster 4 (impaired sites), but only 15-25% of the mean density in other clusters (see Appendix 2). Conversely, several Trichoptera (e.g., *Xiphocentron fuscum*, *Chimarra* sp.), Ephemeroptera (*Cloedes caraibensis*, *Leptohyphes* sp., *Americabaetis* sp., *Tricorythodes griseus*) and Coleoptera (*Neoelmis* sp.) made up to 50% of the mean density in clusters 1-3. We therefore anticipate that changes in species richness (either via a loss or a gain of species) would not detect any stress efficiently within a given sub-region (cluster), and recommend to rather consider metrics that quantify changes affecting the density of species and/or functional groups (TOMANOVA *et al*., 2008).

The ratios between observed biological parameters and the expected values under reference conditions (Ecological Quality Ratios) for these parameters are at the heart of WFD compliant methods to evaluate biological quality in freshwaters (MONDY *et al*., 2012). This framework implies that both typology and reference conditions need to be agreed upon before considering further developments. If *a priori* definitions of reference sites (expert opinion) are not always biologically meaningful (VAN DE BUND and SOLIMINI, 2006), congruence between *a priori* and *a posteriori* categorizations of sites should provide robust schemes because they would be based both on knowledge and statistical power. Based on this idea, we can still identify references sites that are specifically relevant for our ecological sub-regions (clusters 1-3). In cluster 1 (north-eastern Basse-Terre), where variability in diversity indices was the lowest (see Fig. 3), three sites (BDI, LED, PBS) were formerly categorized as REF. LED and PBS had the highest taxonomic richness are thus likely sites of high biological quality.

In cluster 2 (central-north range), 8 sites out of 18 were a priori considered as reference sites (see Fig 2). Among these, VHG and MPT hosted the most taxa. Within cluster 3, five sites were *a priori* categorized as REF, but only two sites (GAM and PEC) belonged to the first quartile in terms of taxonomic richness (38 and 34 taxa respectively). It should be noted however that some sites a priori considered as impacted (URB and AGRI categories) showed high values for community diversity metrics too. This could be due either to weak impacts and/or to the ubiquity (or tolerance) of many species.

The WFD emphasizes the importance of geographic differences in biotic and abiotic characteristics of freshwater ecosystems (SCHIMDT-KLOIBER *et al*., 2006), so that classification has become an integral part of efforts to study, monitor and manage ecosystems at a regional scale (CHAVES *et al*., 2011). The published literature unambiguously shows that limited scientific effort has been directed at characterizing how rivers in overseas Europe differ in terms of biological community structure, and how communities respond to changes in abiotic conditions. Based on our study, it is apparent that future work should focus on relevant indicator taxa (or combinations of those) in order to eliminate noise from complete datasets. At the same time, further analyses of physical-chemical environments are needed to identify tipping points between natural and disturbed states.

5. Acknowledgements

This study was funded by the French *Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Guadeloupe* (*Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement/ DEAL Guadeloupe*), the *Office de l'Eau Guadeloupe* and the *Office National de Eau et des Milieux Aquatiques*. HTP is supported by an ANRT-CIFRE grant n°912/210, CB is supported by an ANRT-CIFRE grant n°460/210.

6. Literature cited

AFNOR, 2009: Qualité de l'eau. Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes. XP T 90-333. Technical Report, 15 pp.

ALLAN, J., 2004: Landscapes and riverscapes: the influence of land-use on stream ecosystems. – Annual Review of Ecology Evolution and Systematics **35**: 257-284.

ANONYMOUS, 2003: Rivers and Lakes - Typology, Reference Conditions and Classification Systems. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive Guidance Document No 10.

BAILEY, R., R. NORRIS, and T. REYNOLDSON, 2003: Bioassessment of freshwater ecosystems using the reference condition approach. Kluwer Academic Publishers, New York, USA.

BENNETT, C., R. OWEN, S. BIRK, A. BUFFAGNI, S. ERBA, N. MENGIN, J. MURRAY-BLIGH, G. OFENBÖCK, I. PARDO, W. VAN DE BUND, F. WAGNER, and J.-G. WASSON, 2011: Bringing European river quality into line: an exercise to intercalibrate macro-invertebrate classification methods. – Hydrobiologia **667**: 31-48.

CHAVES, M. L., J. L. COSTA, P. CHAINHO, M. J. COSTA, and N. PRAT, 2011: Are Water Framework Directive stream types biologically relevant? The case of the Mondego river, Portugal. – Annales de Limnologie – International Journal of Limnology **47**: 119-131.

COMPIN, A. and R. CÉRÉGHINO, 2003: Sensitivity of aquatic insect species richness to disturbance in the Adour–Garonne stream system (France). – Ecological Indicators **3**: 135-142.

COMPIN, A. and R. CÉRÉGHINO, 2007: Spatial patterns of macroinvertebrate functional feeding groups in streams in relation to physical variables and land-cover in Southwestern France. – Landscape Ecology **22**: 1215–1225.

CRUISKSHANK, M. M. and R. W. TOMLISON, 1996: Application of CORINE land cover methodology to the UK. Some issues raised from Northern Ireland. – Global Ecology and Biogeography **4/5**: 235-248.

CRUZ, J. V., D. PACHECO, R. COUTINHO, R. CYMBRON, S. MENDES, P. ANTUNES, J. FONTIELA and P. FREIRE, 2010: Chemical monitoring of river water bodies in an EU outermost region: examples from the Azores archipelago (Portugal). – Journal of Environmental Monitoring **12**: 2216-2225.

CUCHEROUSSET, J., F. SANTOUL, J. FIGUEROLA, and R. CÉRÉGHINO, 2008: How do biodiversity patterns of river animals emerge from the distributions of common and rare species? – Biological Conservation **141**, 2984-2992.

DOHET, A., L. ECTOR, H. M. CAUCHIE and L. HOFFMANN, 2008: Identification of benthic invertebrate and diatom indicator taxa that distinguish different stream types as well as degraded from reference conditions in luxembourg. – Animal Biology **58**: 419-472.

ENSAT (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse), 1995. Etat des lieux des cours d'eau de la Guadeloupe. Technical Report, 143p.

EUROPEAN COUNCIL, 2000: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. 72.

FIÉVET, E., S. DOLÉDEC, and P. LIM, 2001: Distribution of migratory fishes and shrimps along multivariate gradients in tropical island streams. – Journal of Fish Biology **59**: 390-402.

LEPŠ, J. and P. ŠMILAUER, 2003: Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge, 282 pp.

MONDY, C. P., B. VILLENEUVE, V. ARCHAIMBAULT and P. USSEGLIO-POLATERA, 2012: A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. – Ecological Indicators **18**: 452-467.

NIJBOER, R. C., 2006: The myth of communities determining ecological quality of surface waters using macroinvertebrate community patterns. Ph.D. Thesis, Wageningen University, The Netherlands.

NIJBOER, R. C. and P. F. M. VERDONSCHOT, 2004: Rare and common macroinvertebrates: definition of distribution classes and their boundaries. – Archiv Fur Hydrobiologie **161**: 45-64.

PRINGLE, C. M., 1996: Atyid shrimps influence the spatial heterogeneity of algal communities over different scales in tropical montane streams, Puerto Rico. – Freshwater Biology **35**: 125-140.

PRINGLE, C. M., G. A. BLAKE, A. P. COVICH, K. M. BUZBY and A. FINLEY, 1993: Effects of omnivorous shrimp in a montane tropical stream: sediment removal, disturbance of sessile invertebrates and enhancement of understory algal biomass. – Oecologia **93**: 1-11.

SCHMIDT-KLOIBER, A., W. GRAF, A. LORENZ and O. MOOG, 2006: The AQEM/STAR taxalist-a pan-European macro-invertebrate ecological database and taxa inventory. – Hydrobiologia **566**: 325-342.

SIQUEIRA, T., L. M. BINI, F. O. ROQUE, S. R. MARQUES COUCEIRO, S. TRIVINHO-STRIXINO and K. COTTENIE, 2012: Common and rare species respond to similar niche processes in macroinvertebrate metacommunities. – Ecography **35**: 183-192.

TER BRAAK, C. J. and F. P. SMILAUER, 1998: Reference manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination (version 4), Ithaca, NY, USA.

TOMANOVA, S., N. MOYA and T. OBERDORFF, 2008: Using Macroinvertebrate Biological Traits for Assessing Biotic Integrity of Neotropical Streams. – River Research and Applications 24: 1230-1239.

VAN DE BUND, W. and A. SOLIMINI, 2006: Ecological Quality Ratios for ecological quality assessment in inland and marine waters. EU project REBECCA Deliverable 10, 22 pp.

ANNEXE 7. Biotypologie de la Martinique.

Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems (2013) 408, 01 http://www.kmae-journal.org
ONEMA, 2013
DOI: 10.1051/kmae/2013036

Invertebrate distribution patterns and river typology for the implementation of the water framework directive in Martinique, French Lesser Antilles

C. Bernadet[1,2,3], H. Touron-Poncet[1,2,3], C. Desrosiers[1,2,3], A. Compin[1,2], N. Bargier[3,4], R. Céréghino[1,2]

Received September 21, 2012
Revised January 15, 2013
Accepted January 15, 2013

ABSTRACT

Key-words: *biological indicators, overseas regions, reference conditions, river classification, tropical rivers*

Over the past decade, Europe's Water Framework Directive provided com- pelling reasons for developing tools for the biological assessment of fresh- water ecosystem health in member States. Yet, the lack of published study for Europe's overseas regions reflects minimal knowledge of the distribu- tion patterns of aquatic species in Community's outermost areas. Benthic invertebrates (84 taxa) and land-cover, physical habitat and water chem- istry descriptors (26 variables) were recorded at fifty-one stations in Mar- tinique, French Lesser Antilles. Canonical Correspondence Analysis and Ward's algorithm were used to bring out patterns in community structure in relation to environmental conditions, and variation partitioning was used to specify the influence of geomorphology and anthropogenic disturbance on invertebrate communities. Species richness decreased from headwa- ter to lowland streams, and species composition changed from northern to southern areas. The proportion of variation explained by geomorpho- logical variables was globally higher than that explained by anthropogenic variables. Geomorphology and land cover played key roles in delineating ecological sub-regions for the freshwater biota. Despite this and the small surface area of Martinique (1080 km^2), invertebrate communities showed a clear spatial turnover in composition and biological traits (*e.g.*, insects, crustaceans and molluscs) in relation to natural conditions.

RÉSUMÉ

Patrons de distribution des invertébrés et typologie des rivières pour la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau en Martinique, Antilles Françaises

Au cours de la dernière décennie, la Directive Cadre Européenne sur l'Eau a promu le développement d'outils de bioindication de la qualité des eaux douces au sein des états membres. L'absence de travaux sur l'Outre-Mer révèle une connais- sance minimale de la distribution des espèces aquatiques dans ces régions de l'Europe. Les invertébrés benthiques (84 taxons), ainsi que des variables décrivant l'utilisation des terres, l'habitat physique et la chimie de l'eau (26 variables) ont été quantifiés sur 51 stations en Martinique (Antilles Françaises). Des analyses cano- niques et l'algorithme de Ward ont permis de dégager des patrons d'organisation des communautés en relation avec les conditions environnementales, puis une partition de variance a permis de préciser l'influence de la géomorphologie et des perturbations anthropiques sur ces patrons. La richesse spécifique décroît des cours d'eau de tête de bassin à la plaine, et la composition des communautés change du nord au sud de l'île. La proportion de variance expliquée par les va- riables géomorphologiques est globalement supérieure à celle expliquée par les variables anthropiques. La géomorphologie et la couverture végétale définissent les sous-régions écologiques pour la faune aquatique. Les îles des Caraïbes ont des pools d'espèces pauvres ; pourtant, et malgré la petite surface de la Marti- nique (1080 km^2), les communautés d'invertébrés montrent une variabilité spatiale en terme de composition et de traits (insectes, crustacés, mollusques) en relation avec les conditions locales.

INTRODUCTION

Intended to protect *all* surface waters in Member States, Europe's Water Framework Direc- tive (WFD, 2000/60/EC) has provided compelling reasons for developing practical tools for the biological assessment of freshwater ecosystem health. According to the WFD guidelines, *ecological health* must be defined in terms of similarity to an undisturbed ("reference") state. The Reference Condition Approach (RCA, Bailey *et al*., 2003) notably implies the characteriza- tion of biological communities (fish, invertebrates, diatoms, phytoplankton, plants) expected to occur where there is (almost) no anthropogenic disturbance (Chaves *et al.*, 2011; Wallin *et al*., 2003). Geomorphological, physical, and chemical attributes of freshwater systems have to be associated with biological features too when defining undisturbed conditions. Recent examples of RCA-based works in continental Europe can be found in Gabriels *et al.* (2010) (Belgium), Delgado *et al*. (2010) (Spain), Kelly *et al*. (2012) (Ireland), and Mondy *et al*. (2012) (France).

The European Union (EU) has 34 overseas territories which belong to six member states (Denmark, France, the Netherlands, Portugal, Spain, and the United Kingdom). Although they occur across a range of biogeographic areas from polar to tropical latitudes, these territories are subjected to EU's water legislation too. In other words, overseas regions have the same water policy objectives as the continental ones, and must fulfil WFD's goals. To date however, there has been no published WFD-compliant method for river bioassessment in any European overseas region, and even preliminary work (i.e., stream classifications based on river biota, identification of reference conditions) is lacking. Reference conditions and metrics

designed for the European continent cannot be transposed to overseas regions, at least for two ma- jor reasons. Firstly, biogeographic differences in community composition/structure preclude the adaptation of current metrics. For instance, entire indicator groups are absent from some biogeographic areas, *e.g.*, stoneflies (a particularly sensitive group of taxa in Europe) are ab- sent in the Lesser Antilles (Caribbean Sea), Macaronesia (Atlantic Ocean) and the Reunion (Indian Ocean), and are scarce in French Guiana (South-America) (ENSAT, 1995; Hughes,

2005; Stark, 2000; Starmühlner, 1977). Secondly, and perhaps more importantly, limited sci- entific effort has been directed at characterizing how rivers in overseas Europe differ in terms of biological communities, and how these communities respond to changes in abiotic con- ditions. As a consequence, tolerance to water pollution and Ecological Quality Ratios (ratios between observed biological parameters and the expected values under reference conditions (Anonymous, 2003)) cannot be defined yet.

The present study takes a step towards the development of WFD-compliant bioassess- ment tools in overseas Europe. It was conducted in Martinique (French Lesser Antilles, Caribbean), one of France's eleven inhabited overseas territories. Martinique freshwaters suffer from chemical-physical degradation due to human population growth on a cramped territory (400 000 inhabitants in 2009, 1100 km^2 ; INSEE, 2009). Routine surveys conducted by local consultancies and environmental agencies revealed changes in river invertebrate communities in relation to local physical and chemical conditions (Asconit Consultants, Un- published data). However, we still don't know how geomorphological variables influence in- vertebrate distribution patterns in Carribean islands, and to what extent anthropogenic distur- bance overrides geomorphological controls on the distribution patterns of macroinvertebrates at the local (station) to regional (island) scale (Huryn and Wallace, 1987 ; Sandin and Johnson,
2000; Wu and Legg, 2007). To address this question, we sampled invertebrate communities at 51 stations distributed across Martinique's stream systems, and we used an *a posteriori* inductive approach to bring out patterns of macroinvertebrate communities in relation to a set of physical, chemical and land-cover variables. Variance partitioning was used to tease out the effects of geomorphology (*e.g.*, elevation, riverbed substrate) and anthropogenic impacts (land-cover, water chemistry). We discuss freshwater invertebrate diversity and distribution in the context of water policy and make suggestions for future directions.

MATERIAL AND METHODS

> STUDY AREA

Martinique is a volcanic island of the French Lesser Antilles (surface area = 1080 km^2). The North of the island is mountainous ("*Montagne Pelée*" volcano, elevation = 1397 m a.s.l.) and covered by wet forest, the South area consists

in plains and hills (maximum eleva- tion = 507 m a.s.l.) mainly covered by agricultural and urban lands (Fort-de-France capital city, tourist resorts). Running waters consist in 70 streams, mostly concentrated in the North area. Watersheds are 15 km^2 on average (maximum area = 116 km^2). The climate is tropical moist, the mean annual air temperature is 27 ◦ C. Rainfalls range from <1000 mm per year in the South to >10 000 mm per year on the northern mountaintops. A dry season ("Carême") occurs between December and April.

> ENVIRONMENTAL VARIABLES

Fifty-one stations were sampled during the dry season in April 2010 (Figure 1). These stations were evenly distributed and represented 45 rivers (the island has a total of 70 referenced rivers). All unimpacted (reference) stations belonged to the network of reference stations for- mally defined by the regional Environmental Administration (*Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement*, Martinique) as per WFD rules. Stations subjected to anthro- pogenic impacts (urban, industrial or agricultural runoff, wastewater treatment plants) were selected based on field observation and on water chemistry analyses provided to us by the above-mentioned Administration.

Each station was characterized using fourteen chemical variables, nine physical variables and three land-cover variables. Three physical-chemical variables were directly measured in the field using a multiparametric Hydrolab Quanta probe: conductivity ($\mu S \cdot cm^{-1}$), pH, and dis- solved oxygen ($mg \cdot L^{-1}$). Water samples were also collected at the same time of invertebrate sampling, transported to the laboratory on ice and frozen to be analyzed by the Laboratoire Départemental de la Drôme, France. The following chemical variables were measured fol- lowing standard methods summarized in ASCONIT (2012): turbidity (NTU), suspended solids, ammonium, nitrate, sulfate, bicarbonate, chloride, silice, total phosphorus and potassium, and biological oxygen demand ($mg \cdot L^{-1}$).

The percentage composition of substrate types was determined at each sampling station as:

%litter, %submerged vegetation, %submerged roots, %sand (particle size <2 mm), %gravels (2−25 mm), %pebbles (25−250 mm), %boulders (>250 mm), and %rocky outcrops. Together with elevation above sea level (m a.s.l.), these physical variables relate the location of sam- pling stations along the upstream-downstream river continuum.

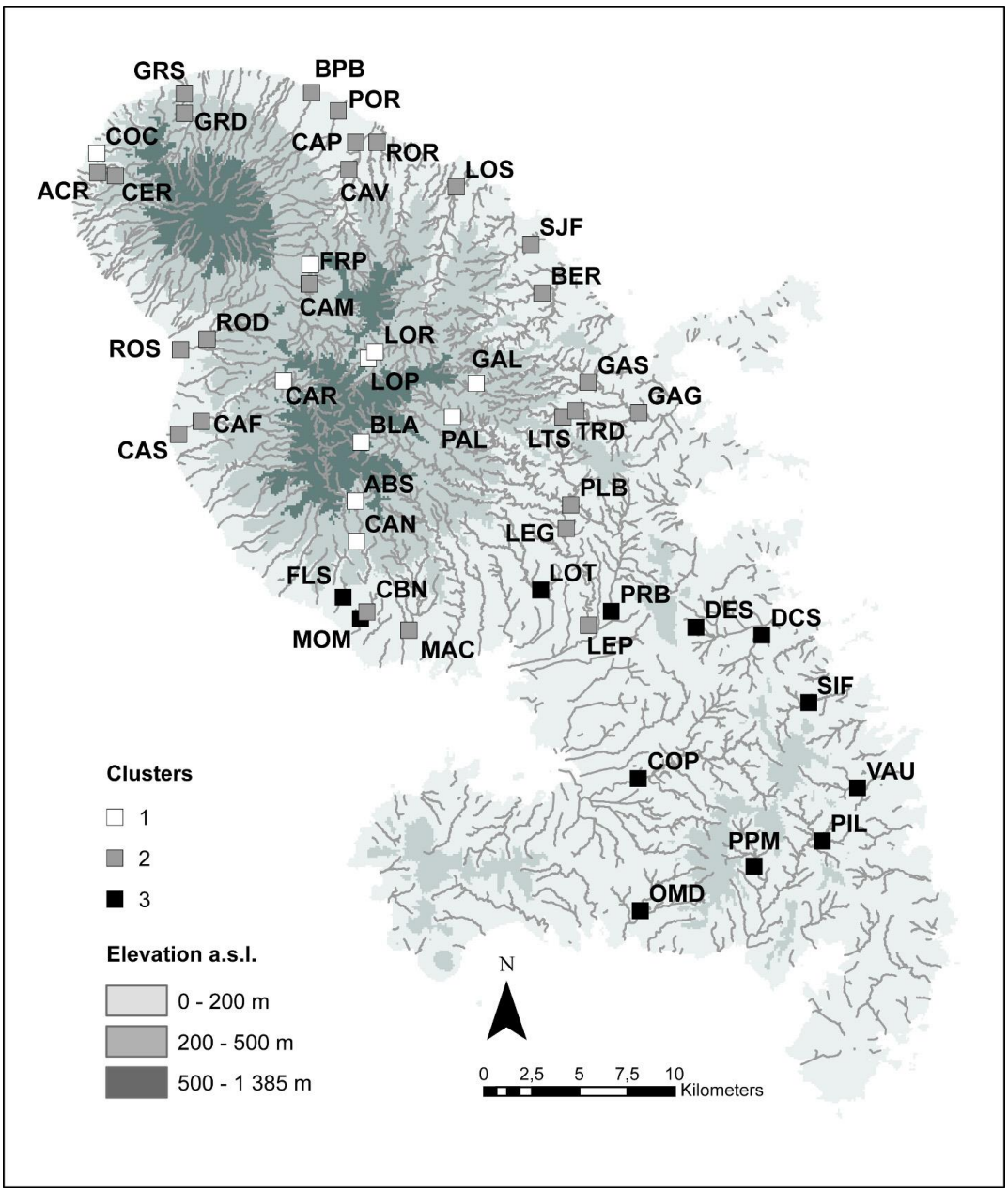


Figure 1
Distribution of sampling stations in the Martinique rivers. Different markers are used to assign stations to clusters 1–3 derived from the CCA analysis and Ward's algorithm (see also Figure 2).

Finally, land cover was quantified at each station using a Geographic Information Sys- tem (GIS, ESRI ArcGis 10). The 3 land-cover variables extracted were the percent ar- eas covered by forest (areas occupied by broad-leaved forest, shrubs and herbaceous vegetation associations),

urbanization (industrial, commercial and transport units; artifi- cial and non-agricultural vegetated areas), and agriculture (arable lands, permanent crops and pasture). These percentages were estimated on 1000 m-long × 100 m-large ri- parian corridor (buffer zone) located immediately upstream from the sampling station (see Compin and Céréghino (2007) for methodological and theoretical details). Digi- tal land-cover information was extracted from the CORINE land-cover database for Martinique (French Ministry of Ecology, http://www.statistiques.developpement-durable. gouv.fr/donnees-ligne/t/telechargement-donnees-sig-corine-land-cover-dom.html; see also Cruiskshank and Tomlison (1996)). This database was generated from orthorectified satellites images and provides thematic GIS map layers including up to 24 land-cover classes with a mapping scale of 1:100 000.

> INVERTEBRATE SAMPLING

Macroinvertebrate sampling was carried out during the dry season in April 2010, during low flow, using the Multi-Habitat Sampling normalized protocol (norm XP T 90-333 in AFNOR,

2009). Twelve sample units were taken from the various habitat types, according their cover- age area. Sample units are distributed as follows: four sample units were taken from marginal habitats (*i.e.* habitats which cover less than 5% of the sampling station) (group A), four sam- ples units were taken from major habitats (habitats which cover at least 5% of the sampling station) and potentially have a high carrying capacity for invertebrates (group B), and the last four sample units were taken from major habitats too but in proportion to their relative cover- age within the sampling station (group C), taking into account those habitats already sampled in group B. All samples were taken with a standard Surber sampler (sampling area 0.05 m^2 , mesh size 500 µm), and preserved in formalin (4% final concentration). In the laboratory, in- vertebrates were sorted, identified to species or genus (except for Oligochaeta and Diptera), and counted, in order to calculate the density of each taxon (individuals per m^2).

> DATA ANALYSIS

Multivariate ordination was used to examine the relationships between 26 environmental vari- ables, sampling stations, and density data for 84 invertebrate taxa. The densities were log (n + 1)-transformed prior to analysis. An initial Detrended Correspondence Analysis (DCA) in CANOCO v4.5 (Ter Braak and Smilauer, 1998) showed high species turnover (gradient =

2.629) along Axis 1; thereafter, a Canonical Correspondence Analysis (CCA) was used to ex-
amine invertebrate relationships with sampling stations and with the environmental variables (Lepš and Šmilauer, 2003). Forward selection was employed to test which of the environmen- tal variables explained a significant (P < 0.05) proportion of the species variance. The sig- nificance of explanatory

variables was tested against 500 Monte-Carlo permutations. Ward's algorithm was applied to the scores of sampling stations on the CCA axes, in order to divide the scatterplot into clusters. To ease interpretations, these clusters were plotted on a geo- graphic map of the island. The adequacy of invertebrate sampling was assessed by plotting the cumulative frequency of species against sampling effort (sample-rarefaction curve with

500 randomizations) for each cluster (Colwell *et al*., 2004).

In order to further specify the relative influence of geomorphological controls and anthro- pogenic disturbance on the general patterns of invertebrate community structure, variation partitioning was applied as follows: (1) partial CCA of the species matrix constrained by significant geomorphological variables (elevation, %boulders, %rocky outcrops, conductiv- ity, see results) and significant "anthropogenic" variables as covariate (%agricultural lands, suspended solids, dissolved oxygen, ammonium); (2) partial CCA of the species matrix con- strained by significant anthropogenic variables and significant geomorphological variables as covariate, and (3) CCA of the species matrix constrained by a matrix of each group of vari- ables one at a time. We estimated the pure effects of geomorphology and anthropogenic disturbance as the sum of eigenvalues of canonical axes in analyses (1) and (2), respectively. The effect shared by both groups of variables (shared variance fraction) was obtained by sub- tracting the sum of variability of (1) and (2) from the amount of variability explained by (3) (Lepš and Šmilauer, 2003). Variation partitioning was first applied to the entire dataset (51 sampling stations), and then to each cluster individually.

Finally, in order to provide further indication of invertebrate community responses, the distri- butions of species richness, community evenness (Simpson index) and entropy (Shannon in- dex) were compared among Ward clusters using Kruskall-Wallis tests. These statistical tests were performed using the Past software (version 2.15).

RESULTS

> CLASSIFICATION OF SAMPLING STATIONS

Axes 1 and 2 of the CCA accounted for 19.9% of the total species variance and 29.8% of the species-environment relationship. Eigenvalues for axes 1 and 2 were 0.31 and 0.22, respectively. Species-environment correlations were 0.963 for axis 1 and 0.977 for axis 2. Forward selection and Monte-Carlo permutations allow us to identify eight variables as explaining a significant amount of the species variance (arrows in Figure 2a): elevation, %agricultural lands and dissolved oxygen (P = 0.002), suspended solids and ammonium (P = 0.018), %boulders and conductivity (P = 0.022), %rocky outcrops (0.024).

Ward's algorithm helped to identify three clusters of stations (Figure 2). When clusters were plotted on a geographic map (Figure 1), stations in clusters 1, 2 and 3 delineated three major sub-regions, i.e., northern area at high elevations, northern area at mid- to low-elevations, and southern area, respectively. Stations in cluster 1 were surrounded by dense forest, and overall, the area was deprived of permanent human presence. Based on our analyses and on field observations, most of these stations were supposedly unimpacted, reference stations.

Conversely, stations in clusters 2 and 3 were located in agricultural or urban areas. Stations in cluster 2 were characterized by coarse rocky substrate and were well oxygenated, but showed high ammonium concentrations. Stations in cluster 3 were typical of rivers flowing through agricultural lands and showed high concentrations of suspended solids. Higher con- ductivity values in these areas are related to well-known geochemical anomalies due to the lithology (Lions *et al*. (2008); high concentrations of Na, Ca, Mg, Cl) rather than to anthro- pogenic impacts.

> COMPOSITIONAL STRUCTURE OF INVERTEBRATE COMMUNITIES

Eighty-four taxa were identified from 51 stations (Table I, Figure 2b). Based on asymptote val- ues of rarefaction curves, we estimate that we sampled 93%, 98% and 100% of the estimated richness in clusters 1, 2, and 3, respectively. Invertebrate communities of stations in cluster 1 were mainly composed of insects (>90% of the taxa, Figure 3), especially Trichoptera (mostly Hydropsychidae), Ephemeroptera (Baetidae and Leptohyphidae) and Coleoptera (Elmidae). Stations in cluster 2 showed high density for insect orders/families (Trichoptera Philopotami- dae and Hydroptilidae, and Diptera Chironomidae), but also had higher density for Mollusca (Thiaridae, Physidae) and Crustacea (Atyidae and Palaemonidae). Stations in cluster 3, which were located in southern part of the island, were characterized by high densities of Mollusca (Thiaridae, Planorbidae and Hydrobiidae), Crustacea (Atyidae and Palaemonidae), and Ephemeroptera (Baetidae and Caenidae). Trichoptera (Helicopsychidae, Hydroptilidae, philopotamidae and Hydroptilidae) and Coleoptera (Psephenidae) were also present, but remained scarce.

Table I

Distribution of the various invertebrate taxa among clusters 1–3. Numbers indicate density (individuals per m2) ± SE. Taxa ID as in Figure 2.

Phylum	Classe / Ordre	Famille / Sous-famille	Espèce	ID	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Nemertea				1	-	1.15±0.49	0.15±0.15
Hydracarina				2	-	0.26±0.12	0.61±0.34
Annelida	Achaeta	Dugesiidae		3	2.67±1.39	7.76±4.93	0.91±0.52
	Oligochaeta			4	9.00±3.99	273.01±161.32	29.09±5.02
	Polychaeta			5	-	-	0.45±0.45
Molluscs	Gastropods	Ancylidae		6	-	0.32±0.32	3.64±1.92
		Ampullariidae	Pomacea glauca	7	-	0.19±0.19	0.15±0.15
		Bulinidae	Pleiophysal granulata	8	-	2.44±1.63	-
		Hydrobiidae		9	0.33±0.22	-	19.39±18.56
		Neritidae	Neritina sp.	10	0.17±0.17	81.86±70.91	13.94±13.28
		Physidae	Physa sp.	11	-	48.97±28.95	1.52±0.76
		Planorbidae		12	0.17±0.17	0.06±0.06	438.03±437.86
		Thiaridae		13	4.50±2.46	962.24±397.07	305.00±136.39
			Pisidium sp.	14	0.17±0.17	1.79±1.41	0.15±0.15
Crustacea	Ostracoda			15	0.17±0.17	2.18±0.92	1.06±0.75
	Decapoda	Atyidae	Atya sp.	16	0.17±0.17	6.73±1.98	0.30±0.20
			Micratya poeyi	17	10.83±4.72	32.44±11.56	5.76±2.23
			Jonga serrei	18	-	1.22±1.15	0.61±0.41
			Xiphocaris elongata	19	-	0.26±0.20	0.91±0.35
		Palaemonidae	Macrobrachium sp.	20	-	8.40±2.56	3.64±0.97
		Grapsidae	Sesarma sp.	21	0.33±0.33	0.06±0.06	-
		Pseudothelphusidae	Guinotia sp.	22	1.00±0.67	-	-
Insecta	Trichoptera	Calamoceratidae	Phylloicus sp.	23	0.50±0.25	-	-
		Ecnomidae	Austrotinodes sp.	24	1.00±0.83	-	-
		Helicopsychidae	Helicopsyche sp.	25	5.50±2.61	2.18±0.99	-
		Hydropsychidae	Smicridea sp.	26	162.50±60.74	34.17±13.45	1.52±1.52
		Hydroptilidae	Alisorichia sp.	27	-	0.23±0.19	-
			Hydroptila sp.	28	2.50±1.80	2.95±1.89	-
			Metrichia sp.	29	0.33±0.33	0.13±0.09	-
			Neotrichia sp.	30	6.00±4.58	4.81±1.54	4.24±2.19
			Oxyethira sp.	31	-	0.32±0.32	-
			Zumatrichia sp.	32	-	2.05±0.78	-
		Philopotamidae	Chimarra sp.	33	39.67±12.40	11.35±5.13	0.15±0.15
		Polycentropodidae	Cernotina sp.	34	0.50±0.50	0.26±0.26	0.15±0.15
			Polyplectropus sp.	35	8.33±4.98	-	-
		Xiphocentronidae	Xiphocentron fuscum	36	9.33±2.46	5.90±2.92	-
	Ephemeroptera	Baetidae	Unidentified	37	2.67±2.49	0.51±0.30	0.30±0.30
			Americabaetis spinosus	38	143.83±82.34	135.19±22.54	148.18±85.42
			Callibaetis sp.	39	-	-	0.45±0.32

			Cloedes caraibensis	40	5.17±2.97	0.13±0.09	1.36±0.92
			Fallceon ater	41	42.33±17.47	5.64±1.83	4.70±2.78
		Caenidae	Caenis sp.	42	0.17±0.17	1.09±0.46	6.67±2.64
			Caenis femina	43	0.17±0.17	2.56±0.83	78.94±46.80
			Caenis catherinae	44	-	1.79±0.62	15.91±6.13
		Leptohyphidae	Undetermined	45	19.67±10.80	18.08±6.42	0.91±0.91
			Leptohyphes sp.	46	139.17±54.21	135.51±37.07	3.64±2.50
			Tricorythodes griseus	47	98.17±29.33	60.64±14.77	5.45±3.86
		Leptophlebiidae	Undetermined	48	2.50±1.81	0.13±0.13	1.52±1.22
			Hagenulopsis guadeloupensis	49	10.50±4.57	0.13±0.09	1.06±0.91
			Terpides sp.	50	1.00±0.83	1.67±0.68	23.03±19.03
	Heteroptera	Gerridae	Undetermined	51	-	0.06±0.06	1.36±0.54
			Limnogonus sp.	52	-	-	-
			Trepobates sp.	53	-	-	-
		Mesoveliidae	Mesovelia sp.	54	-	0.32±0.19	0.61±0.46
		Veliidae	Rhagovelia sp.	55	14.00±8.69	12.44±3.23	4.24±2.53
	Coleoptera	Elmidae	Elsianus sp.	56	4.50±1.83	2.88±1.02	-
			Hexanchorus sp.	57	26.17±14.89	5.32±1.34	-
		Psephenidae	Psephenops sp.	58	9.67±3.16	0.06±0.06	0.15±0.15
		Staphylinidae		59	0.50±0.25	0.58±0.58	0.30±0.30
	Diptera	Blephariceridae		60	2.30±1.99	-	-
		sF/ Ceratopogoninae		61	0.67±0.37	3.33±1.84	0.76±0.47
		sF/ Forcypomyinae	Atrigopogon sp.	62	4.67±1.95	0.58±0.23	0.30±0.20
		Chironomidae	Undetermined	63	0.33±0.22	0.96±0.55	-
		sF/ Chironominae	Undetermined	64	0.83±0.57	0.19±0.19	-
			Chironomini	65	20.67±9.73	110.38±70.33	53.64±12.24
			Tanytarsini	66	21.00±14.07	23.08±10.17	210.00±170.32
		sF/ Orthocladinae		67	41.83±30.20	166.92±69.11	9.70±5.15
		sF/ Tanypodinae		68	18.50±8.15	16.99±4.49	21.67±4.09
			Harrisius spp.	69	6.00±3.14	1.54±0.47	0.15±0.15
		Culicidae		70	-	-	1.21±0.81
		Empididae	Hemerodromia sp.	71	2.33±1.09	4.94±1.58	0.15±0.15
		Ephydridae		72	0.17±0.17	0.45±0.25	1.52±1.52
		Limoniidae		73	0.33±0.33	0.06±0.06	-
		Psychodidae	Undetermined	74	1.00±0.37	0.90±0.58	13.48±13.32
			Maruina sp.	75	0.33±0.33	0.06±0.06	-
		Rhagionidae	Chrysopilus sp.	76	0.33±0.22	0.06±0.06	-
		Simuliidae		77	2.83±1.24	0.45±0.20	-
		Syrphidae		78	-	0.32±0.32	-
	Odonata	Coenagrionidae	Undetermined	79	1.00±0.71	0.38±0.23	1.97±1.07

			Enallagma coecum	80	2.50±2.50	5.58±2.82	3.33±1.25
			Ischnura ramburii	81	0.17±0.17	0.06±0.06	0.91±0.76
		Libellulidae	Undetermined	82	1.67±1.31	0.19±0.11	1.97±1.36
			Macrothemys celleno	83	1.17±0.50	-	-
	Lepidoptera	Pyralidae		84	4.17±2.58	1.15±0.54	0.61±0.46

> VARIATION PARTITIONING

Among the eight significant explanatory variables previously identified by means of forward selection, four were associated to anthropogenic pressure (oxygen, ammonium and sus- pended solids, %agricultural lands). The others (elevation, %boulders, %rocky outcrop and conductivity) were related to geomorphology *sensu lato*. The proportions of pure anthro- pogenic variation and pure geomorphological variation for the 51 stations were 20.0% and

28.7%, respectively. The effect shared by both groups of variables was 11.6%. Finally, the
unexplained fraction of the overall variation in invertebrate communities was 39.7%.

When variation partitioning applied to each cluster, the total explained variation was higher for clusters 1 and 3 than for the 51 sites (Table II; >87% in clusters 1 and 3). The propor- tion of pure geomorphological variation (56.6%) was higher than the proportion of pure an- thropogenic variation (31.7%) in cluster 1. However, proportions of pure geomorphological variation and pure anthropogenic variation were similar in cluster 2 (18.1 and 17.9%, respec- tively) and in cluster 3 (43.2 and 41.1%, respectively). Finally, it should be noted that cluster

2 showed the highest proportion of unexplained variance (61.8%), suggesting that the most relevant determinants of invertebrate diversity for this specific subset of stations were not included in our analyses.

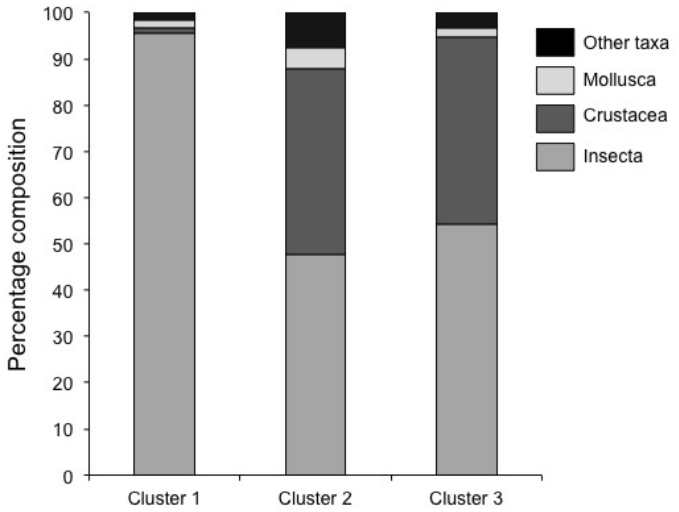


Figure 3
Relative density (% composition) of higher invertebrate taxa among clusters.

Table II
Variation partitioning analyses for the entire dataset (all stations) and for each cluster considered sepa- rately.

Variance explained (%)	All stations	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Pure geomorphological variation	28.7	56.6	18.1	43.2
Pure anthropogenic variation	20	31.7	17.9	41.1
Shared effect	11.6	2.2	2.2	3.2
Unexplained	39.7	9.5	61.8	12.8

> MACROINVERTEBRATE DIVERSITY

Overall, box-plots showed a trend for increasing within-cluster variability in community di- versity from cluster 1 to clusters 2 and 3 (Figure 4). No significant difference in community diversity indicators was found between clusters 2 and 3. However, the Shannon and Simpson indices showed a significant decrease from cluster 1 to clusters 2 and 3 (Kruskall-Wallis tests, $P < 0.05$).

DISCUSSION

Throughout the World, river management efforts rely on explicit spatial distribution schemes (Tate and Heiny, 1995). Specifically, both river typology and reference conditions need to be agreed upon before considering further practical developments such as biological qual- ity indices (van de Bund and Solimini, 2006; Mondy *et al.*, 2012). Numerical patterning is therefore needed to provide theoretical backgrounds, and, more specifically, distribution pat- terns of

freshwater organisms must be derived from environmental conditions with emphasis on the influence of natural conditions and anthropogenic impacts. This study thus provides new quantitative information on the distribution and environmental preferences of freshwater invertebrates in the French Lesser Antilles.

Ordination and cluster analyses are frequently used in the exploratory phase of river typolo- gies (Jongman *et al.*, 1995; Céréghino and Park, 2009). Overall, our results highlight the im- portance of geomorphology (particle size, river competence and erosive forces in relation to elevation, conductivity from headwaters to seashore) and land cover (*e.g.*, agricultural lands and related alterations of water chemistry) in delineating ecological sub-regions for the freshwater biota. It should be noted however that the unexplained variation for the entire dataset (all stations) was quite important (39.7%); therefore, important variables that were not included in our analysis would deserve further investigation. Most stations that formed clus- ters were geographically adjacent and there was no major spatial discontinuity in invertebrate distribution. Sampling stations were included in our multivariate analysis regardless of *a priori* consideration of disturbance. Thus, we expected that geographically adjacent stations ap- pearing distant in the ordination space (according to macroinvertebrate communities) would represent differences among stations in biological quality. Only four spatial discontinuities were noted among our 51 stations. Station COC (see Figure 1) is close to the northernmost seashore, where it is surrounded by stations typical of cluster 2. However, this station was assigned to cluster 1 in the ordination space. Field observations as well as our data support that COC is a station of higher biological quality in the area, and could thus form a reference (34 taxa while the maximum local richness is 38 taxa). Conversely, station CAM which is lo- cated below vegetable cultivations occurs in a mountainous area typical of cluster 1, but was assigned to cluster 2. Stations FLS and MOM (Fort-de-France capital city) were expected to belong to cluster 2 based on their geographic location, but were assigned to cluster 3. These three stations being subjected to important anthropogenic pressure, their distribution in the ordination space was certainly due to the impoverishment of their invertebrate fauna and/or to shifts in species composition from species known as pollution sensitive (*e.g.*, many Trichoptera and Ephemeroptera) to pollution resistant species (*e.g.*, most Mollusca).

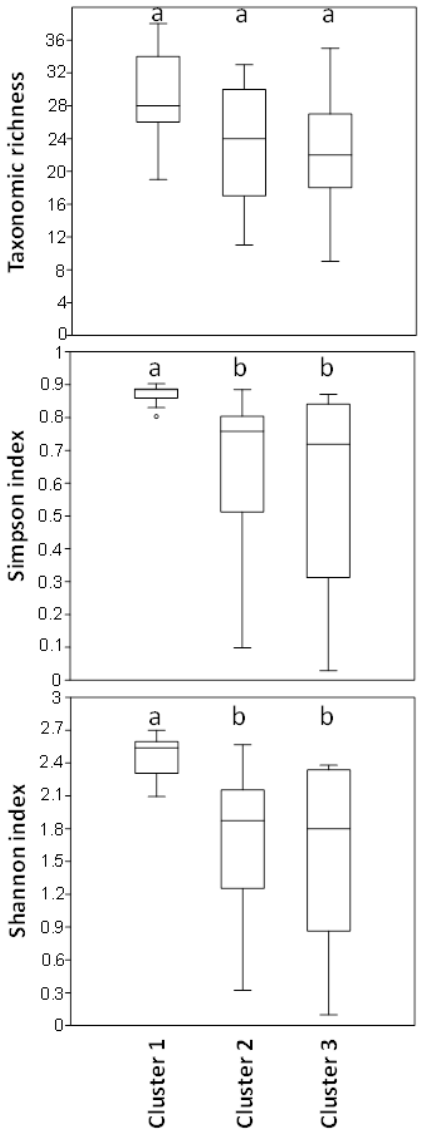


Figure 4
Boxplots of diversity metrics distributions (taxonomic richness, Simpson's evenness, Shannon's Entropy) for the three clusters derived from the CCA and Ward's algorithm, with comparison of pairs of clusters. Significant differences between clusters were tested with Kruskal-Wallis tests; lowercase letters above boxes indicate significant differences at P < 0.05*.*

The proportion of pure variation explained by geomorphological variables was higher than that explained by anthropogenic variables, however, within a given sub-region (cluster), an- thropogenic disturbance affected macroinvertebrate diversity (Shannon and Simpson in- dices) through physical-chemical alterations of freshwaters (ammonium, suspended solids). It should be noted that the downstream areas (clusters 2 and 3) concentrate most human activities in general, so that here, the relative influences of natural conditions and anthro- pogenic impacts remain difficult to tease out (see Table II). More specifically,

reference sta- tions obviously lack in cluster 3. Conversely, is likely that cluster 1 was mostly generated through geomorphological drivers. In the north of the island, mountain streams along the volcano slopes represent dynamic environments which are physically heterogeneous (higher river competence generated through the combination of slope with other variables such as water depth and current velocity, higher substrate heterogeneity), thus promoting a high di- versity of benthic invertebrates. For example, Diptera Blephariceridae (net-winged midges), which are typical of torrential streams, were only found at stations from cluster 1. The caddis- fly *Smicridea* sp. (Trichoptera Hydropsychidae), a common taxa in our dataset, showed high to moderate densities in clusters 1 and 2, but was absent in plain rivers from cluster 3.

Although some taxa were specific of a given cluster, such invertebrates usually occurred in very low densities (<1 individual per m^2). In fact, most taxa were common; 24 and 42 taxa out of 84 occurred in two and three clusters, respectively. Despite this general trend for ubiq- uity, individual stations only contained 9 to 38 taxa. This situation raise concerns as to how to define water quality classes in the later phase of applied research, and how to identify sensitive indicator species when (i) local communities are rather poor (insular context, Smith *et al.*, 2003 ; Hughes, 2005 ; Gonçalves *et al.*, 2008), (ii) mean or median values for struc- tural indices (*e.g.*, community entropy and eveness) do not differ greatly in space. However, although many species were widespread, the quantitative structure of invertebrate communi- ties varied markedly among clusters (see results). We thus suggest that future developments should consider quantitative approaches to invertebrate communities, because qualitative metrics related to the loss or a gain of species are not expected to evaluate disturbance efficiently within a given sub-region (cluster).

Insular freshwater invertebrate assemblages are distinct from their continental counterparts in that there are shaped by more complex biogeographical, historical and geomorpholog- ical factors (Boulton *et al.*, 2008). Caribbean islands in particular have naturally depauper- ate species pools that contain endemic species of conservation value (Bass, 2003). At the same time, they harbor spatially-concentrated human populations with important demands for freshwater resource. Despite the small surface area of an island such as Martinique, inver- tebrate communities show a clear spatial turnover in composition and biological traits (*e.g.*, insects in cluster 1, crustaceans and molluscs in cluster 2) in relation to local natural condi- tions. If the sensitivity of the biota to disturbance in a given area must be assessed in terms of similarity to an undisturbed state, this study shows that confounding effects of natural and anthropogenic factors (*e.g.*, lack of reference stations in southern Martinique) may limit our ability to estimate deviation from expected patterns when considering the compositional structure of communities. Hence, metrics that aggregate taxa into fewer categories than the species list do (percentage composition of upper taxa or a combination of those, trophic or habit measures, Barbour *et al*. 2009), could be more efficient at predicting *a priori* responses of communities to environmental conditions, especially if these metrics reflect adaptations to river environments along the downstream gradient and/or along gradients of surrounding landscapes (*e.g.*, Functional Feeding Groups, see Compin and Céréghino (2007)). In these conditions, we would expect reference stations to be less geography-dependent,

e.g., estu- arine or plain stations of high biological quality could serve as a reference throughout Mar- tinique. Subsequently, a combination of metrics able to detect a wide range of anthropogenic pressures should be selected to set up multimetric indices, as required within the WFD (Hering *et al*., 2006; Lücke and Johnson, 2009).

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by the French Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Martinique (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement/ DEAL Martinique), the Office de l'Eau Martinique and the Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA). CB is supported by an ANRT-CIFRE grant No. 460/2010; HTP is supported by an ANRT-CIFRE grant No. 912/2010. Two anonymous reviewers provided helpful comments on an earlier version of this paper.

REFERENCES

AFNOR, 2009. Qualité de l'eau. Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu pro- fondes. XP T 90-333. *Afnor*, 1–15.

Anonymous, 2003. Rivers and Lakes - Typology, Reference Conditions and Classification Systems. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive Guidance. Document No. 10.

ASCONIT, 2012. Mise au point d'un indice de bio-indication de la qualité de l'eau à partir des macro- invertébrés benthiques. Annual Report year 2011. Direction Régionale de l'Environnement et Office de l'Eau Guadeloupe, 1–95.

Bailey R., Norris R. and Reynoldson T., 2003. Bioassessment of freshwater ecosystems using the refer- ence condition approach. Kluwer Academic Publishers, New York, USA.

Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B. and Stribling J.B., 2009. Biological Data Analysis. *In*: A Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish. Second Edition. Rep. EPA/841-B-99–002, US EPA, Off. Water, Washington, DC.

Bass D., 2003. A comparison of freshwater macroinvertebrate communities on small Caribbean islands.
BioScience, 53, 1094–1100.

Boulton A.J., Boyero L., Covich A.P., Dobson M., Lake S. and Pearson R.G., 2008. Are tropical streams ecologically different from temperate streams? *In*: Dudgeon D. (ed.), Tropical Stream Ecology, Academic Press, San Diego, 257–284.

Céréghino R. and Park Y.S., 2009. Review of the self-organizing map (SOM) approach in water re- sources: commentary. *Environ. Modell. Softw., 24*, 945–947.

Chaves M.L., Costa J.L., Chainho P., Costa M.J. and Prat N., 2011. Are Water Framework Directive stream types biologically relevant? The case of the Mondego river, Portugal. *Ann. Limnol. Int. J. Lim., 47*, 119–131.

Colwell R.K., Mao C.X. and Chang J., 2004. Interpolating, extrapolating, and compared incidence-based species accumulation curves. *Ecology, 85*, 2717–2727.

Compin A. and Céréghino R., 2007. Spatial patterns of macroinvertebrate functional feeding

groups in streams in relation to physical variables and land-cover in Southwestern France. *Landscape Ecol.,*

22, 1215–1225.

Cruiskshank M.M. and Tomlison R.W., 1996. Application of CORINE land cover methodology to the UK. Some issues raised from Northern Ireland. *Global Ecol. Biogeogr.*, 4/5, 235–248.

Delgado C., Pardo I. and García L., 2010. A multimetric diatom index to assess the ecological status of coastal Galician rivers (NW Spain). *Hydrobiologia, 644*, 371–384.

INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques), 2009. Populations lé- gales 2009 des Départements d'Outre-Mer (DOM). http://www.insee.fr/fr/ppp/bases-de-donnees/ recensement/populations-legales/france-regions.asp?annee=2009.

ENSAT (Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse), 1995. Étude faunistique des rivières martiniquaises. ENSA-Toulouse Technical Report, 1–216.

European Council, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy, 1–72.

Gabriels W., Lock K., De Pauw N. and Goethals P.L.M., 2010. Multimetric Macroinvertebrate Index Flanders (MMIF) for biological assessment of rivers and lakes in Flanders (Belgium). *Limnologica,*

40, 199–207.

Gonçalves V., Raposeiro P. and Costa A.C., 2008. Benthic diatoms and macroinvertebrates in the as- sessment of the ecological status of Azorean stream. *Limnetica, 27*, 317–328.

Hering D., Feld C.K., Moog O. and Ofenböck T., 2006. Cook book for the development of a Multimetric Index for biological condition of aquatic ecosystems: experiences from the European AQEM and STAR projects and related initiatives. *Hydrobiologia, 566*, 311–324.

Huryn A.D. and Wallace J.B., 1987. Local geomorphology as a determinant of macrofaunal production in a mountain stream. *Ecology, 68*, 1932–1942.

Hughes S.J., 2005. Application of the Water Framework Directive to Macaronesian freshwater systems. *Biol. Environ., 105*, 185–193.

Jongman R.H.G., Ter Braak C.J.F. and van Tongerenm O.F.R., 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press, UK.

Kelly F.L., Harrison A.J., Allen M., Connor L. and Rosell R., 2012. Development and application of an ecological classification tool for fish in lakes in Ireland. *Ecol. Indic., 18*, 608–619.

Lepš J. and Šmilauer P., 2003. Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge, 1–282.

Lions J., Allier D., Pinson S. and Vittecoq B., 2008. Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines en Martinique. Technical Report BRGM RP-

56748-FR, 124 p.

Lücke J.D. and Johnson J., 2009. Detection of ecological change in stream macroinvertebrate assem- blages using single metric, multimetric or multivariate approaches. Ecol. Indic., 9, 659–669.

Mondy C.P., Villeneuve B., Archaimbault V. and Usseglio-Polatera P., 2012. A new macroinvertebrate- based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecol. Indic., 18*, 452–467.

Sandin L. and Johnson R.K., 2000. Ecoregions and benthic macroinvertebrate assemblages of

Swedish streams. *J. N. Am. Benthol. Soc., 19*, 462–474.

Smith G.C., Covich A.P. and Brasher A.M.D., 2003. An ecological perspective on the biodiversity of tropical island streams. *BioScience, 53*, 1048–1051.

Stark B.P., 2000. Notes on the *Anacroneuria* (Plecoptera: Perlidae) of Guyana with the description of a new species. *Aquat. Insect, 22*, 305–310.

Starmühlner F., 1977. Contribution to the knowledge of the freshwater fauna of La Reunion (Mascarene). *Cah ORSTOM, Ser. Hydrobiol., 11*, 239–250.

Tate C.M. and Heiny J.S., 1995. The ordination of benthic invertebrate communities in the South Platte River Basin in relation to environmental factors. *Fresh. Biol., 33*, 439–454.

Ter Braak C.J. and Smilauer F.P., 1998. Reference manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination (version 4), Ithaca, NY, USA.

van de Bund W. and Solimini A., 2006. Ecological Quality Ratios for ecological quality assessment in inland and marine waters. EU project REBECCA Deliverable 10, 1–22.

Wallin M., Wiederholm T. and Johnson R.K., 2003. Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters. Final Report to the European Commission from CIS Working Group 2.3 – REFCOND.

Wu D. and Legg D., 2007. Structures of benthic insect communities in two southeastern Wyoming (USA) streams: similarities and differences among spatial units at different local scales. *Hydrobiologia,579*, 279–289.

ANNEXE 8 Tableau 18. Liste des métriques potentielles avec indication des phases de prélèvements prises en compte.

Métrique	Description	PHASE					
		A+B+C	A	B	C	A+B	B+C
Taxa_S	Richesse taxonomique (nombre de taxons)	X	X	X	X	X	X
Individuals_D	Abondance (nombre d'individus)	X	X	X	X	X	X
Dominance	Indice de Dominance	X	X	X	X	X	X
Simpson_1-D	Indice de dominance de Simpson	X	X	X	X	X	X
Shannon_H	Indice de diversité de Shannon	X	X	X	X	X	X
Evenness_eHS	Indice d'Equitazbilité	X	X	X	X	X	X
Brillouin	Indice de diversité de Brillouin	X	X	X	X	X	X
Menhinick	Indice de diversité de Menhinick	X	X	X	X	X	X
Margalef	Indice de diversité de Margalef	X	X	X	X	X	X
Equitability_J	Indice d'Equitabilité de Pielou	X	X	X	X	X	X
Fisher_alpha	Indice de diversité de Fisher α	X	X	X	X	X	X
BergerParker	Indice de diversité de Berger-Parker	X	X	X	X	X	X
1-GOLD	1-Abondance relative des Gastéropodes+Oligochètes+Diptères	X	X	X	X	X	X
ColeopteraS	Richesse relative en Coléoptères (%S)	X	X	X	X	X	X
CrustaceaS	Richesse relative en Crustacés (%S)	X	X	X	X	X	X
DipteraS	Richesse relative en Diptères (%S)	X	X	X	X	X	X
EphemeropteraS	Richesse relative en Ephéméroptères (%S)	X	X	X	X	X	X
GastropodaS	Richesse relative en mollusques Gastéropodes (%S)	X	X	X	X	X	X
HemipteraS	Richesse relative en Hémiptères (%S)	X	X	X	X	X	X
NemertiaS	Richesse relative en Némertiens (%S)	X	X	X	X	X	X
OdonataS	Richesse relative en Odonates (%S)	X	X	X	X	X	X
OligochaetaS	Richesse relative en Oligochètes (%S)	X	X	X	X	X	X
TrichopteraS	Richesse relative en Trichoptères (%S)	X	X	X	X	X	X
TurbellariaS	Richesse relative en Turbellariés (%S)	X	X	X	X	X	X
ColeopteraQ	Abondance relative en Coléoptères (%Q)	X	X	X	X	X	X
CrustaceaQ	Abondance relative en Crustacés (%Q)	X	X	X	X	X	X
DipteraQ	Abondance relative en Diptères (%Q)	X	X	X	X	X	X
EphemeropteraQ	Abondance relative en Ephéméroptères (%Q)	X	X	X	X	X	X
GastropodaQ	Abondance relative en mollusques Gastéropodes (%Q)	X	X	X	X	X	X
HemipteraQ	Abondance relative en Hémiptères (%Q)	X	X	X	X	X	X

NemertiaQ	Abondance relative en Némertiens (%Q)	X	X	X	X	X	X
OdonataQ	Abondance relative en Odonates (%Q)	X	X	X	X	X	X
OligochaetaQ	Abondance relative en Oligochètes (%Q)	X	X	X	X	X	X
TrichopteraQ	Abondance relative en Trichoptères (%Q)	X	X	X	X	X	X
TurbellariaQ	Abondance relative en Turbellariés (%Q)	X	X	X	X	X	X
ETS	Richesse relative en Ephéméroptères+Trichoptères (%S)	X	X	X	X	X	X
ETQ	Abondance relative en Ephéméroptères+Trichoptères (%Q)	X	X	X	X	X	X
ETCS	Richesse relative en Ephéméroptères+Trichoptères+ Coléoptères (%S)	X	X	X	X	X	X
ETCQ	Abondance relative en Ephéméroptères+Trichoptères+ Coléoptères (%Q)	X	X	X	X	X	X
ETDipteraS	Rapport entre la richesse relative des Ephéméroptères+Trichoptères et celle des diptères	X	X	X	X	X	X
ETDipteraQ	Rapport entre l'abondance relative des Ephéméroptères+Trichoptères et celle des diptères	X	X	X	X	X	X
ET(Oligo+Diptera)Q	Rapport entre l'abondance relative des Ephéméroptères+Trichoptères et celles des oligochètes+diptères	X	X	X	X	X	X
IB971	Indice Biotique de la Guadeloupe	X	X	X	X	X	X
Nfamilles	Nombre de familles	X	X	X	X	X	X
Nfamilly_ET	Nombre de familles d'Ephéméroptères+Trichoptères	X	X	X	X	X	X
ShannonFamilly	Indice de Shannon calculé au niveau des familles	X	X	X	X	X	X
AbondanceRelativePredateurs	Abondance relative des taxons prédateurs (%Q)	X	X	X	X	X	X
PredateursautresQ	Rapport entre l'abondance relative des prédateurs et celle des autres taxons (%Q)	X	X	X	X	X	X
RichesseRelativePredateurs	Richesse relative des prédateurs (%S)	X	X	X	X	X	X
Predateursautres_S	Rapport entre l'abondance relative des prédateurs et celle des autres taxons (%S)	X	X	X	X	X	X
tegument	Abondance relative des taxons ayant cette technique de respiration	X					
branchie	Abondance relative des taxons ayant cette technique de respiration	X					
plastron	Abondance relative des taxons ayant cette technique de respiration	X					
spiracle	Abondance relative des taxons ayant cette technique de respiration	X					

vol	Abondance relative des taxons ayant ce moyen de locomotion	X
NageurSurface	Abondance relative des taxons ayant ce moyen de locomotion	X
NageurPleineeau	Abondance relative des taxons ayant ce moyen de locomotion	X
Marcheur	Abondance relative des taxons ayant ce moyen de locomotion	X
fouisseur	Abondance relative des taxons ayant ce moyen de locomotion	X
interstitiel	Abondance relative des taxons ayant ce moyen de locomotion	X
fixeTemporaire	Abondance relative des taxons ayant ce moyen de locomotion	X
fixePermanent	Abondance relative des taxons ayant ce moyen de locomotion	X
microorganismes	Abondance relative des taxons ayant ce régime alimentaire	X
detritusinf1mm	Abondance relative des taxons ayant ce régime alimentaire	X
debrisVegetaux	Abondance relative des taxons ayant ce régime alimentaire	X
microphytes	Abondance relative des taxons ayant ce régime alimentaire	X
macrophytes	Abondance relative des taxons ayant ce régime alimentaire	X
debrisAnimauxSup1mm	Abondance relative des taxons ayant ce régime alimentaire	X
microinvertebres	Abondance relative des taxons ayant ce régime alimentaire	X
macroinvertebres	Abondance relative des taxons ayant ce régime alimentaire	X
vertebres	Abondance relative des taxons ayant ce régime alimentaire	X
absorbeur	Abondance relative des taxons ayant ce comportement alimentaire	X
mangeurDeSedimentsFins	Abondance relative des taxons ayant ce comportement alimentaire	X
broyeur	Abondance relative des taxons ayant ce comportement alimentaire	X
racleur	Abondance relative des taxons ayant ce comportement alimentaire	X
filtreur	Abondance relative des taxons ayant ce comportement alimentaire	X
perceur	Abondance relative des taxons ayant ce comportement alimentaire	X
predateur	Abondance relative des taxons ayant ce comportement alimentaire	X
parasite	Abondance relative des taxons ayant ce comportement alimentaire	X
BlocsPierresCaillouxGalets	Abondance relative des taxons vivant sur ce substrat	X
Graviers	Abondance relative des taxons vivant sur ce substrat	X
sable	Abondance relative des taxons vivant sur ce substrat	X

limon	Abondance relative des taxons vivant sur ce substrat	X
macrophytes	Abondance relative des taxons vivant sur ce substrat	X
microphytes	Abondance relative des taxons vivant sur ce substrat	X
BranchesRacines	Abondance relative des taxons vivant sur ce substrat	X
DebrisOrganiquesLitiere	Abondance relative des taxons vivant sur ce substrat	X
vase	Abondance relative des taxons vivant sur ce substrat	X

ANNEXE 9 Tableau 19. Efficacité de Discrimination (DE) moyenne et Coefficient de Variation (CV) des LIRRs moyen pour chacune des 74 métriques candidates.

Métrique	DE_IRR	CV_LIRR
Menhinick	0.73	0.21
Margalef	0.64	0.20
Fisher_alpha	0.68	0.28
Coleoptera__S	0.82	0.26
Gastropoda__Q	0.61	0.06
ETC_S	0.67	0.06
ETC_Q	0.64	0.22
nageur_surface	0.62	0.33
fouisseur_epibenthique	0.63	0.07
fixe_temporaire	0.67	0.29
macrophytes	0.68	0.21
debrisanimx.1mm	0.62	0.12
blocs	0.87	0.28
vase	0.67	0.22
Dominance_B	0.62	0.09
Simpson_1_B	0.61	0.09
Evenness_B	0.65	0.26
Brillouin_B	0.61	0.21
Menhinick_B	0.71	0.29
Equitability_B	0.70	0.17
Fisher_alpha_B	0.66	0.27
BergerParker_B	0.68	0.13
X1GOLD_B	0.87	0.13
Trichoptera_S_B	0.63	0.19
Gastropoda_Q_B	0.65	0.02
ET_Q_B	0.88	0.10
ETC_S_B	0.76	0.09
ETC_Q_B	0.90	0.12
Dominance_C	0.65	0.17
Simpson_1_C	0.65	0.17
Shannon_C	0.70	0.18
Brillouin_C	0.64	0.17
Menhinick_C	0.62	0.31
Fisher_alpha_C	0.64	0.31
BergerParker_C	0.64	0.27
X1GOLD_C	0.80	0.17
Coleoptera_S_C	0.74	0.19
Gastropoda_S_C	0.72	0.07
Trichoptera_S_C	0.66	0.25
Gastropoda_Q_C	0.67	0.01
ET_Q_C	0.73	0.15
ETC_S_C	0.65	0.18
ETC_Q_C	0.85	0.17
Taxa_BC	0.64	0.20
Dominance_BC	0.70	0.11
Simpson_1_BC	0.70	0.11
Shannon_BC	0.73	0.14
Brillouin_BC	0.69	0.17
Menhinick_BC	0.77	0.25
Margalef_BC	0.67	0.19
Equitability_BC	0.66	0.18
Fisher_alpha_BC	0.73	0.17
BergerParker_BC	0.67	0.20
X1GOLD_BC	0.91	0.14
Coleoptera_S_BC	0.80	0.19
Gastropoda_S_BC	0.66	0.10
Trichoptera_S_BC	0.74	0.17
Ephemeroptera_Q_BC	0.62	0.28
Gastropoda_Q_BC	0.71	0.01
Trichoptera_Q_BC	0.89	0.31
ET_S_BC	0.62	0.10
ET_Q_BC	0.87	0.11
ETC_S_BC	0.80	0.06
ETC_Q_BC	0.90	0.11
Shannon_family_BC	0.63	0.20
Nb_ET_family_BC	0.65	0.19
Menhinick_AB	0.71	0.23
Margalef_AB	0.61	0.19
Fisher_alpha_AB	0.73	0.27
Coleoptera_S_AB	0.86	0.27
Gastropoda_S_AB	0.63	0.18
Trichoptera_S_AB	0.75	0.18
ETC_S_AB	0.79	0.18
ETC_Q_AB	0.61	0.18

ANNEXE 10 Tableau 20. Valeurs de DE et CV des 74 métriques candidates, et résultats des régressions linéaires simples (critère de faible spécificité des variables) pour la sélection des métriques.

Métriques	DE	CV	Réponse aux variables :			Variables "qualité de l'eau"												Variables "dégradation de l'habitat"		
			"Qualité de l'eau"	"Dégradation de l'habitat"	Total	Oxygenation	DBO_5	NKJ	Nitrates	Phosphore total	Matière en suspension	pH	Conductivite	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Silice	% Terres urbanisées	% Terres agricoles	% Forêts
Menhinick	0.73	0.21	5	2	7	0.0885	0.0037	0.0545	0.0048	0.0001	0.0002	0.9812	0.2897	0.0176	0.5438	0.1373	0.0538	0.8678	0.0000	0.3444	0.0002
Margalef	0.64	0.20	12	3	15	0.0000	0.0332	0.0000	0.0179	0.0000	0.0021	0.0426	0.0004	0.0000	0.0005	0.0002	0.0000	0.0568	0.0133	0.0414	0.0018
Fisher_alpha	0.68	0.28	11	2	13	0.0001	0.0269	0.0003	0.0144	0.0000	0.0020	0.1039	0.0025	0.0001	0.0046	0.0013	0.0001	0.1917	0.0020	0.0859	0.0014
Coleoptera__S	0.82	0.26	8	3	11	0.0018	0.5390	0.1323	0.0017	0.0412	0.0002	0.8185	0.0024	0.0016	0.0089	0.2754	0.0000	0.9798	0.0349	0.0005	0.0000
Gastropoda__Q	0.61	0.06	1	3	4	0.7642	0.6172	0.5528	0.1012	0.2374	0.0023	0.1182	0.9066	0.6428	0.6145	0.4459	0.6055	0.2524	0.0119	0.0496	0.0001
ETC_S	0.67	0.06	1	0	1	0.6979	0.7894	0.8741	0.0001	0.6332	0.3523	0.4755	0.8795	0.8643	0.8200	0.8841	0.9501	0.2121	0.1841	0.4758	0.9518
ETC_Q	0.64	0.22	4	3	7	0.0680	0.0375	0.0358	0.0576	0.0106	0.0091	0.1959	0.5534	0.1599	0.6823	0.6462	0.0660	0.4033	0.0004	0.0282	0.0000
nageur_surface	0.62	0.33	7	2	9	0.0000	0.0165	0.0569	0.0902	0.6947	0.0001	0.8692	0.0000	0.0004	0.0008	0.1361	0.0000	0.5468	0.4346	0.0013	0.0002
fouisseur_epibenthique	0.63	0.07	2	3	5	0.0856	0.4288	0.9180	0.0212	0.8048	0.0001	0.2755	0.4533	0.6527	0.9420	0.9160	0.1605	0.3337	0.0120	0.0205	0.0000
fixe_temporaire	0.67	0.29	4	2	6	0.0202	0.5973	0.5961	0.0110	0.7549	0.0009	0.2520	0.0605	0.8068	0.4854	0.8024	0.0034	0.1735	0.4242	0.0044	0.0009
macrophytes	0.68	0.21	3	3	6	0.0534	0.4365	0.1758	0.0246	0.4766	0.0004	0.4905	0.0393	0.9067	0.3495	0.8281	0.0545	0.5189	0.0370	0.0435	0.0011
debrisanimx.1mm	0.62	0.12	2	2	4	0.4039	0.9551	0.3080	0.0001	0.7424	0.0014	0.0558	0.3583	0.9405	0.9235	0.7436	0.0780	0.5842	0.1127	0.0050	0.0001
blocs	0.87	0.28	9	3	12	0.0000	0.0031	0.1055	0.0433	0.0027	0.0025	0.3484	0.0001	0.0096	0.0034	0.1033	0.0000	0.5998	0.0013	0.0013	0.0000
vase	0.67	0.22	9	2	11	0.0000	0.0530	0.0424	0.0133	0.5599	0.0000	0.4040	0.0023	0.0035	0.0191	0.2065	0.0000	0.0317	0.0645	0.0001	0.0000
Dominance_B	0.62	0.09	10	3	13	0.0000	0.0003	0.0019	0.0408	0.2912	0.0000	0.0956	0.0000	0.0003	0.0000	0.0570	0.0000	0.0206	0.0383	0.0080	0.0001
Simpson_1_B	0.61	0.09	10	3	13	0.0000	0.0003	0.0019	0.0408	0.2911	0.0000	0.0956	0.0000	0.0003	0.0000	0.0570	0.0000	0.0206	0.0382	0.0080	0.0001
Evenness_B	0.65	0.26	4	2	6	0.0885	0.0271	0.6980	0.0971	0.0002	0.0019	0.2903	0.2871	0.3904	0.6441	0.2032	0.0489	0.8706	0.0000	0.2518	0.0001
Brillouin_B	0.61	0.21	9	2	11	0.0000	0.0004	0.0020	0.0590	0.5165	0.0000	0.0931	0.0000	0.0007	0.0001	0.0953	0.0000	0.0304	0.1150	0.0067	0.0002
Menhinick_B	0.71	0.29	8	2	10	0.0228	0.0183	0.0692	0.0736	0.0000	0.0005	0.1959	0.0251	0.0241	0.0777	0.0125	0.0007	0.5531	0.0000	0.1341	0.0002
Equitability_B	0.70	0.17	10	2	12	0.0002	0.0018	0.1061	0.0274	0.0008	0.0000	0.1457	0.0024	0.0163	0.0175	0.0177	0.0000	0.5695	0.0000	0.0660	0.0000
Fisher_alpha_B	0.66	0.27	10	3	13	0.0007	0.0136	0.0024	0.2590	0.0004	0.0026	0.0580	0.0049	0.0085	0.0137	0.0373	0.0000	0.1203	0.0095	0.0106	0.0001
BergerParker_B	0.68	0.13	11	3	14	0.0000	0.0010	0.0015	0.0314	0.4811	0.0000	0.1815	0.0000	0.0001	0.0000	0.0259	0.0000	0.0248	0.0392	0.0068	0.0001
X1GOLD_B	0.87	0.13	7	3	10	0.0171	0.0691	0.1062	0.0021	0.0476	0.0003	0.2897	0.0543	0.0068	0.1139	0.0127	0.0046	0.7757	0.0000	0.0020	0.0000
Trichoptera_S_B	0.63	0.19	10	3	13	0.0005	0.0350	0.0059	0.0014	0.2804	0.0166	0.5056	0.0016	0.0000	0.0041	0.0336	0.0000	0.5937	0.0141	0.0046	0.0000
Gastropoda_Q_B	0.65	0.02	1	1	2	0.9835	0.4962	0.6305	0.1433	0.1279	0.0137	0.1554	0.7309	0.5218	0.5805	0.2214	0.9992	0.3515	0.0616	0.0697	0.0006
ET_Q_B	0.88	0.10	8	3	11	0.0052	0.0441	0.1292	0.0000	0.7929	0.0000	0.4531	0.0044	0.0001	0.0093	0.0978	0.0000	0.8262	0.0046	0.0008	0.0000
ETC_S_B	0.76	0.09	11	3	14	0.0000	0.0463	0.0001	0.0032	0.0005	0.0001	0.1131	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017	0.0000	0.4651	0.0231	0.0006	0.0000

Métriques	DE	CV	Réponse aux variables :			Variables "qualité de l'eau"													Variables "dégradation de l'habitat"		
			"Qualité de l'eau"	"Dégradation de l'habitat"	Total	Oxygenation	DBO_5	NKJ	Nitrates	Phosphore total	Matière en suspension	pH	Conductivite	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Silice	% Terres urbanisées	% Terres agricoles	% Forêts
ETC_Q_B	0.90	0.12	8	3	11	0.0063	0.0625	0.1129	0.0000	0.0524	0.0000	0.8271	0.0068	0.0002	0.0180	0.0080	0.0001	0.6141	0.0000	0.0006	0.0000
Dominance_C	0.65	0.17	9	3	12	0.0000	0.0189	0.0910	0.0011	0.0105	0.0000	0.9180	0.0008	0.0299	0.0263	0.3656	0.0000	0.1101	0.0287	0.0075	0.0000
Simpson_1_C	0.65	0.17	9	3	12	0.0000	0.0189	0.0910	0.0011	0.0105	0.0000	0.9181	0.0008	0.0299	0.0263	0.3658	0.0000	0.1101	0.0287	0.0075	0.0000
Shannon_C	0.70	0.18	10	3	13	0.0000	0.0220	0.0129	0.0029	0.0015	0.0000	0.3109	0.0009	0.0082	0.0153	0.1119	0.0000	0.2038	0.0116	0.0014	0.0000
Brillouin_C	0.64	0.17	10	3	13	0.0000	0.0311	0.0061	0.0031	0.0109	0.0000	0.3782	0.0003	0.0032	0.0042	0.1738	0.0000	0.0713	0.0468	0.0009	0.0000
Menhinick_C	0.62	0.31	7	3	10	0.0136	0.0169	0.1147	0.0016	0.0014	0.0021	0.5399	0.0580	0.0465	0.2866	0.2371	0.0076	0.8420	0.0009	0.0189	0.0000
Fisher_alpha_C	0.64	0.31	7	3	10	0.0044	0.0893	0.0105	0.0095	0.0014	0.0208	0.0594	0.0800	0.0281	0.1570	0.1294	0.0152	0.3610	0.0031	0.0020	0.0000
BergerParker_C	0.64	0.27	7	2	9	0.0001	0.0266	0.2326	0.0014	0.0691	0.0000	0.7970	0.0021	0.0678	0.0444	0.7188	0.0000	0.1111	0.0530	0.0124	0.0001
X1GOLD_C	0.80	0.17	6	3	9	0.0197	0.0453	0.2280	0.0054	0.0341	0.0015	0.9808	0.3213	0.0715	0.6223	0.5688	0.0461	0.9785	0.0000	0.0067	0.0000
Coleoptera_S_C	0.74	0.19	5	3	8	0.0014	0.2922	0.1500	0.0229	0.3621	0.0024	0.6564	0.2287	0.2507	0.3101	0.5190	0.0134	0.0367	0.0250	0.0006	0.0000
Gastropoda_S_C	0.72	0.07	3	3	6	0.3628	0.0592	0.9765	0.0069	0.0000	0.0052	0.7629	0.7763	0.8834	0.8908	0.5921	0.3853	0.1001	0.0000	0.0459	0.0000
Trichoptera_S_C	0.66	0.25	3	2	5	0.1582	0.0623	0.1739	0.0532	0.0112	0.0243	0.8390	0.5543	0.1893	0.7501	0.1483	0.0243	0.3501	0.0004	0.1579	0.0030
Gastropoda_Q_C	0.67	0.01	1	1	2	0.9084	0.7701	0.6508	0.1555	0.1225	0.0112	0.1989	0.6731	0.5625	0.5392	0.2860	0.9365	0.4445	0.0943	0.0732	0.0008
ET_Q_C	0.73	0.15	2	3	5	0.1750	0.0950	0.4679	0.0009	0.2079	0.0022	0.6138	0.3138	0.0516	0.5645	0.2821	0.0614	0.4671	0.0001	0.0112	0.0000
ETC_S_C	0.65	0.18	10	3	13	0.0002	0.0354	0.0116	0.0035	0.0000	0.0012	0.1214	0.0203	0.0041	0.0152	0.0693	0.0002	0.2202	0.0000	0.0234	0.0000
ETC_Q_C	0.85	0.17	3	3	6	0.1288	0.0844	0.3724	0.0013	0.0486	0.0026	0.9382	0.3333	0.0566	0.5898	0.2610	0.0512	0.5072	0.0000	0.0067	0.0000
Taxa_BC	0.64	0.20	10	2	12	0.0000	0.0557	0.0000	0.0332	0.2794	0.0025	0.0182	0.0000	0.0000	0.0001	0.0086	0.0000	0.0749	0.5547	0.0000	0.0000
Dominance_BC	0.70	0.11	9	3	12	0.0000	0.0008	0.0157	0.0111	0.0528	0.0000	0.1983	0.0000	0.0023	0.0005	0.1852	0.0000	0.0612	0.0067	0.0037	0.0000
Simpson_1_BC	0.70	0.11	10	3	13	0.0000	0.0009	0.0158	0.0100	0.0453	0.0000	0.1801	0.0000	0.0021	0.0005	0.1724	0.0000	0.0773	0.0057	0.0024	0.0000
Shannon_BC	0.73	0.14	11	3	14	0.0000	0.0030	0.0084	0.0462	0.0002	0.0003	0.0097	0.0036	0.0092	0.0195	0.0681	0.0000	0.3311	0.0002	0.0010	0.0000
Brillouin_BC	0.69	0.17	11	3	14	0.0000	0.0012	0.0049	0.0301	0.0108	0.0000	0.0235	0.0004	0.0026	0.0032	0.0850	0.0000	0.2045	0.0025	0.0004	0.0000
Menhinick_BC	0.77	0.25	10	3	13	0.0046	0.0043	0.0313	0.0052	0.0000	0.0010	0.2492	0.0221	0.0056	0.0944	0.0242	0.0002	0.7176	0.0000	0.0142	0.0000
Margalef_BC	0.67	0.19	11	3	14	0.0000	0.0185	0.0002	0.0565	0.0001	0.0049	0.0056	0.0012	0.0002	0.0031	0.0017	0.0000	0.3210	0.0120	0.0001	0.0000
Equitability_BC	0.66	0.18	9	3	12	0.0000	0.0004	0.1065	0.0133	0.0072	0.0000	0.1981	0.0020	0.0305	0.0235	0.4716	0.0000	0.3116	0.0001	0.0061	0.0000
Fisher_alpha_BC	0.73	0.17	10	3	13	0.0007	0.0343	0.0020	0.0719	0.0000	0.0181	0.0079	0.0328	0.0087	0.0782	0.0144	0.0005	0.4926	0.0002	0.0005	0.0000
BergerParker_BC	0.67	0.20	9	3	12	0.0000	0.0010	0.0185	0.0066	0.1435	0.0000	0.4682	0.0000	0.0010	0.0005	0.2913	0.0000	0.0830	0.0068	0.0031	0.0000
X1GOLD_BC	0.91	0.14	7	3	10	0.0174	0.0490	0.1431	0.0018	0.0154	0.0014	0.4020	0.2218	0.0337	0.4263	0.1919	0.0187	0.6451	0.0000	0.0011	0.0000
Coleoptera_S_BC	0.80	0.19	8	3	11	0.0013	0.5221	0.0735	0.0082	0.0214	0.0003	0.5982	0.0291	0.0193	0.0457	0.5687	0.0001	0.4697	0.0129	0.0000	0.0000
Gastropoda_S_BC	0.66	0.10	4	2	6	0.4205	0.0018	0.9870	0.0031	0.0000	0.0235	0.8148	0.4148	0.9890	0.7014	0.9733	0.4328	0.0968	0.0000	0.0733	0.0000
Trichoptera_S_BC	0.74	0.17	11	3	14	0.0085	0.0274	0.0090	0.0002	0.0075	0.0073	0.8054	0.0283	0.0001	0.0439	0.0177	0.0000	0.3749	0.0005	0.0016	0.0000
Ephemeroptera_Q_BC	0.62	0.28	11	2	13	0.0000	0.0058	0.0028	0.0101	0.1863	0.0000	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0078	0.0000	0.1317	0.1063	0.0006	0.0000
Gastropoda_Q_BC	0.71	0.01	1	1	2	0.9457	0.6222	0.6484	0.1725	0.1150	0.0105	0.1730	0.6926	0.5526	0.5529	0.2634	0.9758	0.4381	0.0783	0.0676	0.0006
Trichoptera_Q_BC	0.89	0.31	6	3	9	0.1348	0.0341	0.0745	0.0328	0.0268	0.0170	0.5419	0.2283	0.0451	0.3012	0.5906	0.0024	0.8706	0.0009	0.0073	0.0000

Métriques	DE	CV	Réponse aux variables :			Variables "qualité de l'eau"													Variables "dégradation de l'habitat"		
			"Qualité de l'eau"	"Dégradation de l'habitat"	Total	Oxygenation	DBO_5	NKJ	Nitrates	Phosphore total	Matière en suspension	pH	Conductivite	Potassium	Chlorures	Sulfates	Bicarbonates	Silice	% Terres urbanisées	% Terres agricoles	% Forêts
ET_S_BC	0.62	0.10	12	3	15	0.0001	0.0047	0.0008	0.0000	0.0013	0.0000	0.0266	0.0022	0.0000	0.0014	0.0051	0.0000	0.7512	0.0013	0.0155	0.0001
ET_Q_BC	0.87	0.11	4	3	7	0.1451	0.0841	0.4173	0.0000	0.6095	0.0004	0.6375	0.2276	0.0226	0.3907	0.3951	0.0254	0.4299	0.0003	0.0015	0.0000
ETC_S_BC	0.80	0.06	6	3	9	0.0192	0.0524	0.0648	0.0000	0.0123	0.0000	0.2916	0.1330	0.0047	0.1328	0.2638	0.0069	0.8568	0.0004	0.0128	0.0000
ETC_Q_BC	0.90	0.11	4	3	7	0.2425	0.1441	0.4962	0.0002	0.0133	0.0027	0.6435	0.3322	0.0384	0.5736	0.0551	0.0633	0.1773	0.0000	0.0027	0.0000
Shannon_family_BC	0.63	0.20	6	2	8	0.0163	0.0147	0.0243	0.4007	0.0002	0.0247	0.0191	0.3545	0.0977	0.4254	0.1783	0.0823	0.8546	0.0000	0.0706	0.0000
Nb_ET_family_BC	0.65	0.19	9	3	12	0.0030	0.0282	0.0047	0.0492	0.0000	0.0686	0.0004	0.0663	0.0096	0.0682	0.0043	0.0023	0.3236	0.0003	0.0017	0.0000
Menhinick_AB	0.71	0.23	6	2	8	0.1386	0.0044	0.0402	0.0287	0.0001	0.0010	0.9469	0.2519	0.0215	0.3789	0.1374	0.0712	0.8234	0.0000	0.3760	0.0004
Margalef_AB	0.61	0.19	12	1	13	0.0000	0.0391	0.0000	0.1616	0.0000	0.0032	0.0258	0.0002	0.0001	0.0002	0.0007	0.0000	0.0431	0.0711	0.1233	0.0189
Fisher_alpha_AB	0.73	0.27	10	2	12	0.0002	0.0235	0.0004	0.0922	0.0000	0.0030	0.0830	0.0016	0.0003	0.0022	0.0017	0.0001	0.2122	0.0072	0.1767	0.0069
Coleoptera_S_AB	0.86	0.27	7	2	9	0.0003	0.3266	0.0953	0.0006	0.3480	0.0002	0.6189	0.0000	0.0001	0.0005	0.2197	0.0000	0.9129	0.0717	0.0021	0.0002
Gastropoda_S_AB	0.63	0.18	3	2	5	0.9669	0.0010	0.9647	0.0132	0.0000	0.2705	0.6275	0.4417	0.8746	0.8359	0.5933	0.6028	0.5474	0.0001	0.1913	0.0002
Trichoptera_S_AB	0.75	0.18	7	3	10	0.0390	0.0057	0.0442	0.0000	0.2072	0.0161	0.3927	0.0995	0.0009	0.1183	0.2085	0.0000	0.1506	0.0000	0.0008	0.0000
ETC_S_AB	0.79	0.18	11	3	14	0.0000	0.0079	0.0009	0.0001	0.0008	0.0005	0.0228	0.0031	0.0002	0.0013	0.1162	0.0000	0.9809	0.0003	0.0014	0.0000
ETC_Q_AB	0.61	0.18	8	2	10	0.0081	0.0076	0.0024	0.0736	0.0033	0.0038	0.0357	0.1649	0.0435	0.1671	0.2455	0.0353	0.1835	0.0013	0.1368	0.0003

ASCONIT Consultants
Agence Caraïbes
ZI Champigny
97224 DUCOS
◆
Tél. : 05.96.63.55.78 / Fax : 05.96.63.55.78
Mobile : 06.96.25.54.10
E-mail : nicolas.bargier@asconit.com (Agence de Lyon)