Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques.

Mai 2012

Maxence Forcellini, Henri Grondin, Chloé Mathieu, Nicolas Péru, Marine Richarson, Pierre Sagnes, Philippe Usseglio-Polatera et Pierre Valade
Sous la direction scientifique de Sylvie Mérigoux et Jean-Michel Olivier

Convention de recherche et développement. Office de l'eau de la Réunion-CNRS. Programme d'étude et de recherche 2008-2011.

UMR CNRS 5023, Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés
43 Boulevard du 11 Novembre 1918 69622 Villeurbanne Cedex.

Avant-propos

Le présent travail a été réalisé dans le cadre d'une convention recherche et développement entre l'OLE, le CNRS et l'ARDA intitulée « Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques », 2008-2011.

Cet important travail, constituant une étude pilote à l'échelle des DOM, n'a pu être réalisé que grâce à l'investissement de nombreux collaborateurs aussi bien pour le travail de terrain, de laboratoire, de l'analyse de données et des réflexions scientifiques constructives.

Nous tenons à remercier l'ensemble des membres du comité de pilotage de ce programme pour l'investissement dans le suivi de ce projet.

Nous tenons particulièrement à adresser nos plus sincères remerciements à Olivier Navarro pour son investissement constant dans le projet ainsi qu'à Pierre Valade, Henri Grondin, Marine Richarson, Pierre Bosc, Karoline Ruffié, Faïçal Badat, Olivier Monnier, Yorick Reyjol, Anne-Marie Helle, Dominique Reynaud et Anne-Béatrice Dufour (statistiques) ainsi que les nombreuses personnes qui ont collaboré au tri des échantillons et au travail de terrain. Nous tenons également à remercier nos collaborateurs de l'équipe « Biodiversité des écosystèmes lotiques », la DEAL Réunion et le Parc National de la Réunion.

A la suite du dernier Comité de pilotage (30 août 2012) et à l'analyse réalisée sur les données collectées en 2011 (octobre-novembre) et notamment le calculs des valeurs pour les 2 indices (IRM et IRP), des modifications ont été apportées dans les procédures de calcul de ces indices et ont été intégrées à posteriori dans ce rapport.

Introduction générale

Suite aux travaux préliminaires réalisés dans le cadre du Réseau Piscicole (RP) et à la campagne d'échantillonnage invertébrés 2006 sur 4 bassins versants, l'OLE en concertation avec l'UMR CNRS 5023 et l'ARDA, a initié en 2008 un programme de recherche et développement portant sur la « Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques ».

Les objectifs de ce programme étaient les suivants :

- l'acquisition de données « invertébrés » et « poissons » sur un ensemble de stations (collaboration entre l'ARDA et l'UMR CNRS 5023) ;
- le traitement, l'analyse, la bancarisation et l'interprétation des données ;
- le développement des modalités de caractérisation des indices multimétriques « invertébrés » et « poissons » ;
- l'élaboration d'un nouvel atlas des macroinvertébrés des cours d'eau réunionnais.

Conformément à cette convention, l'échantillonnage des invertébrés dans 42 stations et des poissons dans 29 stations a été réalisé selon les protocoles définis de 2008 à 2010. Ce travail d'acquisition de données nouvelles était motivé par la nécessité de disposer de jeux de données pertinents pour la recherche méthodologique en vue d'une mise au point d'indices de bio-indication à partir des macroinvertébrés et des poissons. Une analyse des données « invertébrés » collectées entre 1995 et 2006 par l'ORE puis l'OLE, a mis en évidence la grande hétérogénéité du plan d'échantillonnage et des problèmes d'ordre taxonomique[1]. Ce jeu de données ne présentait pas les qualités requises pour développer un outil de bio-indication. La réalisation des campagnes d'échantillonnage entre 2008 et 2010 et l'important travail de laboratoire associé ont permis de disposer des données nécessaires.

---

[1] Mérigoux S., Olivier J.M., Valade P. & Bosc P. Mars 2008. Recherche méthodologique en vue de l'élaboration d'outils de bioévaluation de la qualité écologique des milieux aquatiques de La Réunion. Convention ARDA-OLE. 28 pp.

Pour les poissons, l'objectif était d'augmenter la période d'échantillonnage (2000-2010 pour certaines stations, 2004-2010 pour d'autres) en vue de mieux appréhender la variabilité temporelle des structures de peuplements.

En raison de la quasi absence de données sur la distribution spatiale, sur la biologie et sur l'écologie des espèces d'invertébrés, une analyse détaillée de la variabilité spatio-temporelle des peuplements et des populations d'invertébrés à différentes échelles (du prélèvement au bassin versant) était incontournable.

Conformément aux exigences de la DCE, la Réunion doit se doter de méthodes d'évaluation de la qualité écologique des cours d'eau basées sur les organismes aquatiques. Un des objectifs principaux de cette convention était d'étudier la mise en œuvre d'une telle démarche. La méthodologie retenue impose de comparer les structures de peuplements de stations « test » (impactées ou non) à des structures mesurées dans des stations de « référence » (peu ou non impactées par les activités humaines). La caractérisation des impacts est réalisée grâce à une analyse des pressions qui s'exercent sur les cours d'eau. Un inventaire et une quantification de l'intensité des pressions ont donc été réalisés pour chaque station d'échantillonnage et ont permis une sélection de stations de référence au sein des différents types de masses d'eau[2].

La démarche méthodologique développée dans cette étude a permis la mise au point de deux indices, macroinvertébrés et poissons (respectivement IRM et IRP). Les versions de ces indices doivent cependant être considérées comme des versions initiales, potentiellement améliorables.

Le présent rapport, composé de 5 volets, présente successivement :

- une analyse détaillée de la variabilité spatio-temporelle des peuplements d'invertébrés ;
- une analyse synthétique de la variabilité spatio-temporelle des peuplements de poissons ;
- une étude détaillée de l'évaluation des « pressions-impacts » ;
- la méthode de développement de l'Indice Réunion Macroinvertébrés (IRM) ;
- la méthode de développement de l'Indice Réunion Poissons (IRP).

[2] Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement, Journal Officiel de la République Française, 2 février 2010.

Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques.

Mai 2012

Volet macroinvertébrés benthiques

Maxence Forcellini, Henri Grondin, Chloé Mathieu, Nicolas Péru, Marine Richarson, Pierre Sagnes, Philippe Usseglio-Polatera et Pierre Valade
Sous la direction scientifique de Sylvie Mérigoux et Jean-Michel Olivier

Convention de recherche et développement. Office de l'eau de la Réunion-CNRS. Programme d'étude et de recherche 2008-2011.

UMR CNRS 5023, Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés
43 Boulevard du 11 Novembre 1918 69622 Villeurbanne Cedex.

Sommaire

1 CAMPAGNES DE TERRAIN ET STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE 3

1.1 ECHANTILLONNAGE ET CONDITIONNEMENT DES INVERTÉBRÉS 5
1.2 MESURES DES PARAMÈTRES DE L'HABITAT 7
1.2.1 CONTRAINTES HYDRAULIQUES 7
1.2.2 VITESSE DU COURANT 8
1.2.3 GRANULOMÉTRIE 8
1.2.4 PROFONDEUR 8
1.3 ECHANTILLONNAGE ALÉATOIRE 8
1.4 CALIBRATION DE L'ÉCHANTILLONNAGE 9
1.5 TRI ET DÉTERMINATION DE LA FAUNE 10
1.6 BASE DE DONNÉES 11

2 RÉSULTATS DES 3 CAMPAGNES D'ÉCHANTILLONNAGE 13

2.1 DESCRIPTION DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE 13
2.1.1 ÉCHELLE DE LA STATION 13
2.1.2 ÉCHELLE DES RELEVÉS 13
2.2 DESCRIPTION DES PEUPLEMENTS FAUNISTIQUES 18
2.2.1 INVENTAIRE DES TAXONS IDENTIFIÉS 18
2.2.2 RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE 23
2.2.3 IDENTIFICATION TAXONOMIQUE 25
2.2.4 RICHESSE TAXONOMIQUE : QUELS PARAMÈTRES EXPLICATIFS ? 27
2.2.5 TYPOLOGIE FAUNISTIQUE DES RIVIÈRES DE L'ÎLE DE LA RÉUNION 35
2.3 CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES ET ÉCOLOGIQUES DES TAXONS 51
2.3.1 RÉGIMES ALIMENTAIRES 51
2.3.2 PRÉFÉRENCES HYDRAULIQUES DES TAXONS 52
2.3.3 AUTRES TRAITS ÉCOLOGIQUES 54

3 ANNEXES 55

1 Campagnes de terrain et stations d'échantillonnage

Les trois campagnes d'échantillonnage des invertébrés benthiques ont été réalisées en période d'étiage, en 2008, 2009 et 2010. Au cours de ces campagnes, 42 des 43 stations initialement choisies ont été échantillonnées (*cf.* Figure 1 et Tableau 1 pour plus de détails sur les stations). A cette période de l'année la station Marsouin 1 (MAR1) était à sec à l'exception de rares flaques entre les blocs et n'a donc pas pu être échantillonnée. En 2010, la station SDE1 a été décalée à une altitude plus basse qu'en 2008 et 2009 (115m au lieu de 260m) pour des raisons d'accessibilité. Les 43 stations sont réparties dans 13 bassins versants et 20 rivières.

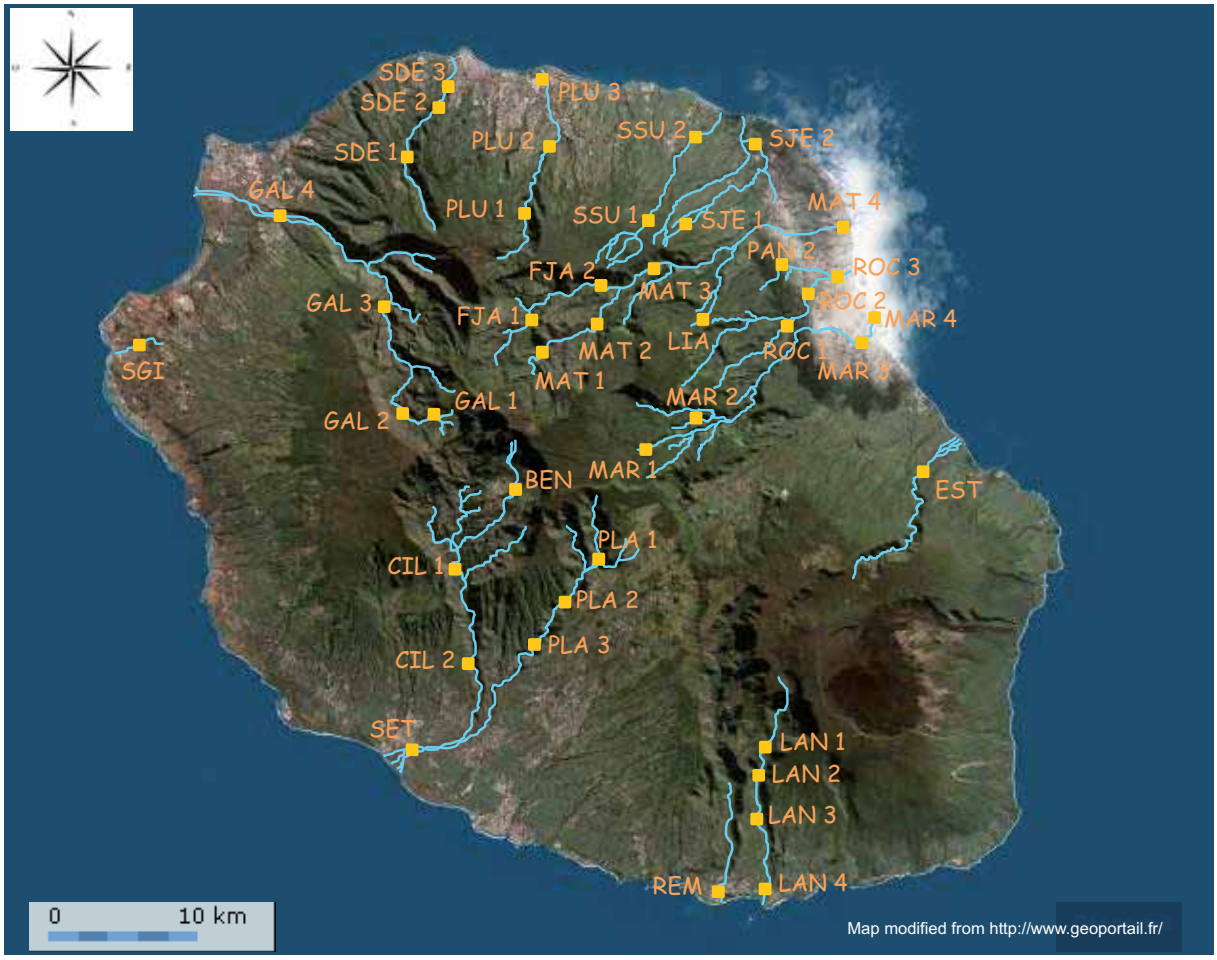


Figure 1 : Carte du réseau hydrographique des rivières pérennes de la Réunion et position des 43 stations d'échantillonnage des invertébrés benthiques.

Tableau 1 : Présentation des 43 stations d'échantillonnage. En violet : station non échantillonnée ; en vert : station de calibration (cf. 2.4 Calibration de l'échantillonnage).

BASSIN-VERSANT	RIVIERE	2008-2010	Code Sandre	Altitude	Lieu
Rivière St-Denis	Rivière St-Denis	**SDE1**	10320310	260	Ilet à Guillaume
	Rivière St-Denis	**SDE2**	10320350	70	En amont du captage AEP
	Rivière St-Denis	**SDE3**	10320380	20	Bas de la Rivière
Rivière des Pluies	Rivière des Pluies	**PLU1**	10310812	385	Amont tunnel
	Rivière des Pluies	**PLU2**	10310830	140	Ilet Quinquina
	Rivière des Pluies	**PLU3**	10310890	25	Embouchure/Gillot
Rivière Ste-Suzanne	Rivière Ste-Suzanne	**SSU1**	10300215	730	Amont pont route des hauts
	Rivière Ste-Suzanne	**SSU2**	10300240	150	Amont cascade Niagara
Grande Riviere St-Jean	Grande Riviere St-Jean	**SJE1**	10300110	312	Bras des chevrettes
	Grande Riviere St-Jean	**SJE2**	10300180	6	Quartier français
Rivière du Mât	Bras des Lianes	**LIA**	10215510	666	Amont captage AEP
	Fleurs Jaunes	**FJA1**	10206130	670	Mare à vieille place
	Fleurs Jaunes	**FJA2**	10206180	350	Bois de Pomme
	Rivière du Mât	**MAT1**	10200110	670	Ilet à Vidot
	Rivière du Mât	**MAT2**	10200180	425	Ilet Bananier
	Rivière du Mât	**MAT3**	10200190	250	"Escalier"
	Rivière du Mât	**MAT4**	10220180	30	Embouchure
Rivière des Roches	Rivière des Roches	**ROC1**	10135508	160	Abondance
	Rivière des Roches	**ROC2**	10130460	12	Mon désir
	Rivière des Roches	**ROC3**	10130480	5	Radier beauvallon
	Bras Panon	**PAN2**	10136250	40	Bras pétard
Rivière des Marsouins	Rivière des Marsouins	**MAR1**	10120110	1300	Bébourg
	Rivière des Marsouins	**MAR2**	10120140	560	Takamaka aval
	Rivière des Marsouins	**MAR3**	10120170	60	Bethléem
	Rivière des Marsouins	**MAR4**	10120180	5	St Benoît
Rivière de l'Est	Rivière de l'Est	**EST**	10050180	150	Amont aval pont
Rivière Langevin	Rivière Langevin	**LAN1**	10015225	685	Cap Blanc
	Rivière Langevin	**LAN2**	10010140	430	Cascade Grand Galet
	Rivière Langevin	**LAN3**	10010150	270	Passerelle
	Rivière Langevin	**LAN4**	10010185	40	Langevin
Rivière des Remparts	Rivière des Remparts	**REM**	10000190	10	L'Abattoir
Rivière St-Etienne	Bras de Benjoin	**BEN**	10606520	1050	Amont du rejet
	Grand bras de Cilaos	**CIL1**	10600170	370	Pavillon
	Grand bras de Cilaos	**CIL2**	10600180	200	Ilet Furcy
	Bras de Ste Suzanne	**PLA1**	10610210	600	Grand Bassin
	Bras de la Plaine	**PLA2**	10610240	420	Amont barrage
	Bras de la Plaine	**PLA3**	10610250	350	Petite ravine
	Rivière St-Etienne	**SET**	10610160	40	Embouchure Pont RN
Ravine St-Gilles	Ravine St-Gilles	**SGI**	10510550	40	Verrou
Rivière des Galets	Rivière des Galets	**GAL1**	10400120	1400	Marlat
	Rivière des Galets	**GAL2**	10400140	1200	Trois roches
	Rivière des Galets	**GAL3**	10400180	300	Amont de la prise ILO
	Rivière des Galets	**GAL4**	10410150	120	Ilet malidé
Total	**20**	**43**			

Le choix des 43 stations repose sur leur représentativité des différents bassins versants mais aussi du gradient amont-aval (altitude, pente, obstacles) de chacun de ces bassins versants. Ces stations intègrent les principales pressions anthropiques (e.g. réduction de débit ou marnage, urbanisation, endiguement ou fréquentation). Sur la plupart des rivières les plus longues, les stations amont choisies sont les moins impactées possible. Enfin, ces stations sont en concordance 1) avec les dispositifs de suivis existants tels que le réseau de contrôle de surveillance et le réseau de bassin gérés par l'Office de l'Eau et 2) avec les stations de suivi poissons (stations RP) (*cf.* Annexe 1 pour plus de détails sur le choix de ces stations).

1.1 Echantillonnage et conditionnement des invertébrés

Dans chacune des 42 stations échantillonnées, 12 prélèvements faunistiques ont été réalisés à l'aide d'un filet Surber dérivé du prototype décrit dans la norme IBGN (AFNOR, 1992[1]). Ce filet comporte en réalité deux filets emboités : le premier, de vide de maille de 1 cm, permet de récupérer le substrat grossier et évite d'écraser les organismes ; le deuxième, de vide de maille de 0.5 mm, récupère la faune et le substrat fin (Figure 2).

Figure 2 : Filet Surber à double maille utilisé pour échantillonner les macroinvertébrés.

Les premiers centimètres de substrat et la faune associée ont été collectés sur une surface de 0.0625 m^2 (surface adaptée au substrat grossier des rivières de l'île). Les individus présents à la surface du substrat grossier ont été récupérés à l'aide de pinceaux. De nombreux cailloux granitiques d'origine volcanique présentent des cavités plus ou moins importantes dans lesquelles les larves de certains macroinvertébrés peuvent s'abriter ou tissent des filets de capture de particules dérivantes *(e.g. Hydrospyche mokaensis)*. La méthode pour les déloger a été d'asperger d'alcool à plusieurs reprises chaque caillou à l'aide d'une pissette. Une fois le substrat grossier nettoyé et mis de côté, le substrat restant et la faune, issus des deux filets, ont été élutriés (au moins 10 élutriages). De plus, les nymphes d'Hydroptilidae, fixées sur le substrat, ont été délicatement « cueillies » à l'aide de pinces fines (Figure 3).

Figure 3 : « Cueillette » de nymphes d'Hydroptilidae.

[1] AFNOR 1992. Essais des eaux. Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). Norme française, T90-350, 9 pp.

Au cours de la phase de conditionnement, nous avons utilisé un tamis de vide de maille de 0.5 mm en inox pour filtrer les échantillons (Figure 4). Il fallait alors éviter de laisser sécher les organismes à l'air libre dans le tamis, les températures pouvant être élevées.

Figure 4 : Elutriation et filtration

La faune a été conditionnée séparément du substrat fin, restant après élutriation, dans une solution alcoolisée (95 %) pour identification ultérieure au laboratoire. Cette étape évite le « broyage » des organismes pendant les phases de transport. Le substrat fin, lorsqu'il n'était pas vérifié sur le terrain, était également conditionné dans une solution alcoolisée pour un tri au laboratoire (Figure 5).

Figure 5 : Conditionnement des échantillons faunistiques (à droite) et de substrat fin non trié (à gauche).

Pour éviter que certains organismes de forme cylindrique (e.g. larves de Chironomidae ou Oligochètes) ou capables de se déformer (e.g. Planaires ou Achètes) passent à travers la maille du tamis, nous les avons aspergés d'alcool dès qu'ils étaient repérés (sur les cailloux ou dans le tamis).

D'autres photos présentant plus de détails de cette phase d'échantillonnage et du conditionnement de la faune sont présentées en Annexe 2.

1.2 Mesures des paramètres de l'habitat

Au niveau de chaque point d'échantillonnage de la faune, les contraintes hydrauliques au fond du cours d'eau, la vitesse du courant, la taille du substrat et la profondeur ont été mesurées.

1.2.1 Contraintes hydrauliques

Nous avons utilisé la méthode des hémisphères FST (Statzner & Müller, 1989[2]) pour mesurer les contraintes hydrauliques locales au fond de la rivière. Un jeu d'hémisphères comporte 24 hémisphères de même taille mais qui différent par leur densité. Les hémisphères sont placés sur une plaque lestée posée horizontalement au fond de la rivière (Figure 6). L'hémisphère le plus lourd qui quitte la plaque donne la valeur de la contrainte. Des courbes de calibration permettent de traduire chaque numéro d'hémisphère par une force de cisaillement en $N.m^{-2}$ (Statzner *et al.,* 1991[3]). La force mesurée intègre les contraintes longitudinales, latérales et verticales qui s'exercent localement au fond du lit de la rivière. Cette mesure synthétique correspond aux contraintes hydrauliques locales que subissent les organismes benthiques. Ces forces peuvent induire le remaniement des sédiments et ainsi déloger les invertébrés benthiques de leurs abris, ce sont donc de bons indicateurs de perturbation de l'habitat physique (Townsend *et al*., 1997[4]).

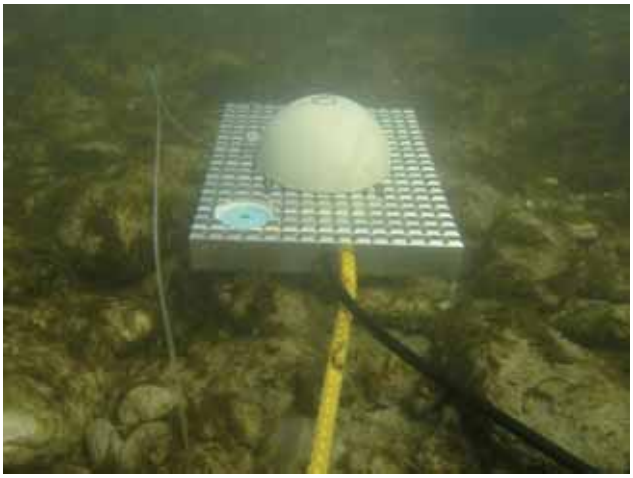


Figure 6 : Plaque et hémisphère FST positionnés au fond du cours d'eau

---

[2] Statzner B. & Müller R. 1989. Standard hemispheres as indicators of flow characteristics in lotic benthos research. Freshwater Biology, 21, 445-459.

[3] Statzner B., Kohmann F. & Hildrew A.G. 1991. Calibration of FST-hemispheres against bottom shear stress in a laboratory flume. Freshwater Biology, 26, 227-231.

[4] Townsend C.R., Scarsbrook M.R. & Dolédec S. 1997. Quantifying disturbance in streams: alternative measures of disturbance in relation to macroinvertebrate species traits and species richness. J. N. Am. Benthol. Soc., 16, 531-544.

1.2.2 Vitesse du courant

La vitesse du courant a été mesurée à l'aide d'un courantomètre à 40% de la hauteur, ce qui correspond à la vitesse moyenne dans la colonne d'eau. Cette valeur est généralement bien corrélée avec la vitesse benthique et exprime donc la composante longitudinale des contraintes hydrauliques qui s'exercent sur les organismes benthiques.

1.2.3 Granulométrie

La taille des éléments composant le substrat de chaque point d'échantillonnage a été mesurée à l'aide d'un gabarit (plaque de PVC percée de trous de différentes tailles). Nous avons dénombré le nombre de particules appartenant à chaque classe granulométrique de taille supérieure à 8 mm. Les particules du substrat de tailles inférieures à 8 mm non mesurées sur le terrain, ont été pesées au laboratoire après 48h de séchage à l'étuve (110°C) et tri mécanique (colonne de tamis de mailles 8000, 4000, 1000 & 500 µm).

1.2.4 Profondeur

La profondeur a été mesurée à l'aide d'une tige graduée (en cm).

1.3 Echantillonnage aléatoire

Dans chaque station, les 12 échantillons ont été réalisés aléatoirement si possible. La station a été découpée d'aval en amont en 12 transects équidistants (Figure 7). Sur chacun des transects, un échantillon a été positionné au hasard à l'aide d'un dé. Le chiffre 1 correspondait à la rive gauche, le 6 à la rive droite et les chiffres 2, 3, 4 et 5 à la distance correspondant respectivement à 20, 40, 60 et 80 % de la largeur du transect à partir de la rive gauche. Dans certains cas, le point déterminé au hasard correspondait à un habitat non échantillonnable (présence de gros blocs ou zone trop profonde), l'habitat correspondant au chiffre 1 (rive gauche) était alors remplacé par l'habitat correspondant au chiffre 6 (rive droite) et réciproquement. De même, dans certains cas, l'habitat correspondant au chiffre 2 a pu être remplacé par l'habitat correspondant au chiffre 4 et réciproquement. Si l'échantillonnage restait toujours impraticable après ces remplacements ou si l'habitat correspondant au chiffre 3 n'était pas échantillonnable, l'habitat le plus proche était alors choisi.

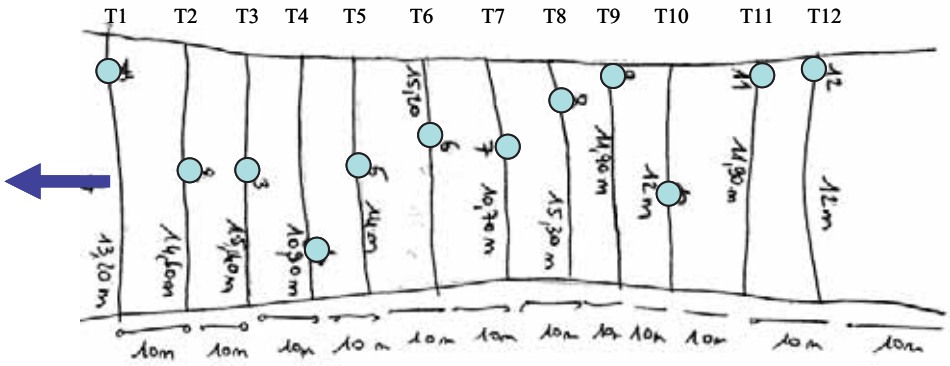


Figure 7 : Schéma, pour une station donnée, de la localisation des 12 transects équidistants (T1 à T12) sur lesquels sont positionnés au hasard les 12 points d'échantillonnage (ronds bleus). La valeur reportée sur chaque transect correspond à la largeur du lit mouillé.

Cependant, dans certaines stations, l'échantillonnage aléatoire n'a pas été possible pour une partie des points d'échantillonnage (SJE, BEN et GAL1) ou pour tous les points d'échantillonnage (MAR2, LAN2 et SGI) du fait de la rareté des habitats échantillonnables (présence de gros blocs ou zones trop profondes).

1.4 Calibration de l'échantillonnage

Au cours des 3 campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010, un protocole particulier a été mis en place dans 6 stations dites de « calibration » (Tableau 1) afin de calibrer l'effort d'échantillonnage. Cette opération avait pour but de déterminer le nombre d'échantillons nécessaires à l'échelle d'une station pour obtenir une richesse taxonomique représentative dans les différents cours d'eau de la Réunion. Un total de 12 prélèvements supplémentaires a donc été réalisé dans les stations PLU2 (Rivière des Pluies), MAT4 (Rivière du Mât), LIA (Bras des Lianes), PLA1 (Grand Bassin), PLA3 (Bras de la Plaine) et LAN3 (Rivière Langevin).

La méthode d'analyse des données repose sur la réalisation de courbes d'accumulation d'espèces (courbes de richesse spécifique cumulée en fonction de l'effort d'échantillonnage) appelée " sample-based rarefaction " (Gotelli & Colwell, 2001[5], Colwell *et al.*, 2004[6], Mao *et al.*, 2005[7]). Les calculs sont réalisés avec le logiciel EstimateS (http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates, Copyright 2009 by Robert K. Colwell, Department of Ecology & Evolutionary Biology, University of Connecticut, Storrs, CT 06869-3043, USA). L'option utilisée est celle de l'estimation de la richesse spécifique par la fonction « *Mao Tau* » dans le logiciel EstimateS. En tirant 100 fois, dans un ordre aléatoire, nos 24 échantillons, le logiciel donne 100 valeurs de richesse taxonomique pour chaque échantillon (de 1 à 24 pour une campagne et de 1 à 72 pour les 3 années). Ces 100 valeurs permettent de calculer pour chacun de ces échantillons une valeur moyenne de la richesse taxonomique cumulée (et un intervalle de confiance de 95%) basée sur le nombre total de taxons rencontrés dans les 24 échantillons réalisés pour chaque campagne ou dans les 72 échantillons des 3 années.

---

[5] Gotelli N. & Colwell R. K. 2001. Quantifying biodiversity: Procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. Ecology Letters 4 , 379-391.

[6] Colwell R. K., Mao C. X. & Chang J. 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. Ecology 85, 2717-2727.

[7] Mao C. X., Colwell R. K. & Chang J. 2005. Estimating species accumulation curves using mixtures. Biometrics 61, 433–441.

1.5 Tri et détermination de la faune

Les 576 échantillons faunistiques collectés au cours de chacune des 3 campagnes d'échantillonnage ont fait l'objet d'un pré-tri à l'ARDA après la période de terrain. La faune a été séparée du substrat fin. Pour chaque échantillon, le substrat a été séché à l'étuve à 110°C et conditionné dans des sacs hermétiques avant d'être envoyé pour analyse en métropole (Figure 8).

Figure 8 : Conditionnement du substrat avant d'être envoyé pour analyse en métropole.

En métropole, les différentes fractions de substrat ont été pesées et les échantillons faunistiques ont été triés et déterminés.

1.6 Base de données

La base de données dédiée au programme comporte les données faunistiques et les paramètres de l'habitat des 3 campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010 (Figure 9). Les données générées par cette base sont aisément exportables vers la base de données de l'Office de l'Eau (*cf.* détails dans Mérigoux *et al.,* 2009[8]).

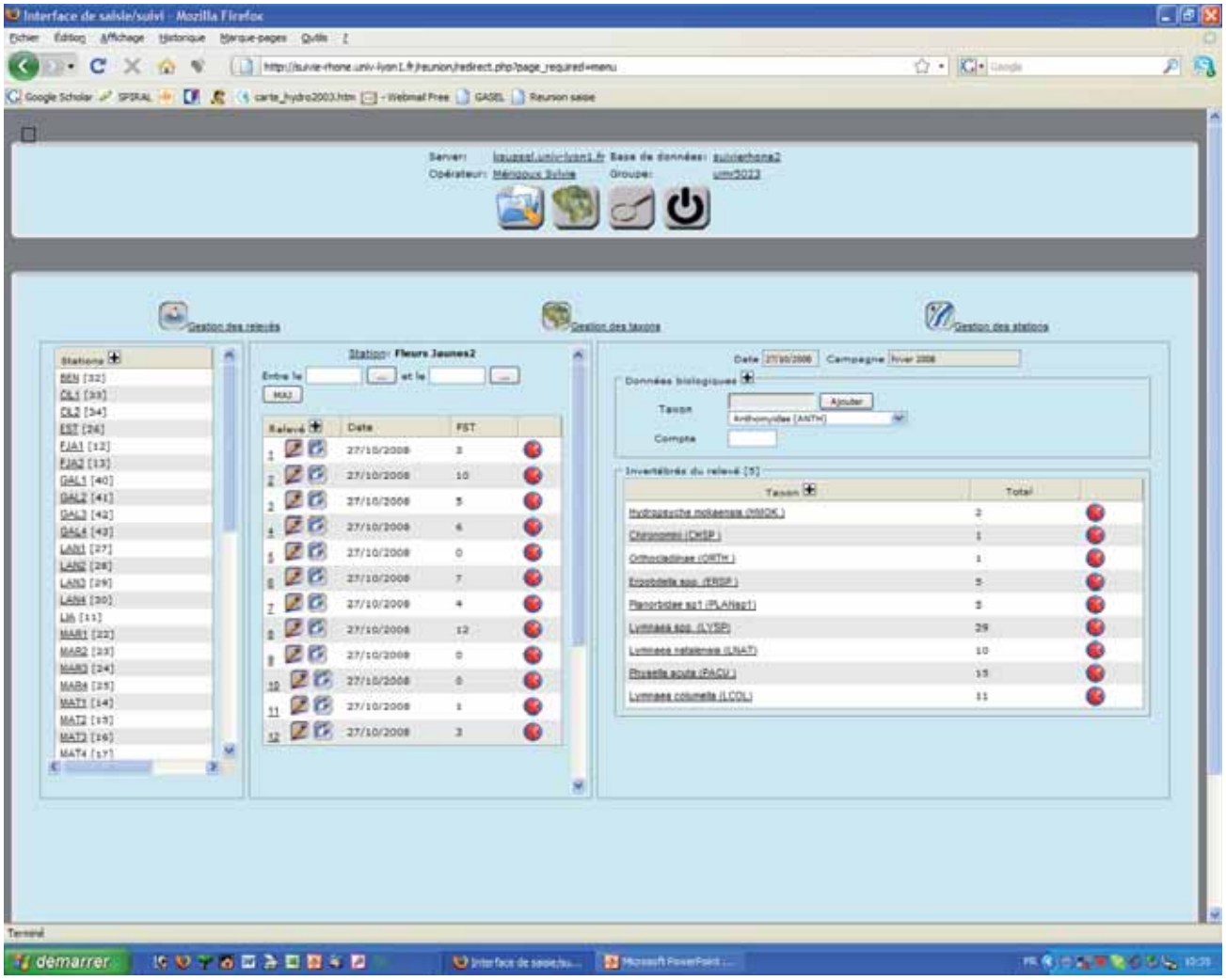


Figure 9 : Masque de saisie des donnés faunistiques.

[8] Mérigoux S., Olivier J.M., Lagarde M. & Forcellini M. Septembre 2009. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de la Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques. Convention CNRS-OLE. 128 pp.

De plus, des informations nécessaires dans le cadre des réseaux de suivi gérés par l'OLE ont été renseignées pour les campagnes 2009 et 2010. Il s'agit, par exemple, de la surface de recouvrement des différents substrats présents sur l'ensemble de la station, de la nature du substrat au point d'échantillonnage ou de la vitesse de courant (Figure 10).

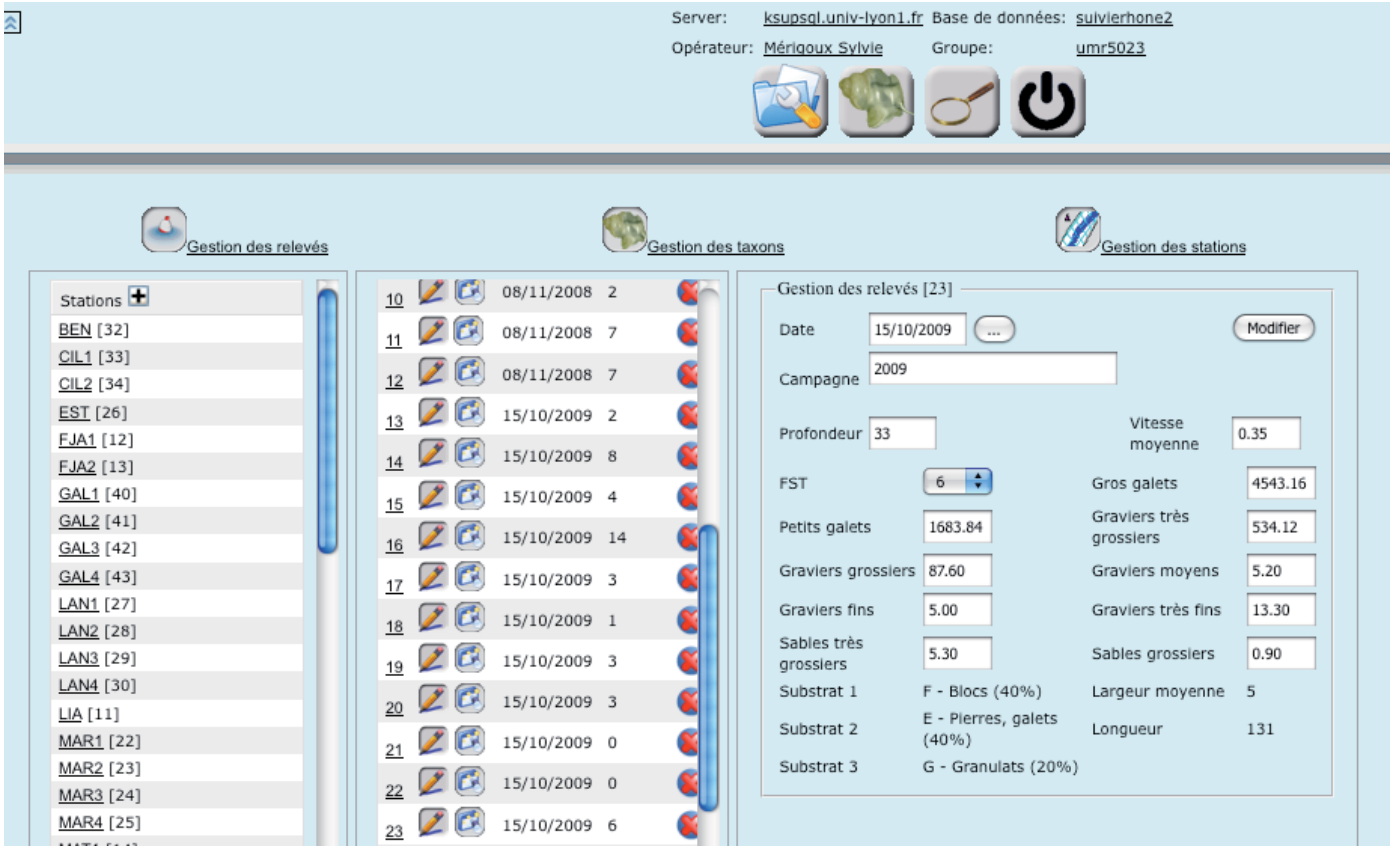


Figure 10 : Masque de saisie des paramètres de la station compatibles avec les réseaux de suivis OLE.

2 Résultats des 3 campagnes d'échantillonnage

2.1 Description des stations d'échantillonnage

2.1.1 Échelle de la station

Les caractéristiques géographiques, physiques et biologiques des 43 stations sont résumées sous forme de fiches (Annexe 3 pour la campagne 2010, Mérigoux *et al.,* 2009[9] et 2010[10] pour les campagnes 2008 et 2009 respectivement[11]). Pour chaque station, des photos présentent les secteurs échantillonnés.

2.1.2 Échelle des relevés

2.1.2.1 Forces de cisaillement, vitesses du courant et profondeurs

La gamme de forces de cisaillement mesurées dans l'ensemble des relevés est sensiblement la même d'une campagne à l'autre et s'étend de 7.71 10^{-2} $N.m^{-2}$ (hémisphère FST 0) à 17.9 $N.m^{-2}$ (hémisphère FST 20), contraintes hydrauliques mesurées à la station LAN2 (cascade Grand Galet) de la Rivière Langevin en 2009 et 2010. La vitesse maximale (1.92 $m.s^{-1}$) a été mesurée en 2009 à la station PLA2 du Bras de la Plaine (amont du barrage), station dans laquelle les contraintes hydrauliques sont toujours particulièrement fortes. La profondeur maximale échantillonnée est de 88 cm (MAR2 en 2008, Rivière des Marsouins), profondeur au-delà de laquelle l'échantillonnage est difficilement possible. En moyenne, les échantillons ont été prélevés dans des profondeurs d'environ 30 cm.

Globalement, dans une même rivière, les contraintes hydrauliques et les vitesses moyennes du courant peuvent être contrastées d'une station à une autre et ne présentent pas de gradient amont-aval (Annexe 4 et Figure 11 pour un exemple). De plus, les gammes de valeurs de ces paramètres peuvent varier entre les années et pour une station donnée suivant les conditions hydrologiques au moment de l'échantillonnage.

---

[9] Mérigoux S., Olivier J.M., Lagarde M. & Forcellini M. Septembre 2009. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de la Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques. Convention CNRS-OLE. 128 pp.

[10] Mérigoux S., Olivier J.M., Forcellini M. & Mathieu C. Septembre 2010. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de la Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques. Convention CNRS-OLE. 181 pp.

[11] Dans ces fiches 2010, les coordonnées des stations sont en degrés décimaux alors qu'elles étaient mentionnées à tord en UTM40 dans les fiches 2008 et 2009.

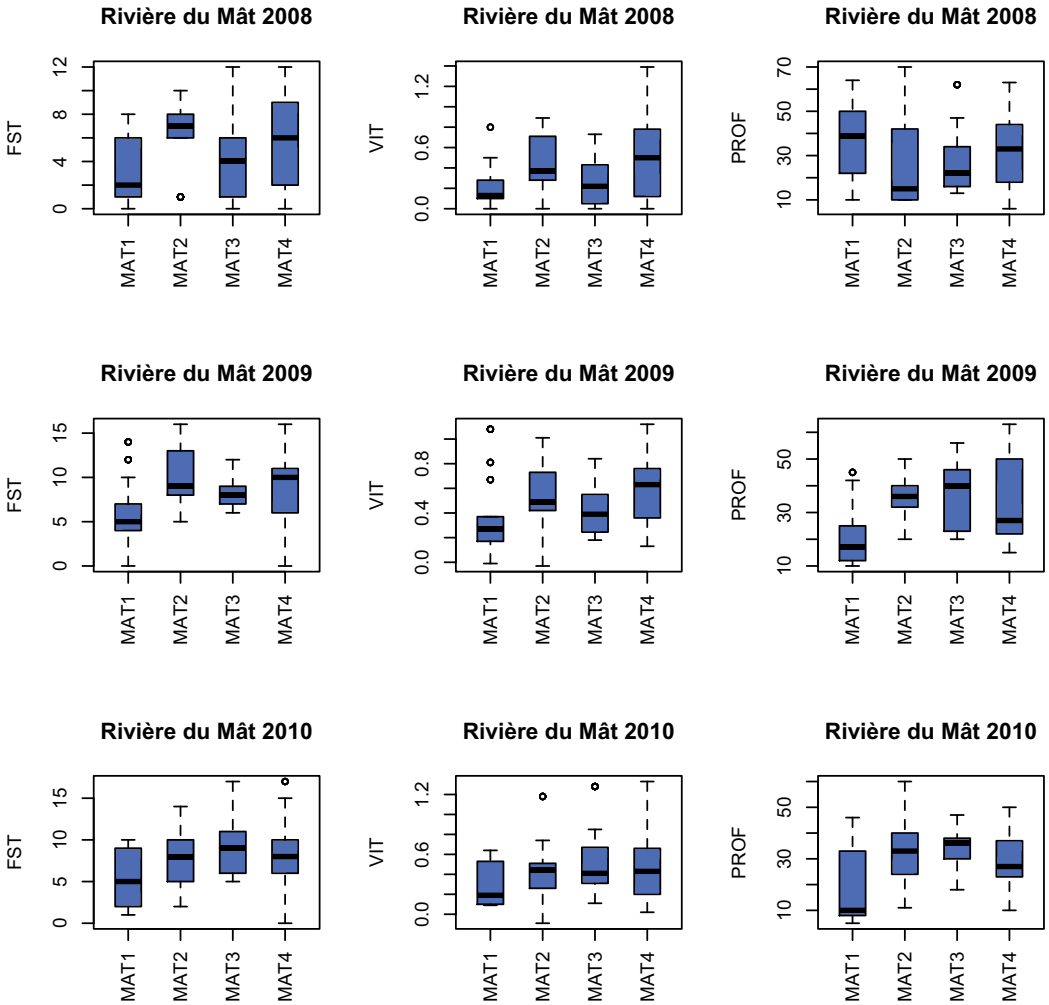


Figure 11 : Représentations graphiques (Box plots) des forces de cisaillement (FST), des vitesses moyennes du courant (VIT) et des profondeurs (PROF) des prélèvements (exemple des stations de la Rivière du Mât, avec MAT1 la station la plus en amont et MAT4 la station la plus en aval).

Dans d'autres rivières comme la Rivière des Pluies, les forces de cisaillement et les vitesses du courant sont au contraire plutôt homogènes sur le gradient amont-aval pour les trois années (Figure 12).

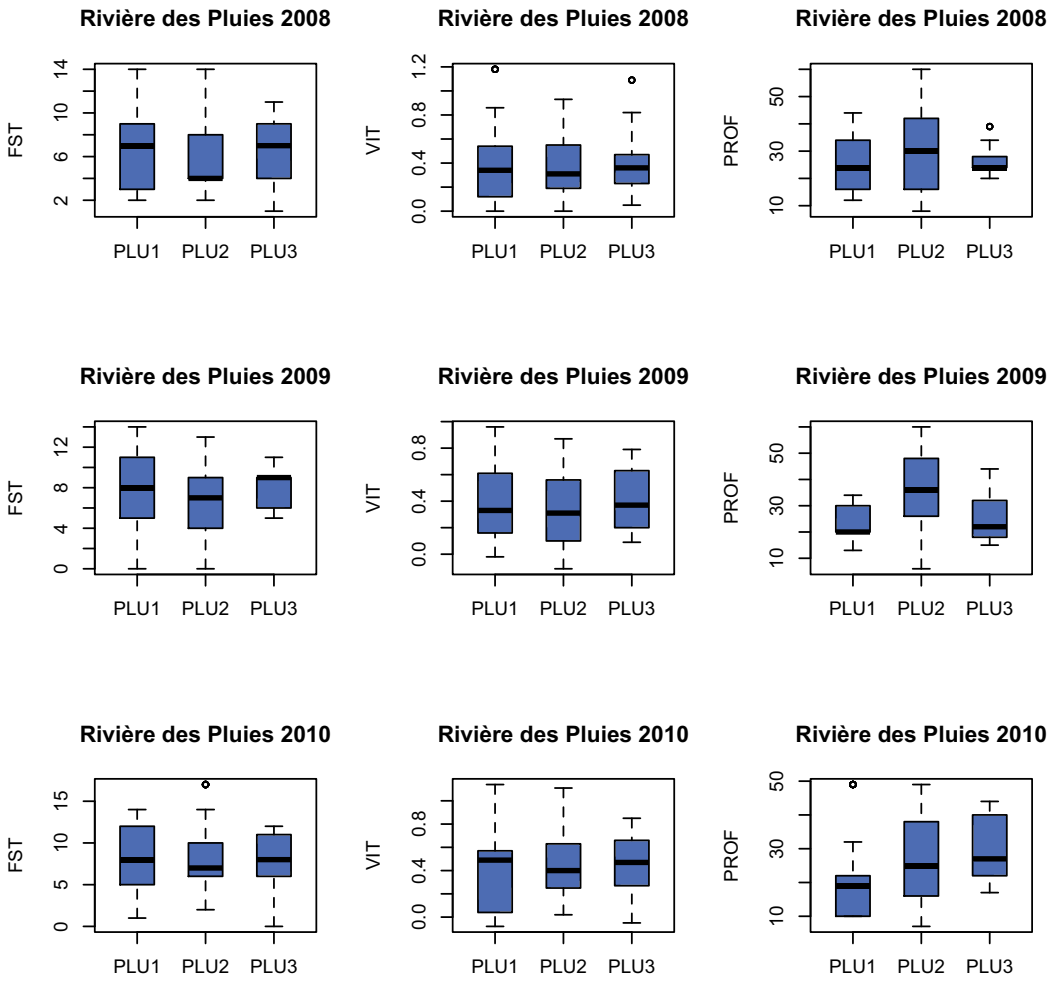


Figure 12 : Représentations graphiques (Box plots) des forces de cisaillement (FST), des vitesses moyennes du courant (VIT) et des profondeurs (PROF) des prélèvements (exemple des stations de la Rivière des Pluies, avec PLU1 la station la plus en amont et PLU3 la station la plus en aval).

2.1.2.2 Substrat

L'ensemble des stations échantillonnées au cours des trois années d'échantillonnage présente un substrat composé essentiellement de galets et de graviers grossiers (Figure 13 et Annexe 5).

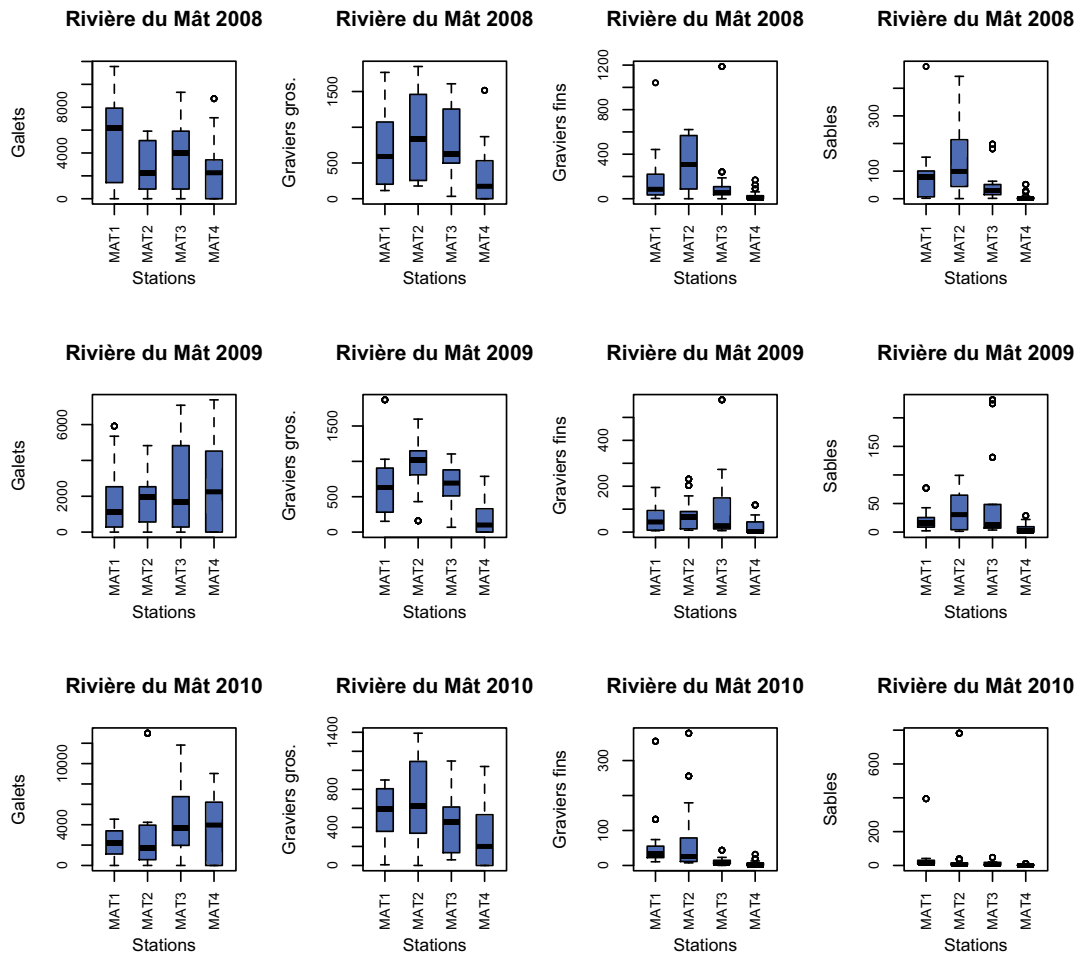


Figure 13 : Représentations graphiques (Box plots) du poids (en grammes) des différentes classes du substrat pour chaque prélèvement (exemple des stations de la Rivière du Mât, avec MAT1 la station la plus en amont et MAT4 la station la plus en aval).

De plus, il existe une relation positive très significative entre la taille moyenne du substrat et sa diversité (Figure 14). Plus la taille moyenne du substrat des échantillons est importante, plus le substrat est diversifié. Aucun gradient amont-aval ne se dégage cependant, les stations présentant des substrats les plus diversifiés étant aussi bien des stations de tête de bassin (SSU1), que des stations intermédiaires (MAR3 ou LAN2) ou près des embouchures (ROC3, MAR4 ou PLU3).

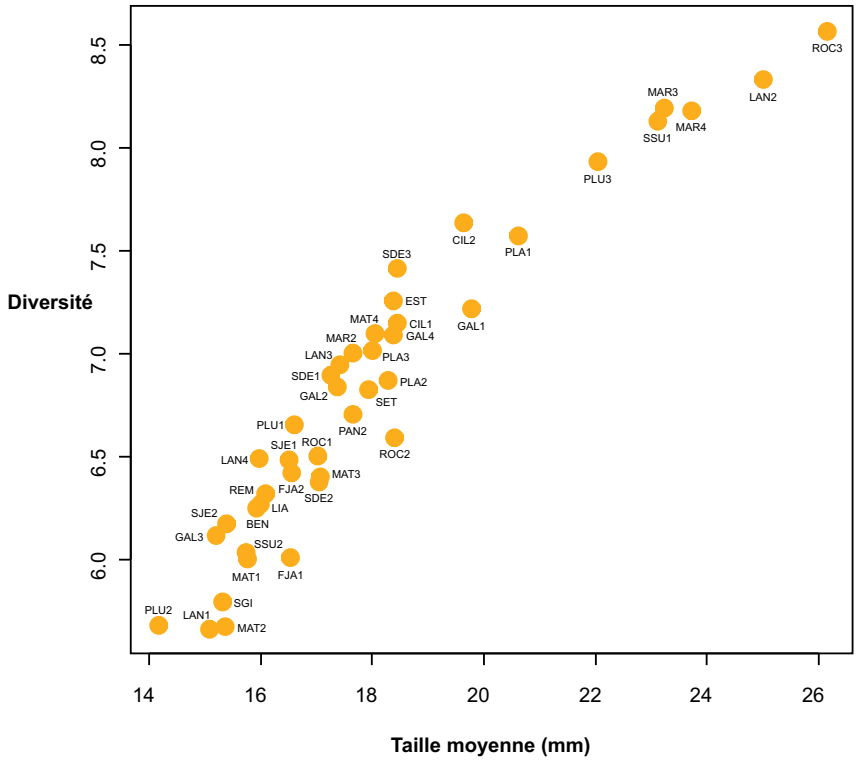


Figure 14 : Relation entre la diversité et la taille moyenne (en mm) du substrat mesuré dans chacune des stations. Y=0.26x + 2.15, R^2 = 0.91. Les données des trois années, relativement homogènes, ont été moyennées. La diversité correspond à l'exponentiel de l'indice de Shannon sur les classes granulométriques (seules les particules comptées, ont été considérées pour ce calcul, cf. 2.2.c). L'exponentiel des valeurs de Shannon correspond à leur "nombre équivalent" (=nombre de classes si les données étaient réparties de manière homogène). 10 classes granulométriques ont été mesurées, donc par exemple, pour ROC3, un nombre équivalent de 8.5 veut dire que, sur cette station, 85% de la variabilité granulométrique peut être rencontrée.

→ Ces données de l'habitat, particulièrement importantes dans le contexte des rivières réunionnaises (dans lesquelles la qualité chimique des eaux est relativement bonne), sont analysées finement dans la suite du travail. **Les contraintes hydrauliques couplées aux données faunistiques ont permis, par exemple, d'établir les préférences hydrauliques des taxons les mieux représentés dans nos échantillons** (*cf.* 2.3.2 Préférences hydrauliques des taxons).

2.2 Description des peuplements faunistiques

2.2.1 Inventaire des taxons identifiés

Au cours des trois campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010, 455335 individus de macroinvertébrés benthiques appartenant à 99 taxons ont été récoltés (stades larvaire, nymphal et adulte compris et sans prendre en compte les cinq taxons de microinvertébrés benthiques ou pélagiques Cnidaires, Nématodes, Némertes, Acoeles et Ostracodes). Parmi ces 99 taxons, certains sont déterminés à un niveau taxonomique peu précis pouvant induire des redondances et donc une surestimation du nombre de taxons. Par exemple, les taxons *Anax imperator* et Aeshnidae comptent pour deux taxons, alors que parmi les Aeshnidae se trouvent potentiellement des *Anax imperator*. De même, les individus appelés *Lymnaea* spp. appartiennent très probablement à l'une des trois espèces de *Lymnaea* rencontrées dans nos échantillons. La richesse taxonomique a donc été recalculée (richesse corrigée) en tenant compte de ces redondances potentielles (Tableau 2).

→ **Au total 80 taxons** (richesse corrigée) **de macroinvertébrés benthiques ont été inventoriés dans l'ensemble des rivières de l'île au cours des campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010.**

→ Parmi ces taxons **seul le taxon Eriopterini (Diptères, Limoniidae) est rencontré en 2010 et n'avait pas été rencontré en 2008 et 2009** (Tableau 2). On notera que l'espèce mentionnée pour la première fois en 2009 sous le nom de *Thiara amarula* était en fait *Thiara scabra* (Identification génétique par Thomas Von Rintelen, Berlin).

→ **Les densités d'individus, déjà nettement plus fortes en 2009 qu'en 2008, sont encore plus fortes en 2010 avec en moyenne 4864 individus au m^2.**

*Tableau 2 : Abondances des différents taxons échantillonnés dans les 42 stations au cours des campagnes d'échantillonnage de 2008, 2009 et 2010, avec : * taxons microinvertébrés benthiques ou pélagiques et ** taxons correspondant à des individus juvéniles ou en mauvais état. Pour les taxons Insectes, les codes taxons, suivis d'un « a » et d'un « n », correspondent respectivement à des individus adultes et des nymphes.*

E/C/O/F	Taxon	Code	2008	2009	2010	Total
Cnidaria	*Hydra* spp.*	CNID	51	762	889	1702
Nematoda	Nematoda*	NEMA	8	57	1	66
Nemertea						
Enopla						
Hoplonemertea						
Tetrastemmatidae	*Prostoma* sp.*	PRSP		747	794	1541
Plathelminthes						
Acoela	Acoela*	ACOE		97	40	137
Turbellaria						
Tricladida						
Dugesiidae	*Dugesia* sp.	DUSP	831	999	957	2787
Annelida						
Hirudinea						
Arhynchobdellida						
Salifidae	*Barbronia weberi*	BWEB	139	158	124	421
Rhynchobdellida						
Glossiphoniidae	*Helobdella europaea*	HEUR	38	25	26	89
Oligochaeta	Oligochaeta	OLIG	2465	8291	13123	23879
Polychaeta	Polychaeta	POLY	1	1		2
Mollusca						
Gastropoda						
Neritopsina						
Neritidae	*Clithon longispina*	CLON	65	30	98	193
	Neritilia consimilis	NCON	202	466	143	811
	Neritina gagates	NGAG	31	34	18	83
	Septaria borbonica	SBOR	223	215	204	642
	Neritidae	NERI	47	49	16	112
Pulmonata						
Ferrissiidae	*Ferrissia modesta*	FMOD	257	591	717	1565
Lymnaeidae	*Lymnaea columella*	LCOL	502	818	414	1734
	Lymnaea natalensis	LNAT	298	780	297	1375
	Lymnaea truncatula	LTRU	151	1313	172	1636
	Lymnaea spp. **	LYSP	2626	4740	3744	11110
Physidae	*Physella acuta*	PACU	4692	8493	6262	19447
Planorbidae	*Afrogyrus rodriguezensis*	AROD	1013	1078	1193	3284
	Helisoma duryi	HDUR	325	322	817	1464
Sorbeoconcha						
Thiaridae	*Melanoides tuberculata*	MTUB	85	24	5	114
	Thiara scabra	TSCA	576	331	269	1176
	Mollusca	MOLL	2175	4289	4205	10669
Arthropoda						
Arachnida						
Acarina	Hydracarina	ACAR	362	465	395	1222
Crustacea						
Amphipoda						
Talitridae	Talitridae	TALI	6	8	3	17
Decapoda						
Atyidae	*Atyoida serrata*	ASER	6	31	2	39
Grapsidae	*Varuna litterata*	VLIT		1		1
Ostracoda	Ostracoda*	OSTR	302	1140	776	2218
Insecta						
Coleoptera						
Dryopidae	Dryopidae	DRYO		1		1
Dytiscidae	*Bidessus* sp.	BISPa			1	1
	Dytiscinae	DYTI	3	2		5
Gyrinidae	*Dineutus* sp.	DISP	60	24	24	108
Hydraenidae	*Hydraena borbonica*	HBORa	1			1
	Sicilicula borbonica	SIBOa	1	2	1	4
	Hydraenidae	HYDRA		1		1

Tableau 2 (suite)

E/C/O/F	Taxon	Code	2008	2009	2010	Total
Hydrophilidae	*Laccobius mascarensis*	LMASa	2	1	5	8
	Laccobius starmüehlneri	LSTAa	1	4	2	7
	Laccobius spp.	LASP	73	100	65	238
		LASPa			1	1
	Sphaeridiinae	SPHAa	2			2
Diptera						
Ceratopogonidae	*Atrichopogon* sp.1	ATSP1	17	33	20	70
	Atrichopogon sp.2	ATSP2	2	3	4	9
	Atrichopogon sp.3	ATSP3		1	4	5
	Atrichopogon spp.	ATSP	2	1		3
	Dasyhelea sp.	DASP	153	4236	854	5243
	Forcipomyia sp.	FOSP	4			4
	Kempia sp.	KESP	15	30	14	59
Chironomidae	Chironomini	CHSP	416	993	3409	4818
	Stenochironomus spp.	STSP		22	31	53
	Orthocladiinae	ORTH	43313	68787	71021	183121
	Tanypodinae	TANY	870	877	1072	2819
	Tanytarsini	TASP	5696	4411	9706	19813
Culicidae	*Anopheles coustani*	ACOU			1	1
	Culicidae	CULI		1		1
Dolichopodidae	Dolichopodidae	DOLI	4	6	7	17
Empididae	Clinocerinae	CLIN	123	157	106	386
	Hemerodromiinae	HEME	186	281	232	699
	Empididae	EMPI	1			1
Ephydridae	Ephydridae sp.1	EPHYsp1	1	2	1	4
	Ephydridae sp.2	EPHYsp2	81	33	50	164
	Hydrellia spp.	HLIA	5			5
Limoniidae	Eriopterini	ERIO			3	3
	Metalimnobia sp.	MESP	17	37	21	75
	Limoniidae	LIMON	1			1
Muscidae	*Limnophora* sp.1	LIMNsp1	88	327	185	600
	Limnophora sp.2	LIMNsp2	5	18	24	47
	Lispe sp.	LISP	3		1	4
Psychodidae	*Clogmia albipunctata*	CALB		1		1
	Psychoda spp.	PSYCsp		8	2	10
	Psychodidae sp.1	PSYCsp1	4	8	5	17
	Tinearia alternata	TALT	3	4	3	10
Sciomyzidae	Sciomyzidae	SCIO		16	1	17
Simuliidae	Simuliidae	SIMU	4330	9264	6459	20053
Tipulidae	*Nephrotoma* spp.	NESP	2	1		3
	Tipula spp.	TISP	1	4	3	8
	Diptera	DIPT	1	5		6
		DIPTn	6338	7515	7025	20878
Ephemeroptera						
Baetidae	*Nigrobaetis colonus*	NCOL	509	322	252	1083
Heteroptera						
Corixidae	Corixidae	CORI		3		3
Mesoveliidae	*Mesovelia vittigera*	MVIT	1			1
Veliidae	*Microvelia bourbonensis*	MBOU	120	16	43	179
	Rhagovelia infernalis	RINF	45	6	17	68
	Veliidae	VELI			1	1
Lepidoptera						
Crambidae	*Eoophyla* sp.	EOSP	133	91	106	330
		EOSPn	52	32	63	147
Odonata						
Aeshnidae	*Anax imperator*	AIMP		1	1	2
	Aeshnidae	AESC		2		2
Corduliidae	*Hemicordulia atrovirens*	HATR	4		1	5
Libellulidae	*Orthetrum* spp.	ORSP	1		3	4
	Trithemis annulata haematina	TANU	3	3	5	11
	Zygonix torridus	ZTOR	3	5	14	22
	Libellulidae	LIBE	46	14	19	79
	Anisoptera	ANIS	5	10	9	24
Coenagrionidae	*Coenagriocnemis reuniense*	CREU	15	37	31	83
	Coenagrionidae	COEN	74	3	5	82

Tableau 2 (suite)

E/C/O/F	Taxon	Code	2008	2009	2010	Total
Planipenna						
Neurothidae	Neurothidae	NEUR	1			1
Trichoptera						
Hydropsychidae	*Hydropsyche mokaensis*	HMOK	16116	14662	15849	46627
		HMOKn	1236	1216	1481	3933
Hydroptilidae	*Hydroptila grucheti*	HGRU	2301	4950	7369	14620
		HGRUn	1680	3699	4508	9887
	Hydroptila kieneri	HKIE	6226	4119	3333	13678
		HKIEn	4178	2661	3084	9923
	Hydroptila spp. **	HYSP	157	1144	1096	2397
		HYSPn	15	7		22
	Hydroptila starmüehlneri	HSTA	2302	2059	1006	5367
		HSTAn	1200	1249	608	3057
	Oxyethira flagellata	OFLA	65	85	80	230
		OFLAn	68	27	39	134
Leptoceridae	*Oecetis* sp.	OESP	23	9	9	41
		OESPn	5		2	7
	Leptoceridae	LEPT	1			1
		LEPTn			1	1
Philopotamidae	*Chimarra bettinae*	CBET	2	3	1	6
	Abondance totale		**115889**	**170007**	**175103**	**460999**
	Abondance benthos		**115528**	**167204**	**172603**	**455335**
	Densité (nombre d'indiv/m^2)		**4024**	**4722**	**4864**	**4573**
	Richesse taxonomique tot [a]		**83**	**83**	**79**	**99**
	Richesse taxonomique corrigée[b]		**70**	**70**	**68**	**80**

[a] richesse surestimée par des redondances dues à des niveaux de détermination taxonomiques hétérogènes.
[b] richesse tenant compte de ces redondances.
Ces deux calculs ne prennent pas en compte les taxons microinvertébrés.

Les taxons les mieux représentés au cours des 3 campagnes d'échantillonnage sont : 1) les Diptères Orthocladiinae, Simulidae (Figure 15) et Tanytarsini ; 2) les Trichoptères *Hydropsyche mokaensis*, *Hydroptila grucheti* et les *H. kieneri* (Figure 16) ; 3) les Gastéropodes *Physella acuta* (Figure 17) et *Lymnaea* spp. ; 4) les Mollusques non indentifiables et 5) les Oligochètes.

Figure 15 : Exemples de Diptères les plus abondants : Orthocladiinae (à gauche) et Simuliidae (à droite).

Figure 16 : Trichoptères les plus abondants : Hydropsyche mokaensis *(en haut),* Hydroptila kieneri *(en bas à droite) et* H. grucheti *(en bas à gauche).*

Figure 17 : Gastéropode le plus abondant : Physella acuta.

Les 3 campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010, permettent de détecter 4 groupes de taxons en fonction de l'évolution temporelle de leurs effectifs.

- Les taxons dont les effectifs augmentent au cours des 3 années : les Diptères Orthocladiinae, Chironomini et Tanypodinae, les Gastéropodes *Ferrissia modesta* et *Afrogyrus rodriguezensis* et les *Hydroptila grucheti* de manière spectaculaire (3981 larves + nymphes en 2008 contre 11877 en 2010).
- Les taxons dont les effectifs avaient augmenté nettement en 2009 mais qui diminuent en 2010 : les 3 espèces de *Lymnea*, *Physella acuta*, *Neritilia consimilis*, *Dasyhelea* sp., *Limnophora* sp.1 et Simuliidae.
- Les taxons dont les effectifs diminuent : *Thiara scabra*, *Nigrobaetis colonus*, *Hydroptila kieneri* et *Hydroptila starmüehlneri*.
- Les taxons dont la variation des effectifs ne présente pas de tendance claire.

2.2.2 Répartition géographique

Les distributions géographiques des différents taxons sont assez homogènes pour les trois campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010 (Annexe 6).

En fonction de leur aire de distribution, deux groupes de taxons peuvent être distingués :

- des taxons présentant une **large distribution géographique,** tels que *Lymnaea natalensis*, *Afrogyrus rodriguezensis*, *Physella acuta*, *Hydroptila grucheti*, *Hydropsyche mokaensis*, *Dasyhelea* sp., Tanytarsini, Orthocladiinae ou Simuliidae. Ces taxons se retrouvent dans de nombreuses ou toutes les stations échantillonnées au cours des trois campagnes d'échantillonnage (Figure 18 pour quatre exemples et Annexe 6).

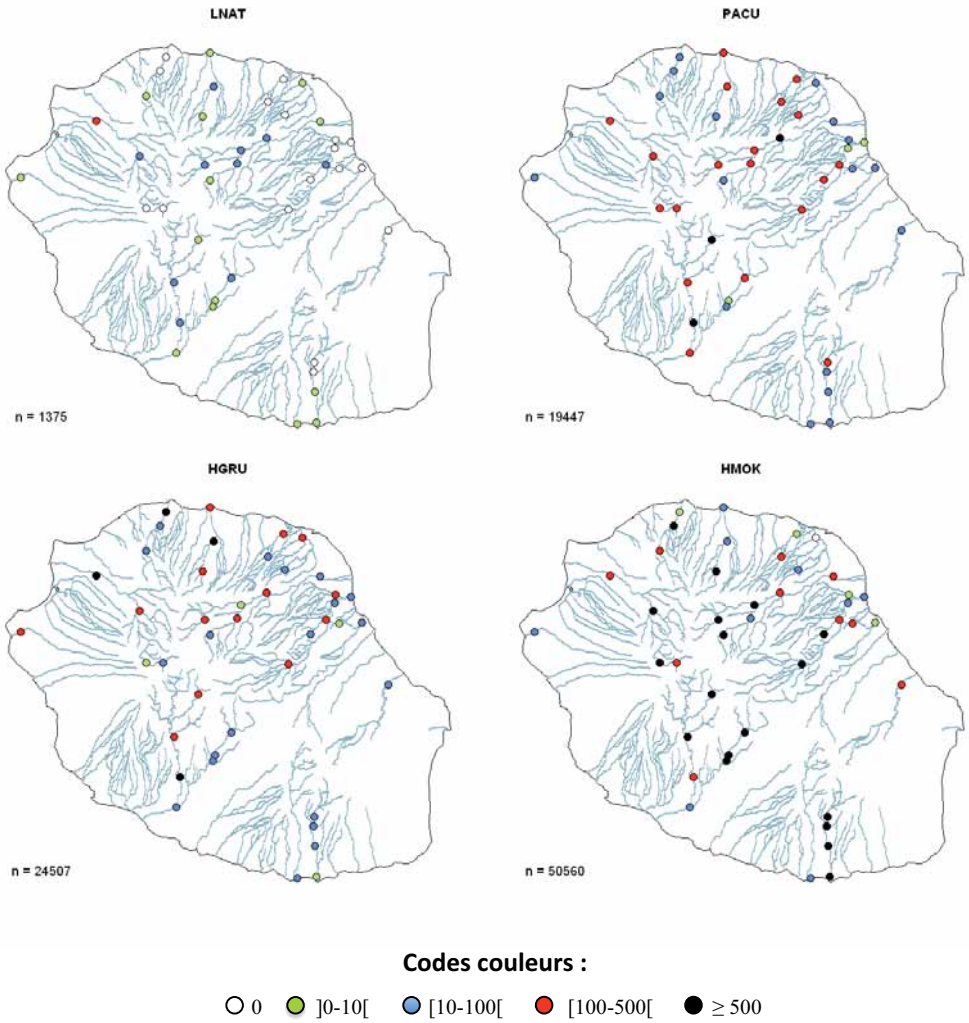


Figure 18 : Distribution des individus de Lymnaea natalensis *(LNAT),* Physella acuta *(PACU),* Hydroptila grucheti *(HGRU) et* Hydropsyche mokaensis (HMOK) *dans les 42 stations échantillonnées au cours des trois campagnes d'échantillonnage. Les 5 classes de densités (nombre d'individus/m², moyenne des 3 campagnes) sont représentées par 5 codes couleurs.*

- des taxons présentant **une distribution localisée** :
  - la distribution des Gastéropodes tels que *Clithon longispina*, *Neritilia consimilis*, *Neritina gagates*, *Septaria borbonica*, *Melanoides tuberculata* ou *Thiara scabra* est restreinte aux portions aval des cours d'eau, près des embouchures. De plus, ces espèces ne se rencontrent que dans le tiers nord de l'île, exceptée *Septaria borbonica* présente dans la Rivière des Remparts (Figure 19 et Annexe 6).

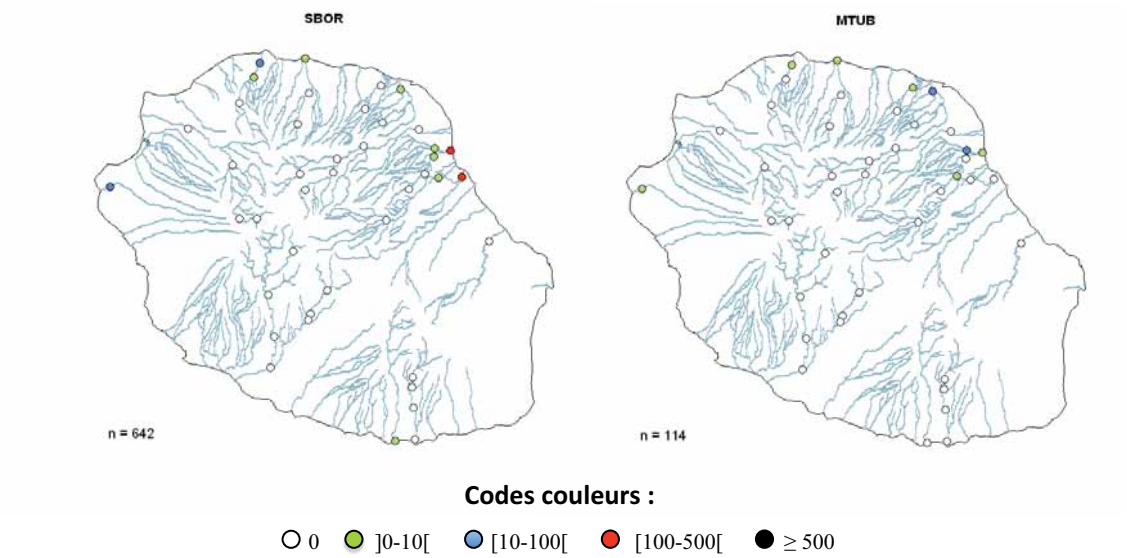


Figure 19 : Distribution des individus de Septaria borbonica (SBOR) *et de* Melanoides tuberculata (MTUB) *dans les 42 stations échantillonnées au cours des trois campagnes d'échantillonnage. Les 5 classes de densités (nombre d'individus/m², moyenne des 3 campagnes) sont représentées par 5 codes couleurs.*

  - Les Coléoptères du genre *Laccobius* ne se rencontrent que dans la moitié Nord-Ouest de l'île.
  - Les individus de Chironomini et *Oxyethira flagellata* sont plus abondants au Nord de l'île qu'au Sud.
  - Certaines espèces comme *Lymnaea truncatula* sont plus abondantes dans les cirques (Figure 20).
  - Enfin, certains taxons ne se rencontrent jamais (e.g. *Hydroptila starmüehlneri* (Figure 20), *Metalimnobia* sp. ou *Coenagriocnemis reuniense*) ou très rarement (*Atrichopogon* sp.1, *Kempia* sp., Hemerodromiinae, Ephydridae sp. 2, *Limnophora* sp.1, *Hydroptila kieneri* ou Clinocerinae) dans les cours inférieurs des rivières (Annexe 6).

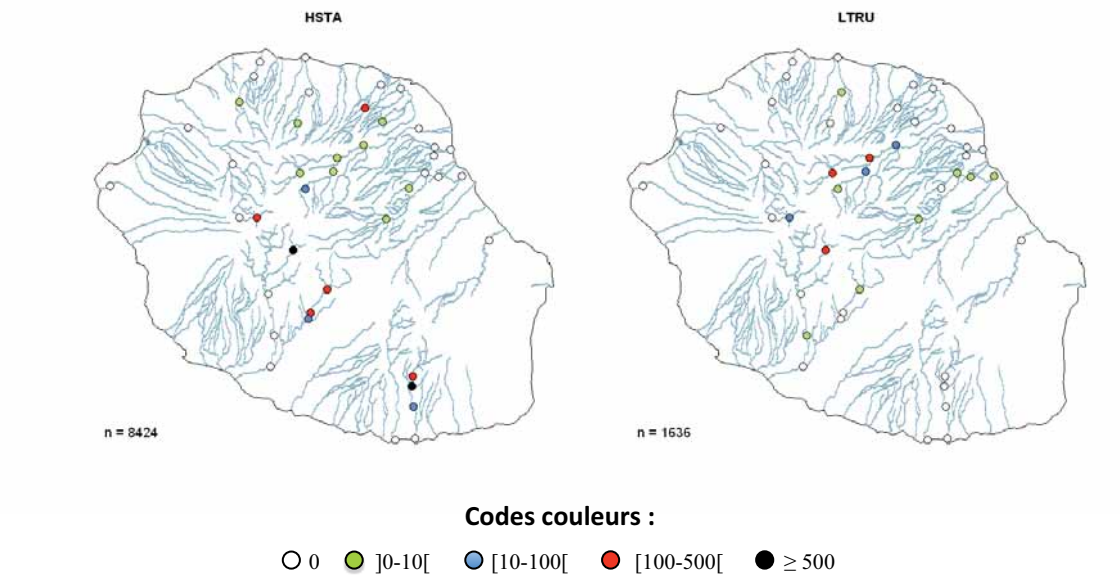


*Figure 20 : Distribution des individus d'*Hydroptila starmüehlneri *(HSTA) et de* Lymnaea truncatula *(LTRU) dans les 42 stations échantillonnées au cours des trois campagnes d'échantillonnage. Les 5 classes de densités (nombre d'individus/m², moyenne des 3 campagnes) sont représentées par 5 codes couleurs.*

2.2.3 Identification taxonomique

Parmi l'ensemble des taxons présents dans les cours d'eau de l'île en 2008, 2009 et 2010, **64% ont été identifiés au niveau spécifique ou générique dont 39% au niveau de l'espèce** (Tableau 3). **Les groupes qui posent le moins de problème d'identification sont les Mollusques** (81% des taxons déterminés à l'espèce, Tableau 3), **les Trichoptères** (67% à l'espèce et 22% au genre) et **les Éphéméroptères** représentés par une seule espèce en milieu lotique, facilement identifiable (Figure 21).

Tableau 3 : Nombre (N) et pourcentages de taxons déterminés à l'espèce et au genre pour les différents groupes rencontrés au cours des trois campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010.

	Groupes	N Taxons	Espèce (%)	Genre (%)
Plathelminthes	**Planaria**	1	0	100
Annelida	**Hirudinea**	2	100	0
	Oligocheta	1	0	0
	Polycheta	1	0	0
Mollusca		16	81.3	6.3
Hydracarina		1	0	0
Crustacea		3	66.6	0
Insecta	**Coleoptera**	11	36.4	18.2
	Diptera	36	8.3	44.4
	Ephemeroptera	1	100	0
	Héteroptera	5	60	0
	Lepidoptera	1	0	100
	Odonata	10	50	10
	Planipenna	1	0	0
	Trichoptera	9	66.7	22.2
Richesse taxonomique		**99**	39.4	24.2

Figure 21 : Nigrobaetis colonus *(Ephéméroptère, Baetidae).*

Les Coléoptères à l'état larvaire, et surtout les Diptères, sont les groupes pour lesquels l'identification reste la plus problématique.

Même si globalement, 60% des taxons Odonates ont pu être identifiés au moins au genre, seules les larves de derniers stades sont concernées par ce niveau taxonomique (Figure 22) et l'identification des premiers stades larvaires reste très difficile même pour un spécialiste du groupe (*com. pers*. Daniel Grand).

Figure 22 : Zygonix torridus *(Odonate, Libellulidae)*

Les caractères morphologiques utilisés pour la détermination de ces 99 taxons sont présentés dans le nouvel Atlas des macroinvertébrés de l'île de la Réunion, réalisé dans le cadre de ce programme de recherche.

2.2.4 Richesse taxonomique : quels paramètres explicatifs ?

2.2.4.1 Calibration de l'échantillonnage

Pour rappel, cette opération avait pour but de déterminer le nombre d'échantillons nécessaires à l'échelle d'une station pour obtenir une richesse taxonomique représentative dans les différents cours d'eau de la Réunion. Dans les 6 stations choisies pour calibrer l'échantillonnage, le nombre de taxons échantillonnés au cours des 3 campagnes d'échantillonnage varie entre 20 (MAT4) et 38 (Grand Bassin, PLA1) (Tableau 4). Lorsque les données des trois campagnes d'échantillonnage sont regroupées, les courbes de raréfaction montrent une augmentation rapide du nombre de taxons estimé en fonction de l'effort d'échantillonnage (Figure 23).

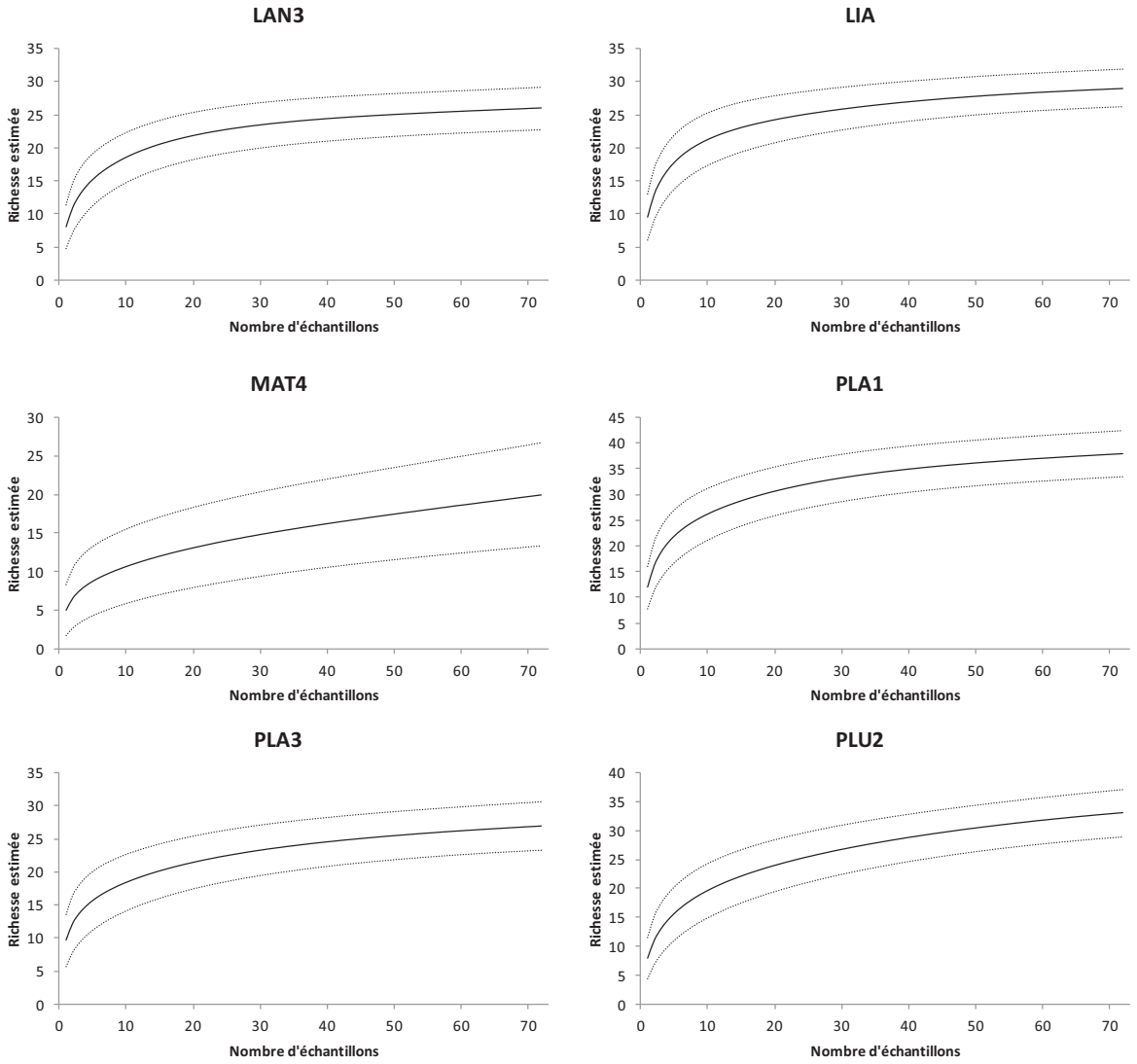


Figure 23 : Courbes de raréfaction estimant le nombre de taxons échantillonnés en fonction de l'effort d'échantillonnage dans les 6 stations choisies pour calibrer l'échantillonnage (campagnes 2008, 2009 et 2010). Les intervalles de confiances à 95% (limites inférieure et supérieure) sont donnés en pointillé

Entre 50% (MAT4) et 70% (LIA) des taxons présents (collectés dans chacune de ces stations au cours des 3 campagnes) sont échantillonnés avec un effort d'échantillonnage de 8 prélèvements. Ce pourcentage augmente jusqu'à 76% (LIA) mais reste faible pour MAT4 (56%) lorsque l'effort d'échantillonnage est de 12 prélèvements (Tableau 4).

Tableau 4 : Richesses taxonomiques et pourcentages estimés de taxons récoltés pour un effort d'échantillonnage de 8 ou 12 relevés dans les 6 stations choisies pour calibrer l'échantillonnage (campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 & 2010).

		Effort d'échantillonnage	
Stations	**N Taxons Tot**	**8**	**12**
PLU2	33	55	63
LIA	29	70	76
MAT4	20	50	56
LAN3	26	67	75
PLA1	38	65	72
PLA3	27	65	71
	moy	**62**	**69**

Ces pourcentages ne sont globalement pas très élevés et ces résultats soulignent une variabilité inter-annuelle de la richesse taxonomique dans ces différentes stations. Un taxon peut être absent d'une station au cours d'une campagne d'échantillonnage, soit parce qu'il est rare et que notre échantillonnage ne permet pas de le récolter à chaque campagne d'échantillonnage, soit parce qu'il présente des fluctuations d'effectifs d'une année sur l'autre.

→ Ces résultats montrent qu'un échantillonnage sur plusieurs années est nécessaire pour inventorier le pool d'espèce d'une station donnée.

Dans le cadre du développement d'un outil de bio-indication, il est important d'évaluer l'effort d'échantillonnage d'une station donnée à un moment donné et non en regroupant les données de plusieurs années. Aussi, quelle que soit l'année considérée, pour les 6 stations, les courbes de raréfaction montrent une augmentation rapide du nombre de taxons estimé en fonction de l'effort d'échantillonnage (*cf.* Annexe 7). En moyenne, 78, 76 et 79% des taxons présents (collectés dans chacune de ces stations) sont échantillonnés avec un effort d'échantillonnage de 8 prélèvements au cours des années 2008, 2009 et 2010 respectivement. Ce pourcentage augmente à plus de 80% lorsque l'effort d'échantillonnage est de 12 prélèvements (Tableau 5, 6 & 7).

Tableau 5 : Richesses taxonomiques et pourcentages estimés de taxons récoltés pour un effort d'échantillonnage de 8 ou 12 relevés dans les 6 stations choisies pour calibrer l'échantillonnage (campagne d'échantillonnage 2008).

		Effort d'échantillonnage	
Stations	**N Taxons Tot**	**8**	**12**
PLU2	14	83	89
LIA	25	82	88
MAT4	15	65	76
LAN3	22	81	90
PLA1	29	75	83
PLA3	16	82	89
	moy	**78**	**86**

Tableau 6 : Richesses taxonomiques et pourcentages estimés de taxons récoltés pour un effort d'échantillonnage de 8 ou 12 relevés dans les 6 stations choisies pour calibrer l'échantillonnage (campagne d'échantillonnage 2009).

		Effort d'échantillonnage	
Stations	**N Taxons Tot**	**8**	**12**
PLU2	24	74	83
LIA	24	77	85
MAT4	14	73	81
LAN3	20	76	84
PLA1	30	75	83
PLA3	20	82	88
	moy	**76**	**84**

Tableau 7 : Richesses taxonomiques et pourcentages estimés de taxons récoltés pour un effort d'échantillonnage de 8 ou 12 relevés dans les 6 stations choisies pour calibrer l'échantillonnage (campagne d'échantillonnage 2010).

		Effort d'échantillonnage	
Stations	**N Taxons Tot**	**8**	**12**
PLU2	26	76	86
LIA	25	78	86
MAT4	12	75	83
LAN3	23	78	86
PLA1	31	83	90
PLA3	24	84	91
	moy	**79**	**87**

→ Ces résultats confortent l'hypothèse que **12 prélèvements répartis au hasard permettent d'échantillonner une proportion très importante du pool taxonomique dans une station donnée à un moment donné**.

2.2.4.2 Variabilité spatio-temporelle de la richesse taxonomique

Échelle du bassin versant et de la rivière

Les différences de richesses taxonomiques observées entre les bassins versants sont en partie expliquées par les différences de taille de ces bassins et donc de l'effort d'échantillonnage au cours des différentes campagnes. En règle générale, le nombre de taxons est plus important dans les bassins versants de grande taille. Ainsi, le bassin versant de la Rivière du Mât, avec 7 stations échantillonnées et 55 taxons répertoriés, présente la richesse taxonomique la plus forte (Figure 24).

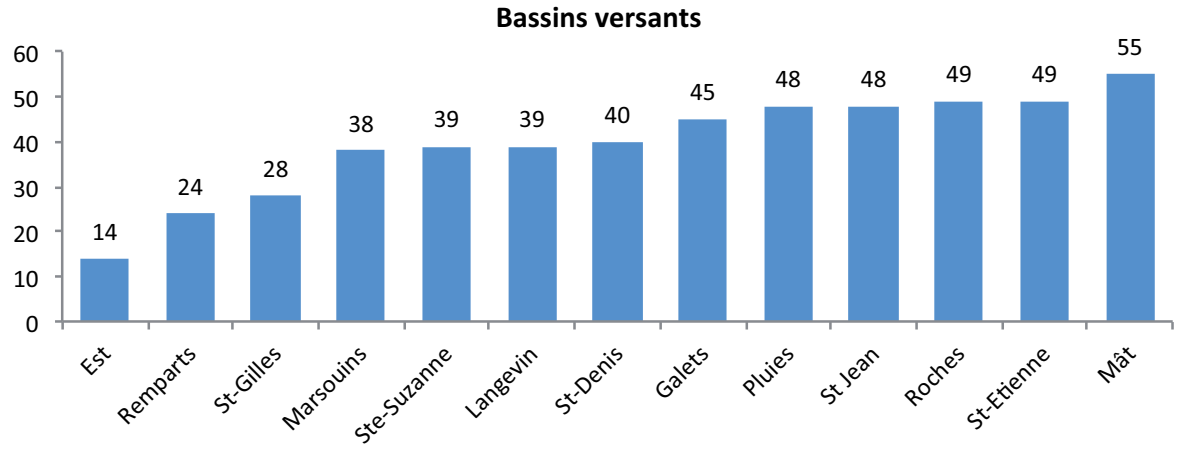


Figure 24 : Richesse taxonomique des différents bassins versants échantillonnés au cours des 3 campagnes (2008, 2009 et 2010).

Cependant, la richesse taxonomique particulièrement importante des petits bassins versants des rivières Ste-Suzanne (39 taxons) ou St-Jean (48 taxons) prouve que d'autres paramètres, tels que la diversité et/ou la qualité de l'habitat, expliquent aussi la présence ou l'absence de certains taxons. De même, le faible nombre de taxons recensés dans les bassins versants de grande taille des rivières de l'Est (14 taxons) ou des Remparts (24 taxons) est, certes expliqué par l'effort d'échantillonnage limité (une seule station), mais probablement aussi par les perturbations hydro-morphologiques (Est) ou par la mauvaise qualité de l'eau (Remparts) dans ces bassins versants (Figure 24).

De même, le nombre de taxons n'est pas forcément corrélé à la taille des rivières. Par exemple, le nombre de taxons recensés est plus important dans des petits cours d'eau tels que la Rivière St-Jean (48 taxons) que dans la grande Rivière du Mât (43 taxons). D'autres paramètres, tels que la diversité et/ou la qualité de l'habitat, expliquent donc aussi la présence ou l'absence de certains taxons à l'échelle du cours d'eau (Figure 25).

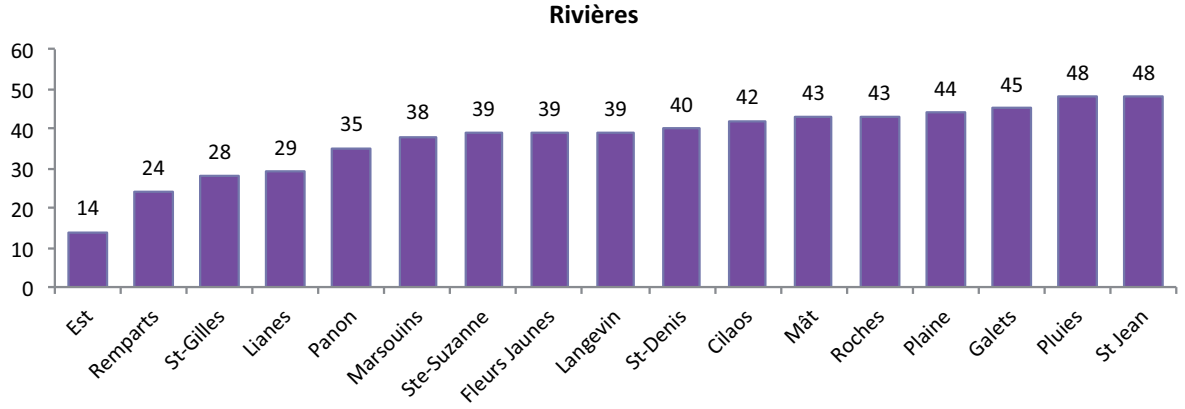


Figure 25 : Richesse taxonomique dans les différentes rivières échantillonnées au cours des 3 campagnes (2008, 2009 et 2010). Avec : Plaine = stations Grand Bassin, Bras de la Plaine et aval Rivière de St-Etienne ; Cilaos = stations des Bras de Cilaos et de Benjoin.

La richesse taxonomique présente une variabilité inter annuelle plus ou moins marquée selon les rivières échantillonnées. Par exemple, la richesse taxonomique est stable autour de 30 taxons pour les 3 années dans la Rivière des Marsouins. Par contre, 35 et 38 taxons sont rencontrés dans la Rivière des Pluies en 2009 et 2010 respectivement alors que 27 taxons avaient été récoltés en 2008. De même, dans le Bras Panon en 2009, seuls 17 taxons étaient rencontrés en 2009 contre 25 en 2008 et 2010 (Tableau 8).

Tableau 8 : Richesses taxonomiques pour chaque bassin versant, chaque rivière et chacune des 42 stations échantillonnées en 2008, 2009 et 2010. Les richesses pour les années 2008 ou 2009 peuvent être sensiblement différentes de celles présentées dans les rapports précédents (Mérigoux et al., 2009[12], Mérigoux et al., 2010[13]) suite aux progrès réalisés en systématique en 2010.

	Richesse				Richesse				Richesse		
Bassins versants	**2008**	**2009**	**2010**	**Rivières**	**2008**	**2009**	**2010**	**Sations**	**2008**	**2009**	**2010**
Rivière St-Denis	29	32	30	Rivière St-Denis	29	32	30	SDE1	20	21	20
								SDE2	18	21	23
								SDE3	12	20	16
Rivière des Pluies	25	35	38	Rivière des Pluies	25	35	38	PLU1	17	22	24
								PLU2	14	24	26
								PLU3	15	19	19
Rivière Ste-Suzanne	36	29	27	Rivière Ste-Suzanne	36	29	27	SSU1	23	25	22
								SSU2	27	17	19
Grande Rivière St-Jean	34	37	30	Grande Rivière St-Jean	34	37	30	SJE1	23	28	21
								SJE2	25	21	21
Rivière du Mât	45	43	39	Rivière du Mât	35	31	28	MAT1	18	18	19
								MAT2	18	24	19
								MAT3	24	21	19
								MAT4	15	14	12
				Fleurs Jaunes	28	29	25	FJA1	23	25	23
								FJA2	18	18	14
				Bras des Lianes	25	24	25	LIA	25	24	25
Rivière des Roches	37	33	34	Rivière des Roches	35	30	27	ROC1	24	20	19
								ROC2	18	17	18
								ROC3	20	19	14
				Bras Panon	25	17	25	PAN2	25	17	25
Rivière des Marsouins	30	31	31	Rivière des Marsouins	30	31	31	MAR2	21	23	23
								MAR3	18	13	19
								MAR4	15	18	15
Rivière de l'Est	11	7	12	Rivière de l'Est	11	7	12	EST	11	7	12
Rivière Langevin	33	27	31	Rivière Langevin	33	27	31	LAN1	22	18	20
								LAN2	21	15	17
								LAN3	22	20	23
								LAN4	14	17	12
Rivière des Remparts	15	13	16	Rivière des Remparts	15	13	16	REM	15	13	16
Rivière St-Etienne	41	43	39	Bras de Benjoin	27	29	20	BEN	27	29	20
				Grand bras de Cilaos	19	24	22	CIL1	17	20	16
								CIL2	15	18	18
				Bras de Ste-Suzanne	29	30	31	PLA1	29	30	31
				Bras de la Plaine	16	22	28	PLA2	13	15	20
								PLA3	16	20	24
				Rivière St-Etienne	15	15	18	SET	15	15	18
Ravine St-Gilles	21	21	23	Ravine St-Gilles	21	21	23	SGI	21	21	23
Rivière des Galets	33	40	35	Rivière des Galets	33	40	35	GAL1	20	21	21
								GAL2	18	23	19
								GAL3	21	17	19
								GAL4	17	18	18

[12] Mérigoux S., Olivier J.M., Lagarde M. & Forcellini M. Septembre 2009. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de la Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques. Convention CNRS-OLE. 128 pp.

[13] Mérigoux S., Olivier J.M., Forcellini M. & Mathieu C. Septembre 2010. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de la Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques. Convention CNRS-OLE. 181 pp.

Échelle de la station

Les valeurs de richesses taxonomiques des stations le long du gradient amont-aval diffèrent fortement d'un bassin versant à l'autre (Tableau 8 et Annexe 8). Globalement, la richesse taxonomique ne présente pas de gradient amont-aval.

Cependant, dans la plupart des rivières, le nombre de taxons Insectes diminue de l'amont vers l'aval alors que le nombre de taxons Mollusques augmente (Figure 26 pour l'exemple de la Rivière des Pluies).

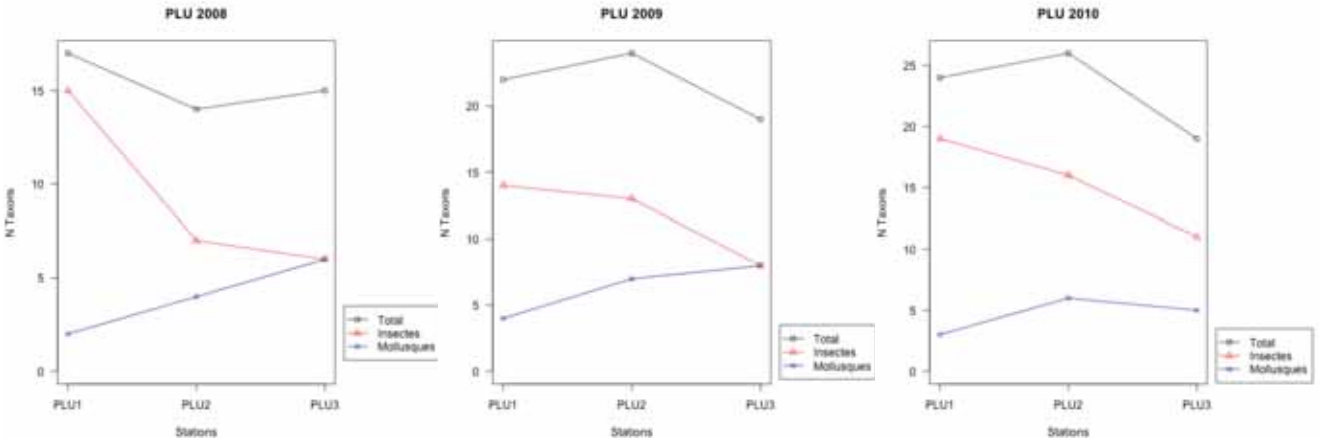


Figure 26 : Richesses taxonomiques (N taxons) sur le gradient amont-aval de la Rivière des Pluies pour les 3 campagnes d'échantillonnage (PLU1 = amont et PLU3 = aval).

Dans certaines rivières (e.g. St-Jean et Langevin), ce gradient amont-aval de taxons Insectes et Mollusques n'est pas toujours clair selon les années (Figure 27, exemple de la Rivière Langevin avec un gradient clair uniquement en 2008).

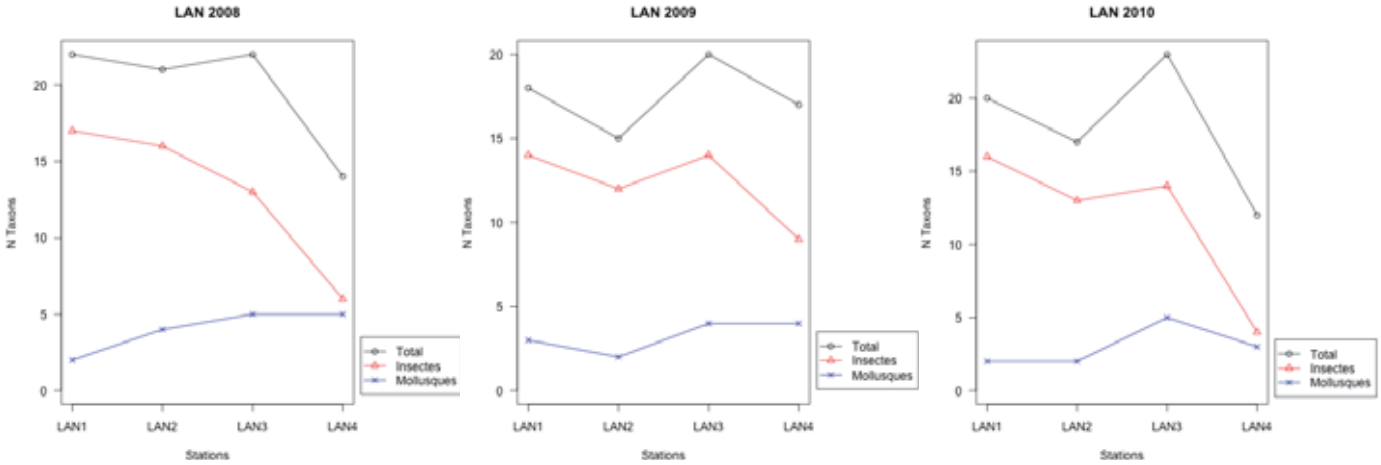


Figure 27 : Richesses taxonomiques (N taxons) sur le gradient amont-aval de la Rivière Langevin pour les 3 campagnes d'échantillonnage (LAN1 = amont et LAN4 = aval).

Enfin, certaines rivières (*e.g.* Galets, Mât ou Bras de la Plaine) ne présentent jamais ce gradient amont-aval quelle que soit la campagne d'échantillonnage considérée (Figure 28).

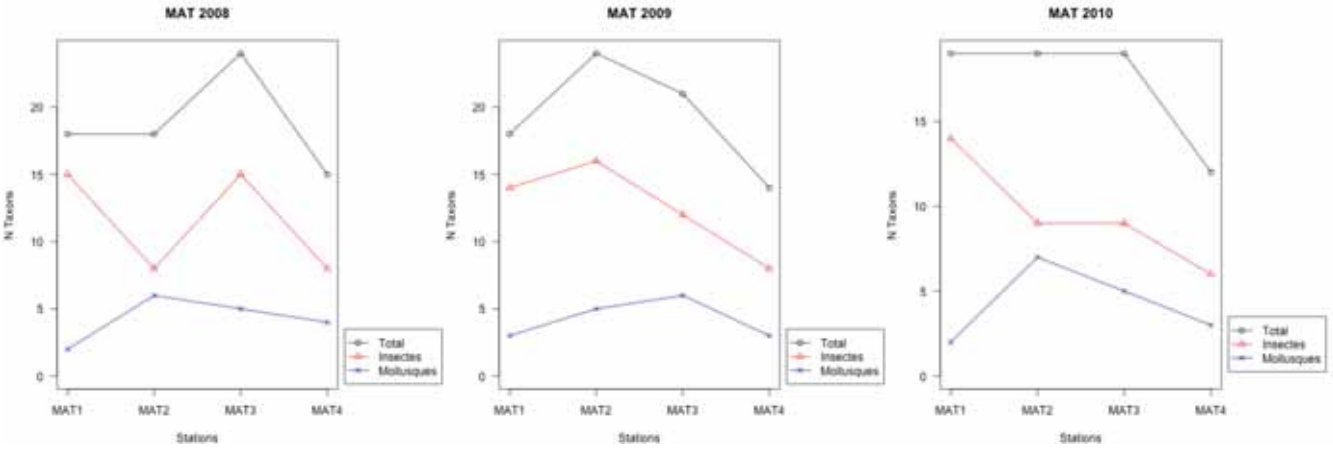


Figure 28: Richesses taxonomiques (N taxons) sur le gradient amont-aval de la Rivière du Mât pour les 3 campagnes d'échantillonnage (MAT1 = amont et MAT4 = aval).

De plus, la richesse taxonomique à l'échelle de la station peut présenter une variabilité temporelle plus ou moins forte (Tableau 8). Le cas extrême étant la station PLU2 (Ilet Quinquina) de la Rivière des Pluies avec 14 taxons inventoriés en 2008, 24 en 2009 et 26 en 2010.

Conclusions :

→ Les **valeurs de richesses taxonomiques des stations le long du gradient amont-aval diffèrent fortement d'une rivière à l'autre**.

→ On observe **trois cas de figures** :

- les rivières dans lesquelles, de l'amont vers l'aval, la richesse taxonomique en Insectes diminue et celle en Mollusques augmente, sans variabilité inter-annuelle marquée de ce gradient.
- les rivières dans lesquelles ce gradient de richesse en taxons Insectes et Mollusques varie d'une campagne à l'autre.
- les rivières qui ne présentent aucun gradient amont-aval

→ Quel que soit le cas de figure, **le nombre de taxons est globalement plus important dans les têtes de bassins que près des embouchures.**

→ Les **valeurs de richesses taxonomiques des stations montrent une variabilité inter-annuelle plus ou moins marquée selon les rivières.**

Ces résultats montrent que le gradient amont-aval seul ne peut pas expliquer la structure spatiale des communautés d'invertébrés aquatiques de la Réunion. L'analyse simultanée de paramètres physiques et physico-chimiques à l'échelle de la station et du relevé (paramètres hydrauliques) doivent être pris en compte pour comprendre la distribution spatiale des macroinvertébrés benthiques.

2.2.5 Typologie faunistique des rivières de l'île de la Réunion

Afin de mettre en évidence l'existence potentielle **d'une structure spatiale et temporelle** des communautés de macroinvertébrés des rivières de l'île de la Réunion, nous avons étudié la composition faunistique des 17 cours d'eau à l'aide d'analyses en composantes principales (ACP).

L'analyse inter- et intra-classes de l'ACP nous a permis :

- dans le premier cas, **de comparer** (comparaison de moyennes) **les distributions d'invertébrés entre les classes** (rivières, classes d'altitudes, types de cours d'eau ou masses d'eau)
- et dans le second cas, **d'analyser les variations de ces distributions au sein de chacune de ces classes** (analyse des écarts à la moyenne).

→Les objectifs de l'analyse étaient donc de mettre en évidence **l'existence potentielle d'une structure spatiale des communautés d'invertébrés, de comparer ces structures d'une classe à l'autre et d'évaluer la constance de cette structure au cours des 3 campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010.**

Les taxons dont le niveau de détermination restait imprécis (Ordre ou Classe) ont été supprimés des analyses. Il s'agit des taxons Mollusques, Hydracariens, Oligochètes, Polychètes et Diptères (Tableau 2). Dans les 6 stations de calibration (*cf.* 1.4 Calibration de l'échantillonnage), 24 échantillons ont été réalisés au cours de chacune des 3 campagnes d'échantillonnage. Afin d'homogénéiser ce nombre d'échantillons avec celui des autres stations (12 à chaque campagne), les échantillons pairs de ces stations de calibration ont été supprimés. De plus, si l'abondance d'un taxon était inférieure ou égale à 3 individus dans l'ensemble des prélèvements, le taxon n'a pas été conservé pour les analyses. Enfin, le taxon Aeshnidae (2 individus) n'a pas été supprimé mais regroupé au taxon Anisoptera, niveau taxonomique supérieur et le taxon *Stenochironomus* spp. a été regroupé au taxon Chironomini afin d'homogénéiser le niveau de détermination entre les 3 campagnes d'échantillonnage. Ainsi, **72 taxons** parmi les 99 taxons répertoriés sur l'île au cours des campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010, ont été considérés pour les analyses multivariées.
Les ACP inter- et intra-classes ont donc été réalisées sur un tableau de données comportant 72 colonnes (**72 taxons**) et 126 lignes (**42 sites * 3 campagnes d'échantillonnage**). Les données ont été transformées en ln (abondance +1) afin de réduire, dans les analyses, le poids des taxons très abondants.

2.2.5.1 Analyse inter-rivières

L'analyse inter-rivières explique **41% de la variabilité spatiale** du jeu de données. Les tests de permutations montrent que cet effet rivière est très significatif. Les rivières présentant des coordonnées factorielles positives sur l'axe F1, telles que les rivières de Bras Panon, St-Jean, St-Gilles, Roches, Ste-Suzanne, Marsouins ou St-Denis sont caractérisées par une bonne représentation de taxons tels que *Dugesia* sp., *Afrogyrus rodriguezensis*, *Thiara scabra*, *Ferrissia modesta*, Chironomini et/ou *Septaria borbonica* (Figure 29). A l'opposé, les rivières telles que Cilaos, Galets, Bras de la Plaine, Fleurs Jaunes ou Mât sont caractérisées par une bonne représentation des taxons *Hydropsyche mokaensis*, Tanypodinae, Orthocladiinae, *Lymnaea natalensis*, *Lymnaea* spp. et/ou *Physella acuta*. Les taxons *Hydroptila kieneri*, *Hydroptila starmüehlneri*, *Helisoma duryi*, *Hydropsyche mokaensis*, Hemerodromiinae et/ou *Nigrobaetis colonus* sont bien représentés dans les rivières Langevin, Est et Bras de la Plaine (coordonnées positives sur le F2). A l'opposé, *Lymnaea* spp., *Physella*

acuta, Simuliidae, *Hydroptila grucheti* et/ou Chironomini sont les taxons les mieux représentés dans les rivières Fleurs Jaunes, St-Jean, des Galets et Cilaos.

Cette analyse montre une très grande variabilité spatiale intra-rivières de la composition faunistique. Par exemple, les peuplements des stations Grand Bassin (PLA1) et Bras de la Plaine (PLA2 & PLA3) sont assez semblables avec un fort pourcentage d'Orthocladiinae, d'*Hydropsyche mokaensis* et d'*Hydroptila kieneri* (plus de 30% dans les 3 stations) alors que pour la station SET, même si les Orthocladiinae sont bien représentés (43%), le peuplement est plus caractérisé par les taxons Simuliidae, *Physella acuta* et *Hydroptila grucheti* (26, 13 et 6%). La composition faunistique peut aussi, dans certains rares cas, varier fortement temporellement (e.g. ROC1 *cf.* Figure 29).

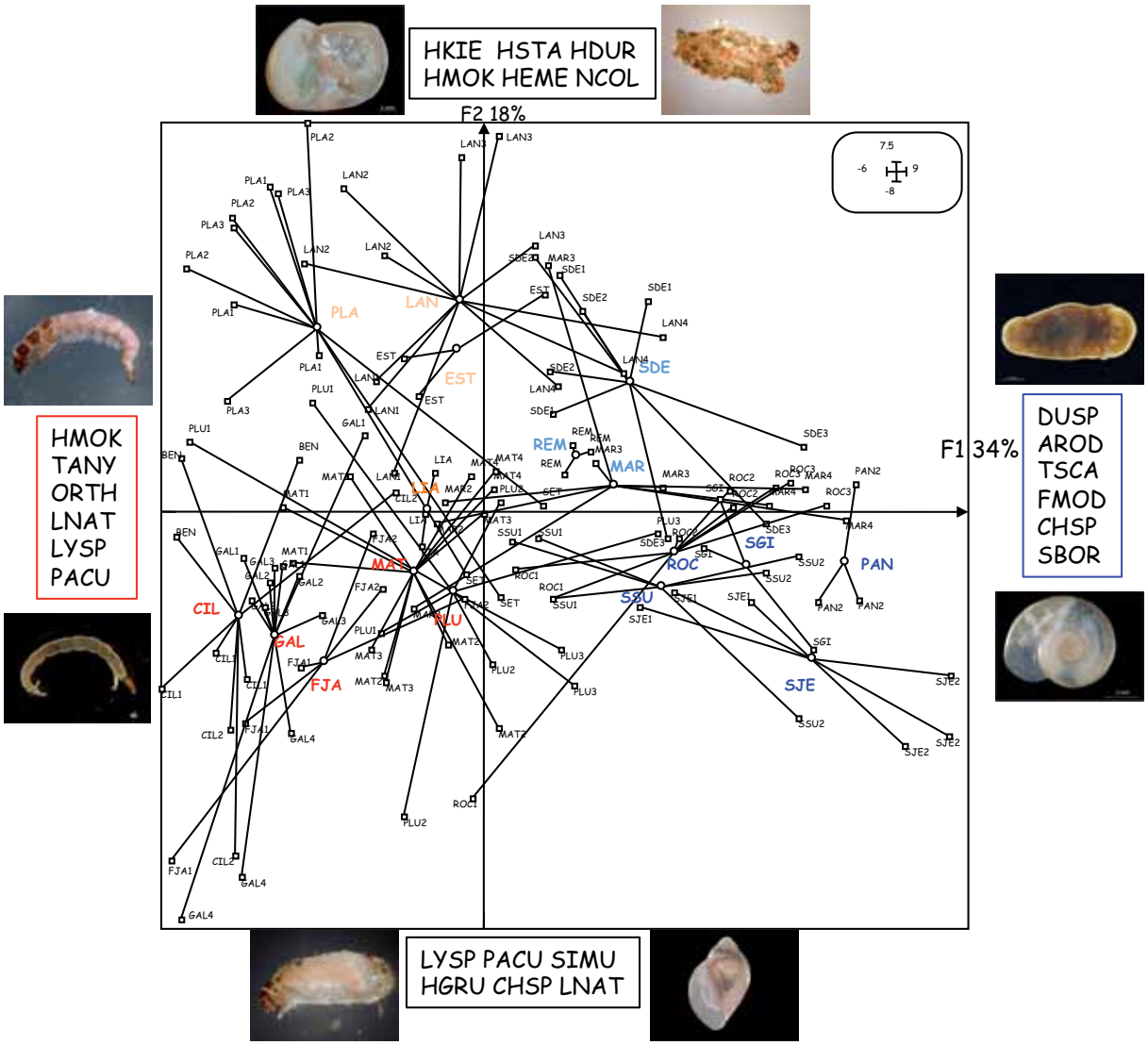


Figure 29 : Position moyenne (ronds blancs) des 17 rivières pérennes de l'île de la Réunion et position des stations pour les 3 années 2008, 2009 et 2010 sur le plan F1-F2 de l'ACP inter-rivières. Les taxons les plus structurants sur chacun des axes sont mentionnés (pour les codes, cf. Tableau 2). L'annexe 9 présente la position des 72 taxons sur les axes F1 et F2. Les codes couleurs représentent des groupes de stations faunistiquement proches.

2.2.5.2 Analyse intra-rivières

L'analyse intra-rivières explique **61% de la variabilité spatiale** du jeu de données. Ce fort pourcentage met en évidence **une structure spatiale des communautés dans les 17 rivières étudiées**. La structure spatiale observée est cependant différente d'une rivière à l'autre. Ainsi, l'analyse de la position moyenne des stations sur l'axe F1 permet de distinguer deux groupes de rivières (Figure 30) :

- Un groupe de rivières dans lesquelles la composition faunistique ne varie pas de l'amont vers l'aval (e.g. rivières des Galets et du Mât).

- Un groupe de rivières dans lesquelles au contraire la composition faunistique varie de l'amont vers l'aval.
  - -Le gradient est bien marqué pour les rivières de :
    - Cilaos (BEN, CIL1 et CIL2)
    - Langevin
    - Marsouins
    - Bras de la Plaine (Grand Bassin et les 3 stations du Bras de la Plaine)
    - Pluies
    - Roches (sauf en 2009)
    - Saint-Denis
    - Sainte-Suzanne
  - -Le gradient amont-aval est moins net pour les rivières de :
    - Fleurs Jaunes
    - Saint-Jean

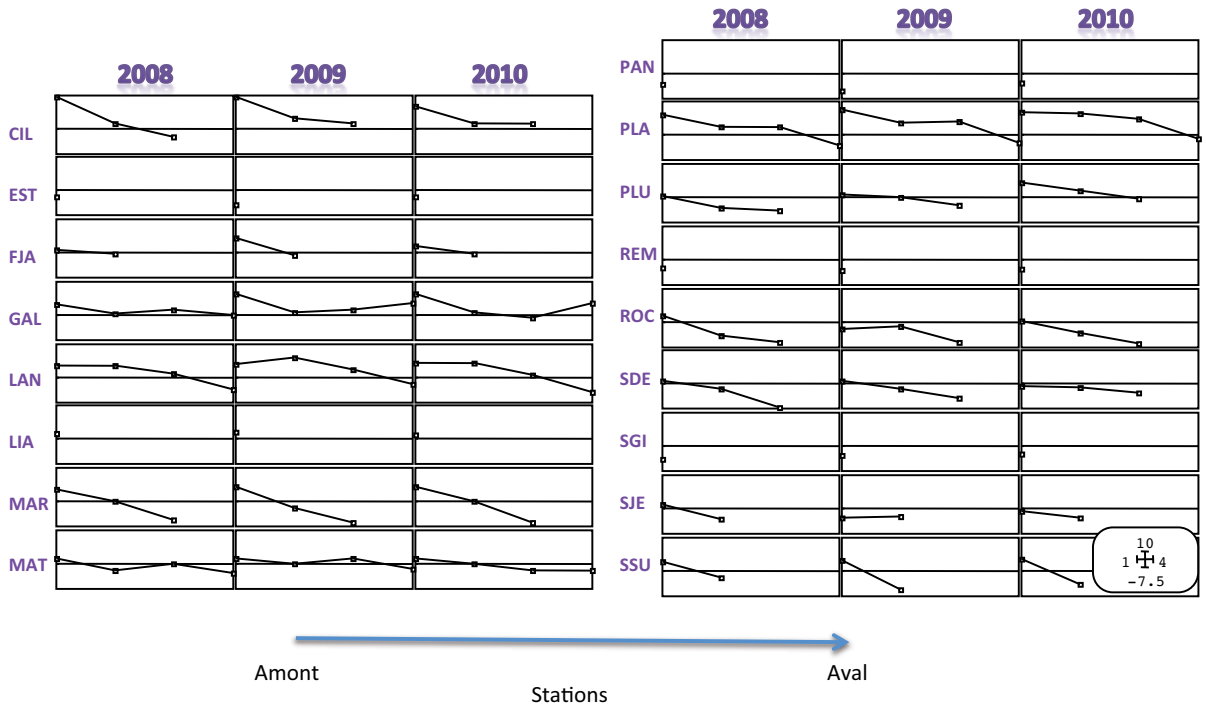


Figure 30 : Coordonnées factorielles moyennes des stations sur l'axe F1 (axe des ordonnées) de l'ACP intra-rivières sur le gradient amont-aval. Pour chaque rivière, le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives, en dessous, elles sont négatives.

Rivières sans gradient amont-aval

Dans la Rivière des Galets, malgré une nette diminution du pourcentage d'Orthocladiinae de l'amont vers l'aval (avec 70, 59, 48 et 38 % dans les 4 stations respectivement de l'amont vers l'aval, Annexe 10) aucun gradient amont-aval ne s'observe sur l'axe F1. Les deux stations amont (GAL1) et aval (GAL4) présentent globalement des coordonnées moyennes positives sur le F1 (exceptée GAL4 en 2008), expliquées par une bonne représentation des taxons *Hydroptila starmüehlneri*, Tanytarsini et Orthocladiinae à GAL1 et des taxons *Lymnaea* spp. et Tanytarsini. De plus, le pourcentage d'*Hydropsyche mokaensis* est très faible dans ces deux stations (environ 2%) et le pourcentage d'*Hydroptila grucheti* est important dans la station aval (presque 24%).

Dans la Rivière du Mât, la composition faunistique est sensiblement identique de l'amont vers l'aval en 2008 et 2009 mais en 2010, un timide gradient amont-aval se dessine. Les stations MAT1 (la plus amont) et MAT4 (la plus aval) présentent des similarités, avec un peuplement composé des taxons Orthocladiinae, *Hydropsyche mokaensis* et Simuliidae. A noter quand même, un fort pourcentage de Tanytarsini à MAT1 (presque 20%). De même, les stations intermédiaires (MAT2 et MAT3) présentent des similarités entre elles, avec un peuplement composé des taxons Orthocladiinae, *Physella acuta* (très abondant à MAT3 avec 45% des effectifs) *Hydroptila grucheti*, *Lymnaea* spp. et *Lymnaea natalensis* (Figure 31)

Rivières avec gradient amont-aval

Dans les rivières présentant un gradient amont-aval, celui-ci est, en partie, expliqué par une association dans les stations les plus amont des taxons tels que les Trichoptères *Hydropsyche mokaensis* et/ou les *Hydroptila* (*Hydroptila starmüehlneri* et/ou *Hydroptila kieneri*) et/ou le Gastéropode *Lymnaea* spp., les Diptères Tanytarsini, Orthocladiinae, Hemerodromiinae, Clinocerinae et/ou *Dasyhelea* sp. Les peuplements des stations aval sont caractérisés par les Plathelminthes *Dugesia* et/ou les taxons Mollusques tels que *Septaria borbonica*, *Thiara scabra*, *Neritilia consimilis*, *Clithon longispina*, *Helisoma duryi*, *Afrogyrus rodriguezensis*, Neritidae et/ou *Melanoides tuberculata* (Figure 31).

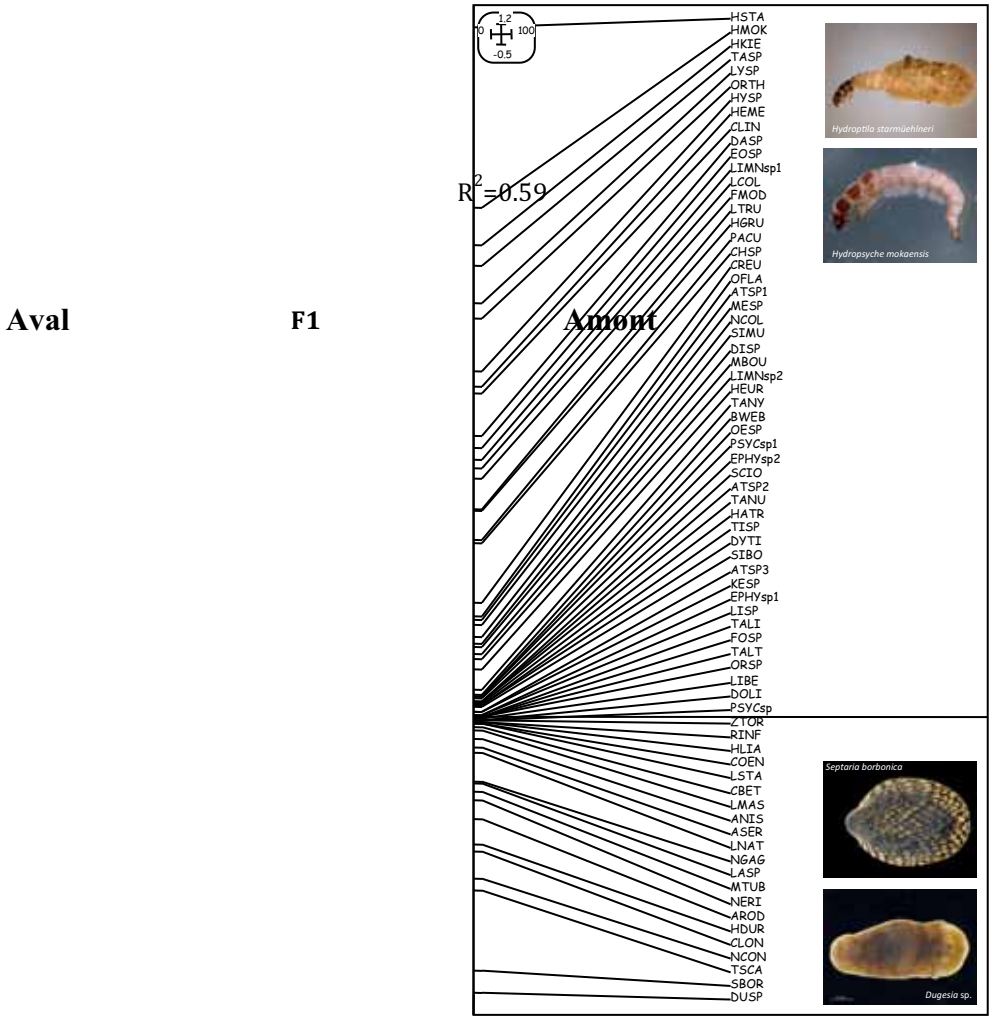


Figure 31 : Position des taxons sur l'axe F1 de l'ACP intra rivières (pour les codes, cf. Tableau 2). Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives sur l'axe F1, en dessous, elles sont négatives.

Ce gradient amont-aval est aussi, en partie, expliqué par une diminution de l'abondance totale des taxons de l'amont vers l'aval (Figure 32).

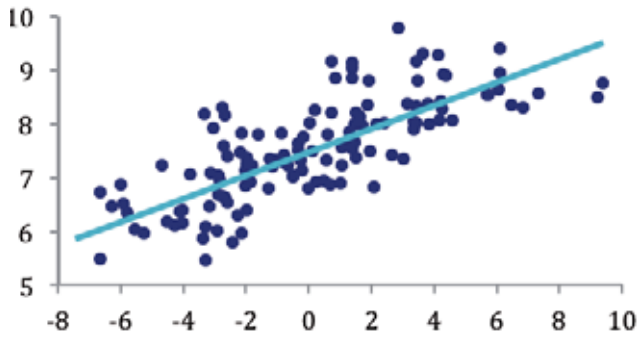


Figure 32 : Corrélation entre l'abondance totale des invertébrés dans les 126 stations-campagnes (transformation ln x +1), et leurs coordonnées factorielles sur l'axe F1 de l'ACP intra-rivières.

HSTA HMOK

Cette relation repose essentiellement sur les taxons caractéristiques des stations amont qui présentent tous globalement une diminution de leur abondance vers l'aval. Ainsi, les coordonnées factorielles de l'axe F1 de l'ACP intra-rivières présentent une relation positive significative avec l'abondance des taxons *Hydroptila starmüehlneri*, *Hydropsyche mokaensis*, *Hydroptila kieneri*, Tanytarsini, *Lymnaea* spp. et Orthocladiinae (Figure 33).

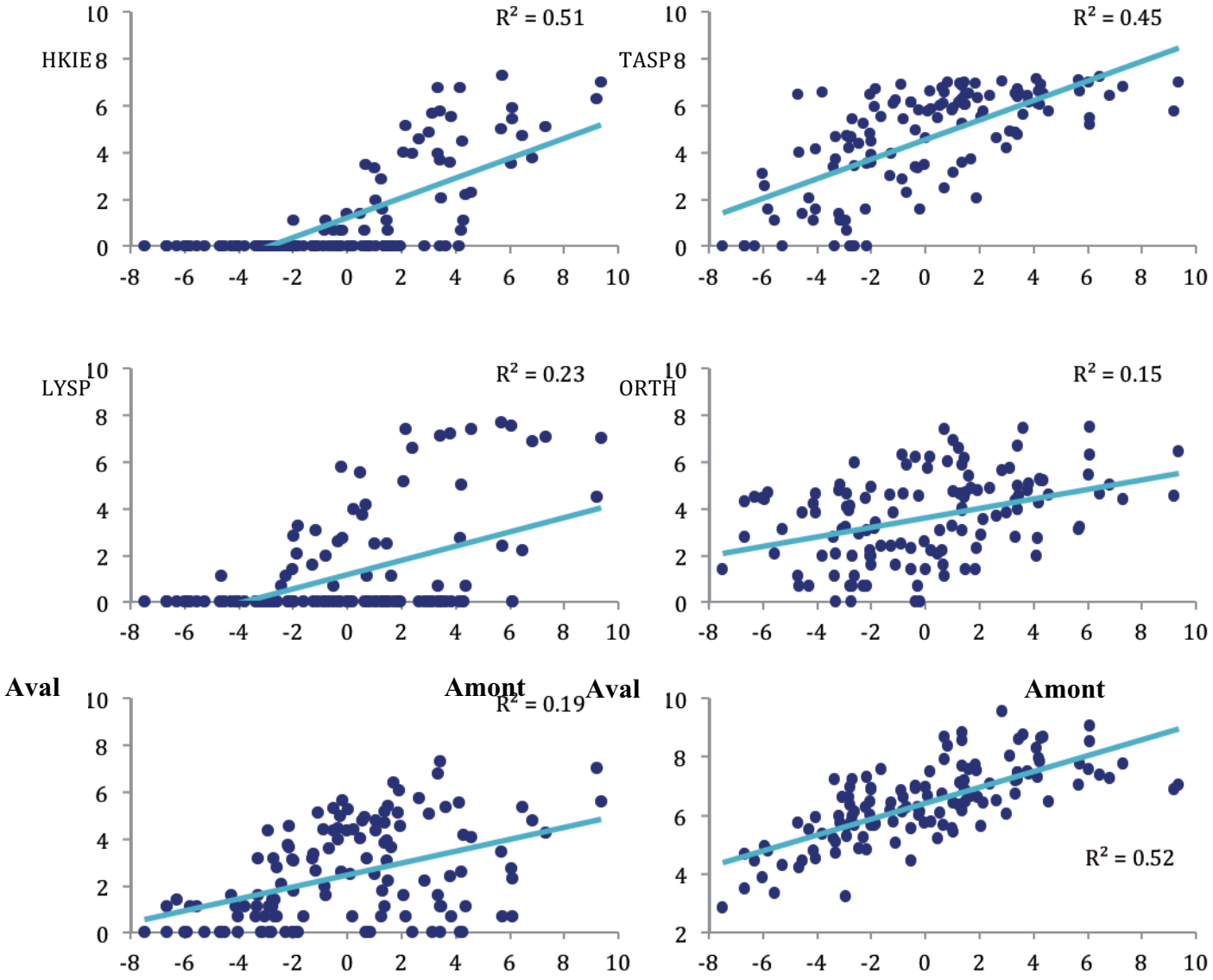


Figure 33 : Corrélations entre l'abondance (transformation ln x +1) des six taxons les plus discriminants positivement sur l'axe F1 de l'ACP intra-rivières et les coordonnées factorielles sur l'axe F1 des 126 stations-campagnes.

Cependant, lorsque les 10 rivières présentant un gradient amont-aval de leur composition faunistique sont considérées séparément, les taxons caractéristiques des peuplements amont ne présentent pas tous une diminution de leur abondance vers l'aval (Tableau 9).

R^2=0.24

Aval **F1** **Amont**

Tableau 9 : Taxons responsables en partie du gradient amont-aval de la composition faunistique des stations avec ORTH : Orthocladiinae, HMOK : Hydropsyche mokaensis*, TASP : Tanytarsini, HKIE :* Hydroptila kieneri*, HSTA :* Hydroptila starmüehlneri *et LYSP :* Lymnaea *spp. ** diminution nette, * taxon bien représenté à l'amont mais absent dans les stations aval (si plus d'une station aval) ou taxon représenté de manière identique dans les deux stations les plus en amont ou les plus en aval (si au moins 3 stations sur la rivière) (cf. Annexe 10).*

Rivières	ORTH	HMOK	TASP	HKIE	HSTA	LYSP
Cilaos		**	**	*	*	
Fleurs Jaunes	**					
Langevin	**					
Marsouins	**	*				
Bras de la Plaine		**			**	
Pluies	**			*		
Roches		*				**
St-Denis			*	**	*	**
St-Jean			**		*	**
Ste-Suzanne	**	**			**	**

Ce gradient amont-aval est aussi en partie expliqué par une diminution du nombre de taxons de l'amont vers l'aval puisque les coordonnées factorielles de l'axe F1 de l'ACP intra-rivières présentent une relation positive significative avec la richesse en taxons dans les 126 stations-campagnes (Figure 34).

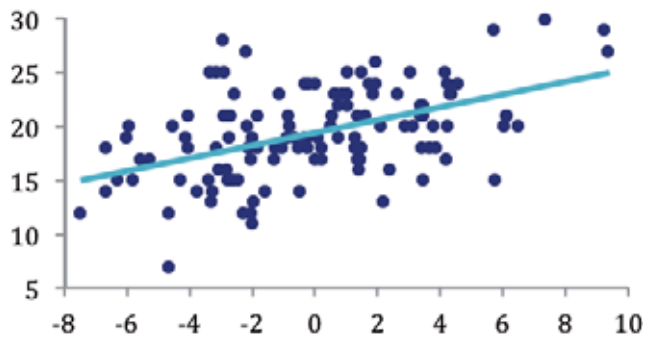


Figure 34 : Corrélation entre la richesse en taxons (richesse corrigée) des 126 stations-campagnes et leurs coordonnées factorielles sur l'axe F1 de l'ACP intra-rivières.

Ce résultat repose dans la plupart des rivières sur le nombre de taxons Insectes qui diminue de l'amont vers l'aval (*cf.* 2.2.4.2 Variabilité spatio-temporelle de la richesse taxonomique, Annexe 8).

L'analyse du deuxième axe de l'ACP intra-rivières permet d'affiner le gradient amont-aval de la composition faunistique observé dans certaines rivières. Ainsi, le gradient amont-aval de la Rivière des Roches est aussi expliqué par une diminution des pourcentages en taxons *Hydroptila grucheti* (14, 4, 1% respectivement dans les 3 stations de l'amont vers l'aval) (Figure 35 et Figure 36, qui confirment aussi la diminution de *Lymnaea* spp. déjà observée sur l'axe F1).

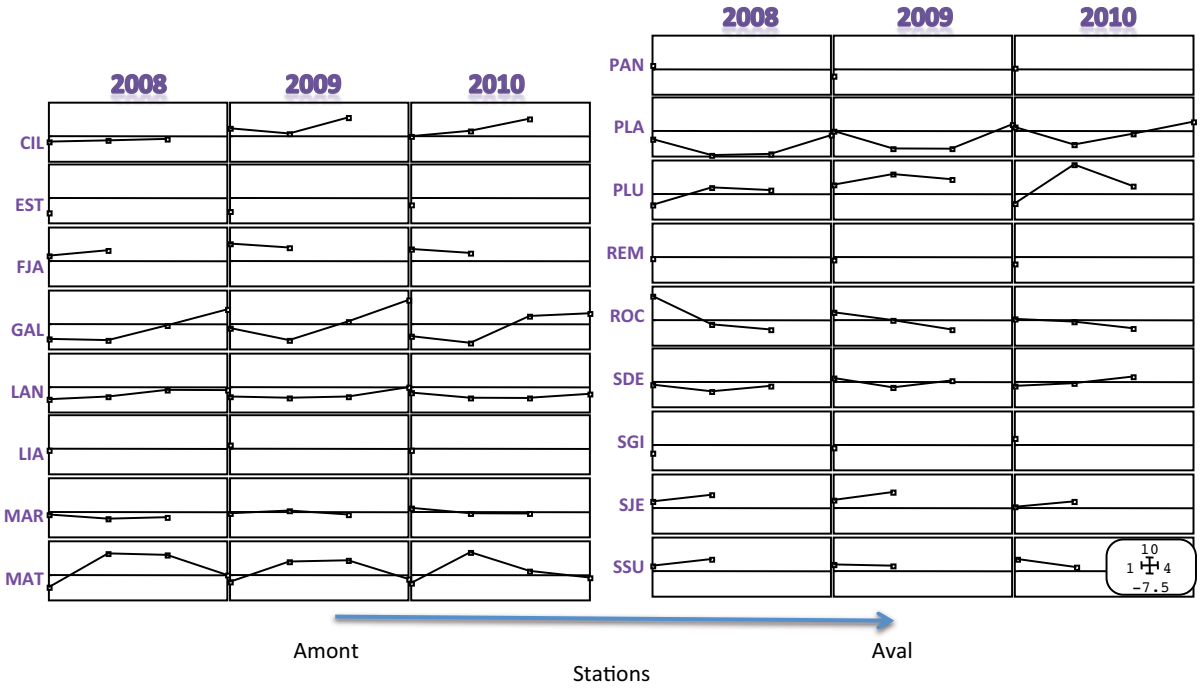


Figure 35 : Coordonnées factorielles moyennes des stations sur l'axe F2 de l'ACP intra rivières sur le gradient amont-aval.

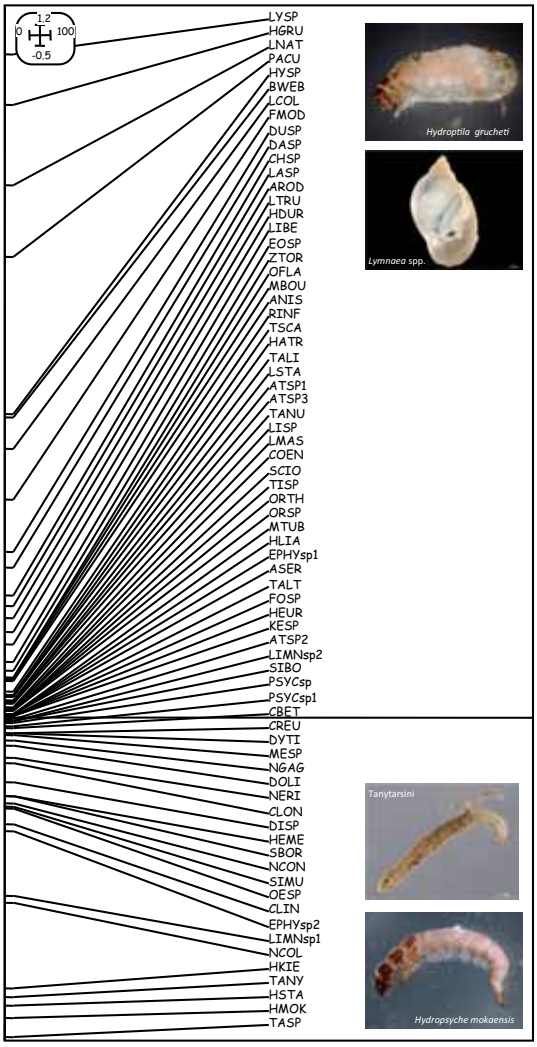


Figure 36 : Position des taxons sur l'axe F2 de l'ACP intra-rivières (pour les codes, cf. Tableau 2). Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives sur l'axe F2, en dessous, elles sont négatives.

De plus, dans la Rivière des Galets, dont la composition faunistique ne montre pas de gradient amont-aval sur le F1, les 3 stations aval présentent un gradient amont-aval sur l'axe F2 reposant essentiellement sur une augmentation vers l'aval des taxons *Hydroptila grucheti* (0.01, 3 et 38% de l'effectif total de GAL2 à GAL4) et des *Lymnaea* spp. et *Lymnaea natalensis* (0, 3 et 10%) (Figure 35, Figure 36 et Annexe 10).

Les **changements faunistiques observés de l'amont vers l'aval** dans un grand nombre de rivières sont donc expliqués par :

- Une association dans les stations amont des taxons Trichoptères *Hydropsyche mokaensis*, *Hydroptila* (*Hydroptila starmüehlneri* et/ou *Hydroptila kieneri*), Gastéropode *Lymnaea* spp., Diptères Tanytarsini, Orthocladiinae, Hemerodromiinae, Clinocerinae et/ou *Dasyhelea* sp..
- Une association dans les stations aval des taxons Plathelminthes *Dugesia* et/ou des taxons Mollusques tels que *Septaria borbonica*, *Thiara scabra*, *Neritilia consimilis*, *Clithon longispina*, *Helisoma duryi*, *Afrogyrus rodriguezensis*, Neritidae, et/ou *Melanoides tuberculata.*

- une diminution de l'abondance des taxons *Hydroptila starmüehlneri*, *Hydropsyche mokaensis*, *Hydroptila kieneri*, Tanytarsini, *Lymnaea* spp. et Orthocladiinae de l'amont vers l'aval.
- une diminution du nombre de taxons (notamment des taxons Insectes) de l'amont vers l'aval.

Variation temporelle de la composition faunistique

Globalement, la composition faunistique dans les différentes stations est assez homogène entre les différentes campagnes (Figure 30 et Figure 35) avec cependant quelques exceptions :

- CIL2 en 2008 : pourcentages de *Lymnaea* spp., de *Physella acuta* et d'*Hydroptila grucheti* plus faibles qu'en 2010 (e.g. *Hydroptila grucheti* : 5% des individus collectés en 2008, contre 31% en 2010), chute des *Hydropsyche mokaensis* en 2009 (moins de 1% contre 30 et 12% en 2008 et 2010).
- PLU2 en 2008 : % relativement important de *Dugesia* sp. (5 fois plus important qu'en 2009). Globalement en 2008 beaucoup moins de *Hydroptila grucheti* dans les 3 stations de la Rivière des Pluies. Pour PLU2 en 2010, par exemple, presque 50% des individus sont des *Hydroptila grucheti* contre 7 % en 2008.

Conclusions :

→Forte variabilité spatiale de la composition faunistique dans la plupart des rivières due à un gradient amont-aval pour certaines rivières.

→Relative faible variabilité temporelle de la composition faunistique dans cette période 2008-2010 épargnée d'événement cyclonique, sauf dans des rivières ou stations qui subissent des variations hydrologiques artificielles comme par exemple à CIL2 (Bras de Cilaos, Ilet Furcy) ou à PLU2 (Ilet Quinquina, aval travaux basculement des eaux, Rivière des Pluies).

→Dans le détail, même si elles sont faibles, les variations temporelles des effectifs de certains taxons peuvent refléter leur cycle naturel.

2.2.5.3 Analyse inter-altitudes

L'analyse inter-altitudes explique 17% de la variabilité spatiale du jeu de données. Les 4 classes d'altitudes considérées sont : 1 [0-100m[; 2 [100-300m[; 3 [300-500m[; 4 ≥ 500m. Les tests de permutations montrent que cet effet altitude est très significatif. Globalement, l'axe F1 de cette analyse discrimine 3 groupes : les stations de basses altitudes (coordonnées négatives), les deux classes intermédiaires et les stations de hautes altitudes (coordonnées positives) (Figure 37). Les stations de basses altitudes sont marquées par une bonne représentation dans leur peuplement des Planaires *Dugesia* sp., ainsi que des espèces de Mollusques telles que *Septaria borbonica*, *Thiara scabra*, *Afrogyrus rodriguezensis*, *Helisoma duryi* et/ou *Neritilia consimilis*. Les taxons *Hydropsyche mokaensis*, *Hydroptila starmüehlneri*, *Lymnaea* spp., Tanypodinae, Orthocladiinae et/ou *Physella acuta* sont mieux représentés dans les stations de plus hautes altitudes. Ces stations de basses et hautes altitudes (Classes 1 & 4, Figure 37) peuvent être aussi caractérisées par les taxons Tanytarsini, *Ferrissia modesta*, Simuliidae et/ou Clinocerinae (coordonnées négatives sur le F2). Les stations de classes d'altitudes intermédiaires (Classes 2 & 3) sont caractérisées par les taxons *Lymnaea natalensis*, *Lymnaea* spp., *Hydroptila kieneri* Tanypodinae et/ou *Hydroptila grucheti* (Figure 37).

Cette analyse montre une grande variabilité intra-classe. Par exemple, la position de la station LAN2, située à 430m d'altitude (classe 3 intermédiaire) montre que son peuplement

est plutôt proche des stations de hautes altitudes, avec un pourcentage important d'Orthocladiinae, d'*Hydroptila starmüehlneri*, d'*Hydropsyche mokaensis* et de Simuliidae. De même, PLA1 (600m) et FJA1 (670m) sont atypiques dans le groupe des stations de hautes altitudes, en raison du faible pourcentage d'*Hydroptila starmüehlneri* dans ces deux stations et de la présence importante d'*Hydroptila kieneri* à PLA1 (30%) et de *Dasyhelea* sp. (19%) à FJA1 (Figure 37 et annexe 10). De plus, les peuplements des stations SJE1 (312 m) et SSU2 (150m) ressemblent plutôt à des peuplements de stations de basses altitudes que d'altitudes intermédiaires avec très peu d'*Hydropsyche mokaensis* dans ces deux stations, un très fort pourcentage de Tanytarsini (42%), une bonne représentation des taxons Simuliidae (8%) et *Dugesia* sp. (4%) pour la station SJE1 et un pourcentage important d'*Afrogyrus rodriguezensis*, de *Dugesia* sp. et de *Thiara scabra* à SSU2 (12, 8 et 7% respectivement). Enfin, on notera la position atypique de la station SDE1 en 2010 (avec les stations de basses altitudes) qui présente, cette année-là, plus de 10% d'*Helisoma duryi* alors que ce taxon était absent en 2008 et 2009. Il faut toutefois noter qu'en 2010, pour des raisons d'accessibilité de la station, nous avons effectué nos prélèvements à 115m d'altitude au lieu de 260m les années précédentes.

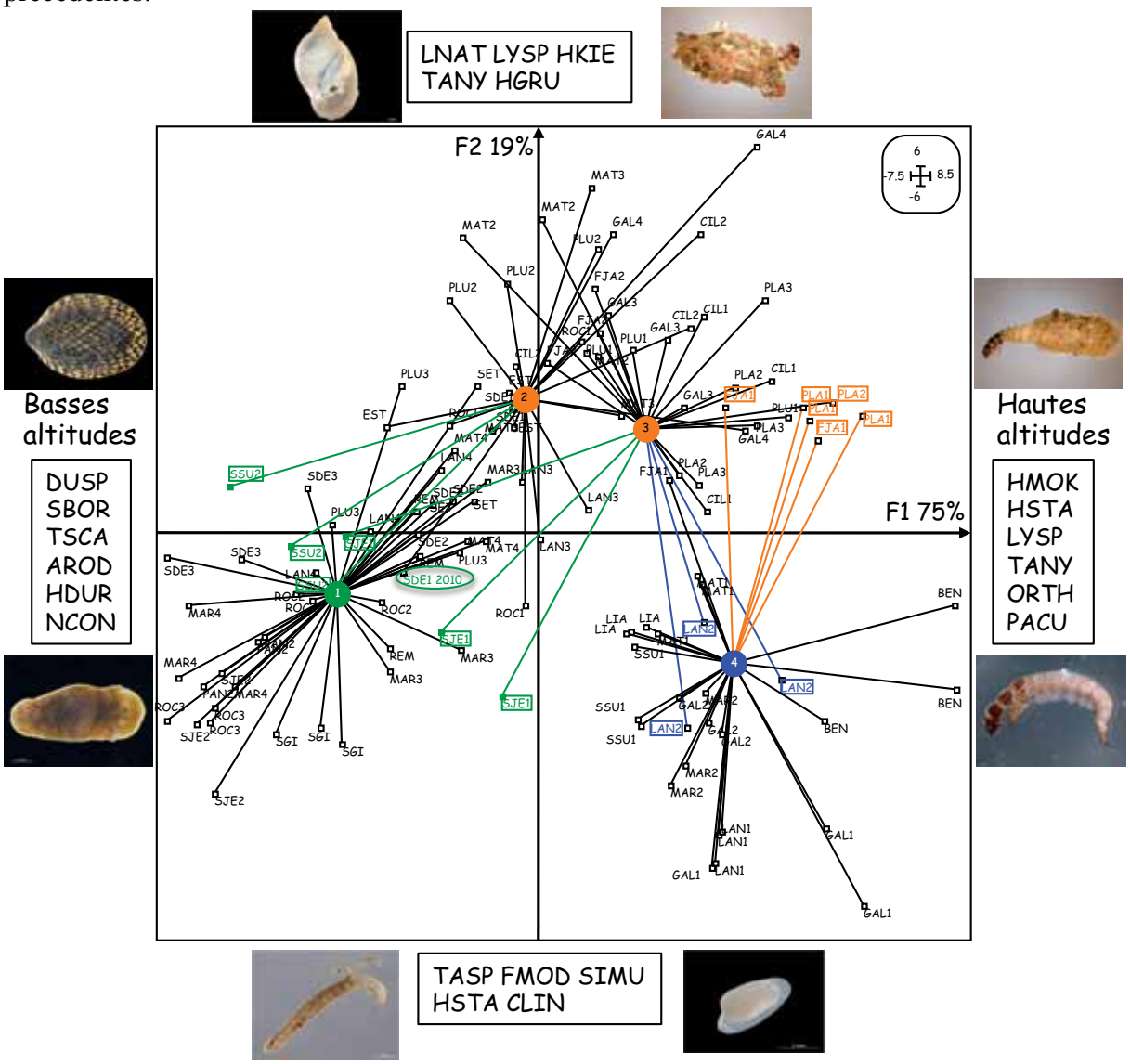


Figure 37 : Position moyenne des 4 classes d'altitudes des 126 stations-campagnes sur le plan F1-F2 de l'ACP inter-altitudes. Avec : 1 [0-100m[; 2 [100-300m[; 3 [300-500m[; 4≥ 500m. Les taxons les plus structurants sur chacun des axes sont mentionnés (pour les codes, cf. Tableau 2). L'annexe 11 présente la position des 72 taxons sur les axes F1 et F2.

2.2.5.4 Analyse inter-types

Typologie selon l'Arrêté 12/01/2010

La typologie adoptée et faisant foi actuellement est celle présentée dans l'arrêté du 12 janvier 2010 (JO du 2 février 2010[14]). Dans cette typologie, 6 types de cours d'eau sont décrits dans 4 Hydro-écorégions (Tableau 10). L'annexe 12 détaille l'historique de cette typologie et l'annexe 13 situe les 43 stations « invertébrés » dans cette typologie.

Tableau 10 : Typologie des cours d'eau du bassin Réunion –Arrêté 12/01/10.

d'après arrêté 12/01/10 délimitation ME			
		Types de masses d'eau cours d'eau	
Hydroécorégion entre ( ) autre dénomination	**n° HER**	**Code mnémonique du type**	**Libellé du type**
Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	1	P61	Petits cours d'eau des cirques au vent à la Réunion
		M61	Cours d'eau moyens des cirques au vent à la Réunion
Cirques sous le vent (Cirques sud ouest sous le vent)	2	P62	Petits cours d'eau des cirques sous le vent à la Réunion
		M62	Cours d'eau moyens des cirques sous le vent à la Réunion
Versants au vent	3	MP63	Cours d'eau des versants au vent à la Réunion
Versants sous le vent (Versants sud-ouest secs)	4	MP64	Cours d'eau des versants sous le vent à la Réunion

L'analyse inter-types explique significativement 19% de la variabilité spatiale du jeu de données et les résultats, non présentés dans ce rapport, montrent une très forte variabilité intra-types notamment pour MP63 (type versant au vent) qui regroupe les Hydro-écorégions versants nord intermédiaires et versants au vent définies par Wasson *et al*., en 2004[15] (Figure 38).

[14] Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement, Journal officiel de la République Française, 2 février 2010.

[15] Wasson J.G., Chandesris A. & Pella H., Janvier 2004, rapport CEMAGREF « Hydro-écorégions de la Réunion : propositions de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre ».

Typologie selon proposition du CNRS

La typologie adoptée dans l'arrêté du 12 janvier 2010 (Tableau 10) soulève deux problèmes non résolus à ce jour :

- la justification et le sens du regroupement des deux hydro-écorégions décrites par Wasson *et al.* (2004), n°3 : versants nord intermédiaires et n°5 : versants au vent (Figure 38) en une seule hydro-écorégion n°3 versants au vent.
- la justification et le sens du classement des rivières des Remparts et Langevin dans l'hydro-écorégion n°1 de l'arrêté de 2010 « cirques au vents », les têtes de bassin de ces deux rivières ne se trouvant pas dans une zone de cirques.

Aussi, nous avons réalisé une nouvelle ACP inter-types en nous basant sur la typologie de Wasson *et al*. (2004) mais en considérant bien le type MP64 de l'hydroécorégion versants sud-ouest secs non comptabilisé dans les types par Wasson *et al*. en 2004 (*cf.* Annexe 12) et en créant deux nouveaux types «versant sud réception» et «versant sud couloir».

Figure 38 : Typologie des cours d'eau de l'île de la Réunion selon Wasson et al. (2004)

.

Cette analyse inter-types explique 27% de la variabilité spatiale du jeu de données. Les tests de permutations montrent que cet effet type est très significatif. Ce pourcentage, plus élevé que celui de l'analyse inter-types « arrêté 2010 », prouve que cette typologie est plus pertinente d'un point de vue biologique. Cependant, cette typologique n'est pas encore parfaite car les résultats montrent comme pour l'analyse « arrêté 2010 », une forte variabilité intra-types (Figure 39). Globalement, tous les types « réception » ainsi que le type « cirque sous le vent couloir » sont plutôt caractérisés par les taxons *Hydropsyche mokaensis*,

Tanypodinae, *Hydroptila starmüehlneri*, Orthocladiinae, *Physella acuta* et/ou *Hydroptila kieneri* (coordonnées positives sur l'axe F1). Les autres types « couloir » et les types « versants au vent » et « versants sous le vent » sont plutôt caractérisés par les taxons *Dugesia* sp., *Afrogyrus rodriguezensis*, *Thiara scabra*, *Septaria borbonica*, *Ferrissia modesta* et/ou Chironomini (coordonnées négatives sur l'axe F1). A noter que le type « versant sud réception » se démarque nettement des autres types par un fort pourcentage de taxons *Hydroptila starmüehlneri* mais aussi par une bonne représentation des taxons Simuliidae, Tanytarsini ou Clinocerinae. La station GAL1 se rapproche de ce type par une bonne représentation des taxons *Hydroptila starmüehlneri*, Tanytarsini et Simuliidae dans cette station, au cours des 3 campagnes d'échantillonnage (Figure 39).

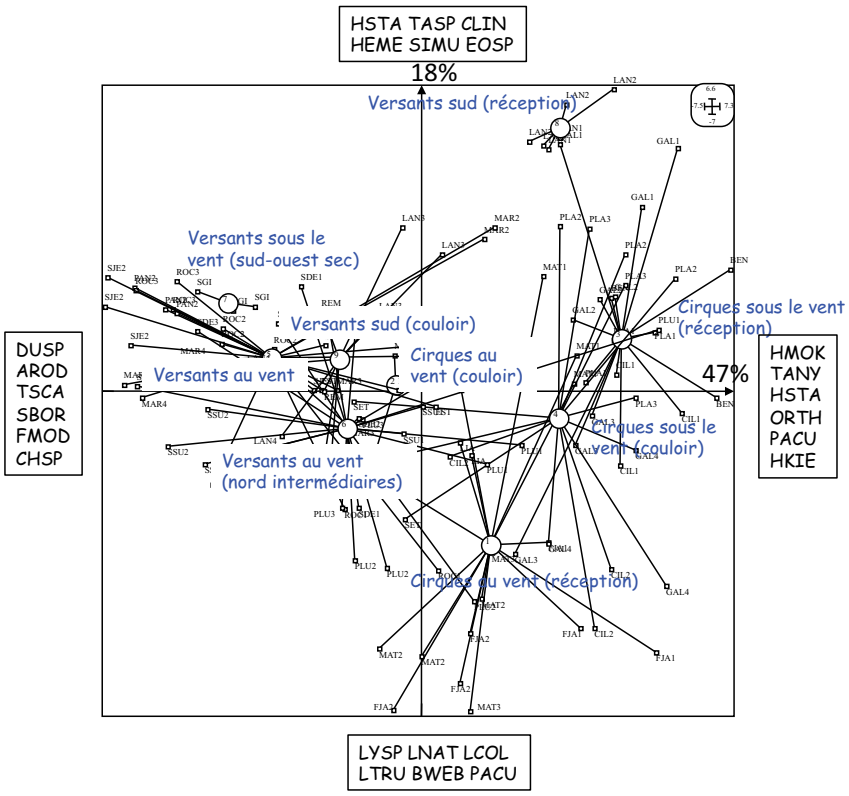


Figure 39 : Position moyenne des types de cours d'eau des 126 stations-campagnes sur le plan F1-F2 de l'ACP inter-types. Les taxons les plus structurants sur chacun des axes sont mentionnés (pour les codes, cf. Tableau 2). L'Annexe 14 présente la position des 72 taxons sur les axes F1 et F2.

2.2.5.5 Analyse inter-ME

Le découpage en masses d'eau (ME) de la Réunion est basé sur 1) la typologie proposée par Wasson *et al*. (2004) et 2) en plus, pour les cours d'eau principaux issus des cirques, de l'ordre de Strahler. Ainsi, les affluents majeurs de ces cours d'eau ont pu être distingués. Ce découpage a permis de délimiter **24 masses d'eau « cours d'eau »** d'une longueur de 4 à 30 km (Figure 40).

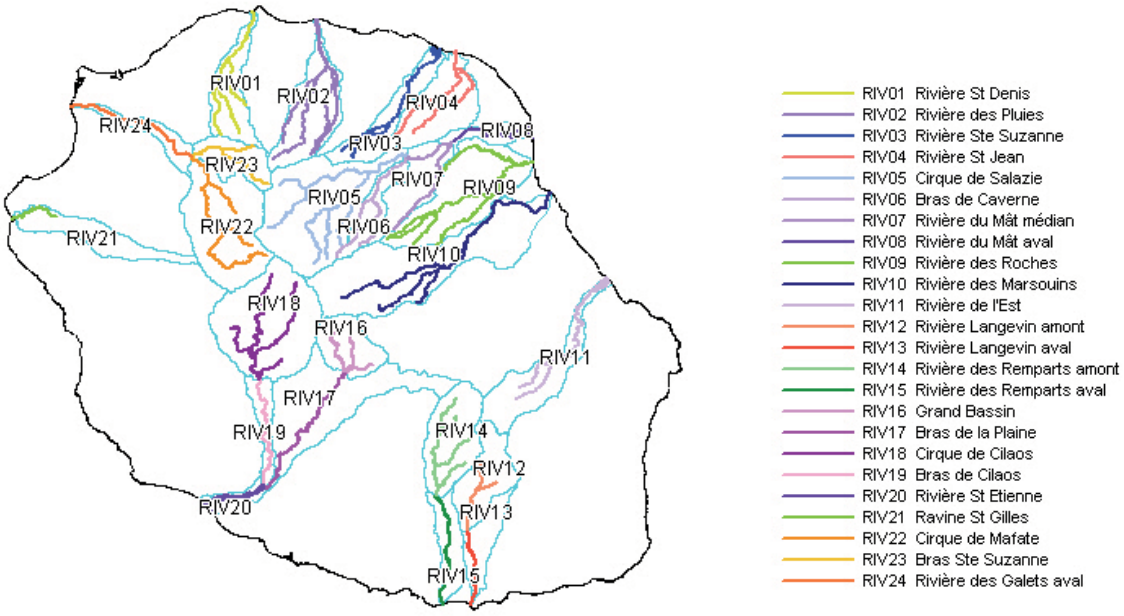


Figure 40 : Masses d'eau « cours d'eau » de l'île de la Réunion. D'après l'état des lieux du district hydrographique de la Réunion, 2005.

Dans les rivières de l'île de la Réunion, les pentes sont souvent très fortes sur des linéaires courts. Ces différences d'altitudes sont probablement, en partie, à l'origine de la variabilité de la composition faunistique observée le long du gradient amont-aval pour la plupart des cours d'eau de l'île (*cf.* 2.2.5.2 Analyse intra-rivières). Ce découpage en ME est-il donc légitime d'un point de vue biologique ? Nous avons réalisé une ACP inter-ME pour le vérifier.

L'ACP inter-ME explique un **fort pourcentage (50%) de la variabilité spatiale** du jeu de données. Les tests de permutations montrent que cet effet ME est très significatif. Cette analyse discrimine cinq groupes de ME cours d'eau (Figure 41) :

- **Groupe 1** : ME des petites rivières de basses altitudes de l'Est, plus la Rivière St-Gilles,
- **Groupe 2** : ME des cours d'eau de tête de bassin des trois cirques (BEN, CIL1, GAL 1, 2 et 3 et MAT1),
- **Groupe 3** : ME des cours d'eau de tête de bassin de la Rivière Langevin, de Grand Bassin et du Bras de la Plaine,
- **Groupe 4** : ME Rivière des Galets aval CIL2 et FJA1,
- **Groupe 5** : les ME de LAN aval, SDE 1&2.

Les taxons les plus structurants sur l'axe F1 sont les *Hydropsyche mokaensis*, Tanypodinae, *Hydroptila starmüehlneri*, *Hydroptila kieneri*, Orthocladiinae, *Dasyhelea* sp. (coordonnées négatives) et *Dugesia* sp., *Afrogyrus rodriguezensis*, *Thiara scabra*, *Ferrissia modesta*, *Septaria borbonica* et Chironomini (coordonnées positives). Sur l'axe F2, les taxons les plus structurants sont les *Hydroptila kieneri, Hydroptila starmüehlneri, Helisoma duryi, Hydropsyche mokaensis,* Hemerodromiinae, *Nigrobaetis colonus* (coordonnées positives) et *Lymnaea* spp., *Physella acuta, Hydroptila grucheti, Lymnaea natalensis,* Simuliidae, *Dasyhelea* sp. (coordonnées négatives) (*cf.* Annexe 15 pour le détail de la composition faunistique des 5 groupes de ME mentionnés ci-dessus).

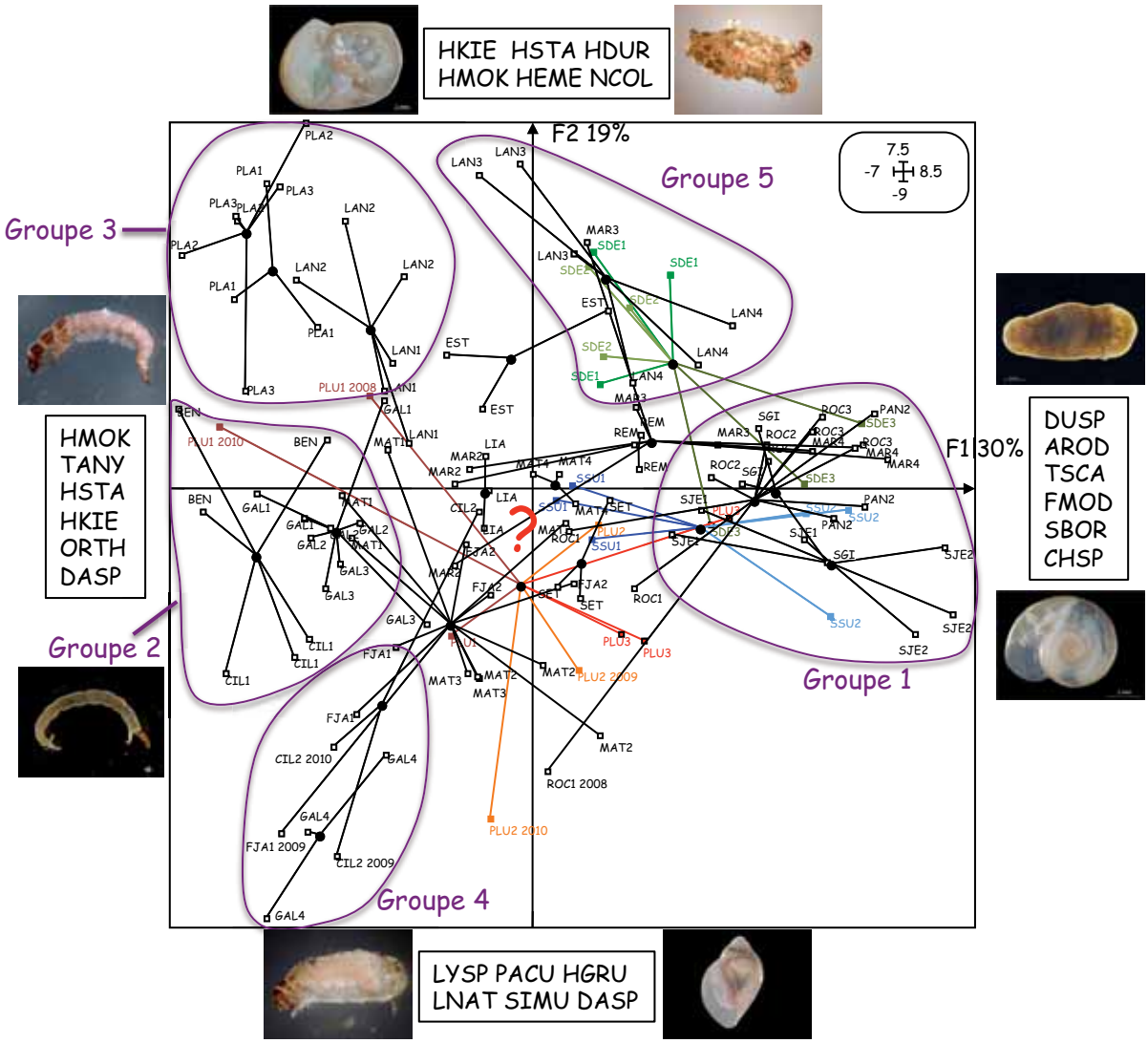


Figure 41 : Position moyenne des 24 ME cours d'eau des 126 stations-campagnes sur le plan F1-F2 de l'ACP inter-ME. Les taxons les plus structurants sur chacun des axes sont mentionnés (pour les codes, cf. Tableau 2). L'Annexe 16 présente la position des 72 taxons sur les axes F1 et F2.

→L'analyse inter-ME explique un fort pourcentage de la variabilité spatiale du jeu de données (50%).

→Globalement, 5 groupes de ME sont discriminés mais dans certains cas, la limite des groupes n'est pas très claire (*cf.* Annexe 15).

→En effet, la composition faunistique montre une forte variabilité spatiale intra-ME qui repose entre autres, pour certaines rivières, sur le gradient amont-aval.

→Pour de rares cas, comme par exemple la ME de la Rivière des Pluies ou ME du Bras de Cilaos, à cette variabilité spatiale, se superpose à une forte variabilité temporelle.

2.3 Caractéristiques biologiques et écologiques des taxons

Le développement d'un indice de bio-indication nécessite une bonne connaissance des traits écologiques et biologiques des espèces d'une part, pour connaître les préférences des espèces et d'autres part, pour définir des métriques permettant de calculer l'indice.

2.3.1 Régimes alimentaires

Dans le cadre de son travail de Master, Lucile Muneret (Muneret, 2011[16] ; Muneret *et al.,* soumis[17]) a déterminé, à partir des données récoltées en 2009 dans les rivières des Galets et du Mât, les régimes alimentaires des 16 taxons les plus abondants (2000 individus analysés). Ce travail montre que dans ces deux rivières, les microphytes représentent, en moyenne, la ressource la plus abondamment consommée avec 66% du volume occupé sur l'ensemble des tubes digestifs analysés. De plus, les sédiments, les CPOM (matières organiques grossières), les FPOM (matières organiques fines) et les invertébrés représentent 16, 9, 7 et 2% respectivement de ce volume. Ce travail a aussi mis en évidence une forte variabilité taxonomique et spatiale de la consommation de ces différentes ressources (Figure 42).

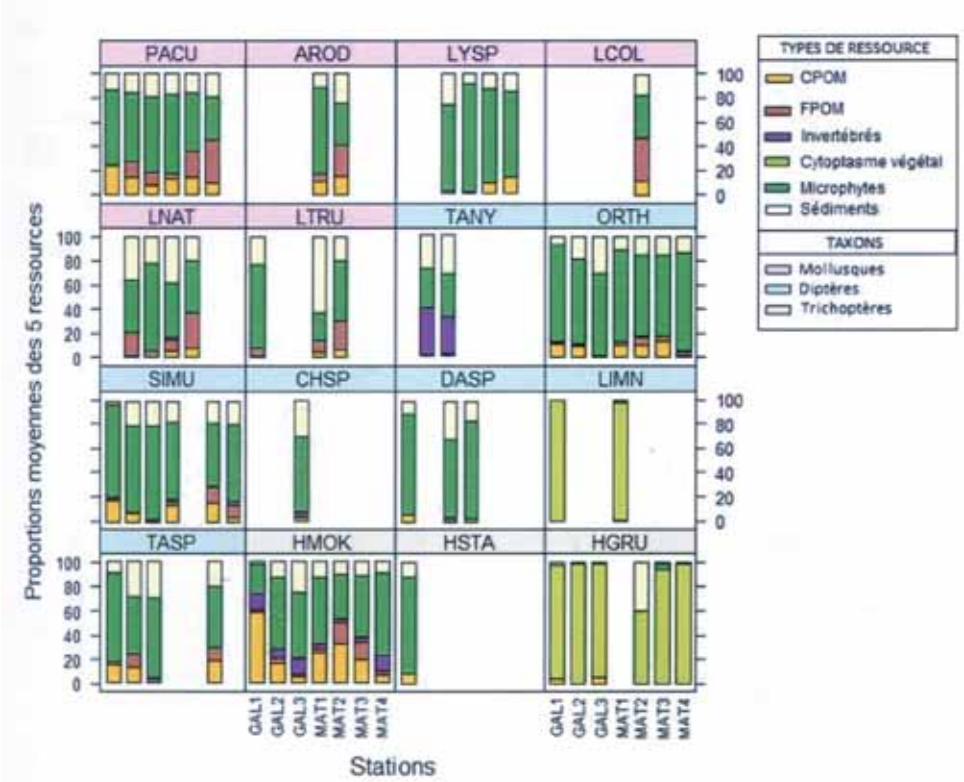


Figure 42 : Régimes alimentaires des 16 taxons les plus abondants au cours de la campagne 2009 dans les rivières des Galets et du Mât. Les données correspondent au pourcentage moyen par station et par taxon du volume des différents types de ressources alimentaires rencontrés dans les tubes digestifs des individus analysés. PACU = Physella acuta, *AROD* = Afrogyrus rodriguezensis, *LYSP* = Lymnaea *spp., LCOL* = Lymnaea columella, *LNAT* = Lymnaea natalensis, *LTRU* = Lymnaea truncatula, *TANY = Tanypodinae, ORTH = Orthocladiinae, SIMU = Simuliidae, CHSP = Chironomini, DASP* = Dasyhelea *sp., LIMN* = Limnophora *spp., TASP = Tanytarsini, HMOK* = Hydropsyche mokaensis, *HSTA* = Hydroptila starmüehlneri, *HGRU* = Hydroptila grucheti.

---

[16] Muneret L. 2011. Variabilité des régimes alimentaires des macroinvertébrés benthiques de l'île de la Réunion. Rapport de stage de Master 2 Ecologie, Evolution, Biométrie. Université Lyon1. 41 pp.

[17] Muneret L., Toury J. et Mérigoux S. Trophic patterns of benthic macroinvertebrates along tropical island rivers (Reunion, Indian Ocean). Soumis à Freshwater Biology.

De plus, ce travail a permis de déterminer la diversité du régime alimentaire de ces taxons et ainsi de distinguer des taxons spécialistes (*Hydroptila grucheti* et *Limnophora* spp.), des taxons intermédiaires (*Hydroptila starmüehlneri*, *Dasyhelea* sp., *Lymnaea* spp. et Orthocladiinae) et des taxons généralistes (*Afrogyrus rodriguezensis*, Chironomini, *Hydropsyche mokaensis*, *Lymnaea columella*, *Lymnaea natalensis*, *Lymnaea truncatula*, *Physella acuta*, Simuliidae, Tanypodinae et Tanytarsini). Ces informations sur les régimes alimentaires ont été utilisées dans la rubrique « caractéristiques biologiques » des fiches taxonomiques du nouvel atlas des « Macroinvertébrés des eaux douces de la Réunion ».

2.3.2 Préférences hydrauliques des taxons

Nous avons élaboré les courbes de préférences hydrauliques pour les 31 taxons les mieux représentés dans nos échantillons (présents au moins dans 100 échantillons, *cf.* Annexe 17), à partir du modèle non-linéaire utilisé par Schmedtje (1995)[18] :

$$N(FST) = a * FST^{b} * e^{c*FST}$$

N est le nombre d'individus ; FST, le numéro d'hémisphère ; a, b, et c sont les trois paramètres du modèle avec a > 0 et c < 0. Le paramètre "a" caractérise le niveau d'abondance du taxon alors que les paramètres "b" et "c" caractérisent les préférences hydrauliques du taxon considéré. Suivant la valeur des paramètres, les courbes présentent des allures différentes qui permettent d'assigner les invertébrés à une catégorie :

si b < 0		limnobionte
si b > 0		
	$0 < -b/c < 6$	limnophile
	$6 < -b/c < 9$	peu rhéophile
	$9 < -b/c < 15$	rhéophile
	$15 < -b/c < 24$	très rhéophile
	$-b/c > 24$	rhéobionte

L'estimation des paramètres du modèle de Schmedtje (1995) a été réalisée par un ajustement non-linéaire (Bates & Watts, 1988[19]) des données d'abondances brutes et moyennes (abondance moyenne par hémisphère). Cette étape du calcul a été réalisée à l'aide de la librairie *nls2*[20] du logiciel R (version 2.14.0)[21], notamment pour faciliter la détermination des valeurs de départ des trois paramètres (algorithme « random-search ») étant donné le nombre important de modèles à ajuster (courbes de distribution d'abondance de 28 taxons).

---

[18] Schmedtje, U. 1995. Beziehungen zwischen der sohlnahen Strömung, dem Gewässerbett und dem Makrozoobenthos in Fließgewässern – Ökologischen Grundlagen für die Beurteilung von Ausleitungsstrecken, Dissertation, Institut für Zoologie und Limnologie, Universität Innsbruck, 231.

[19] Bates, D. M. and Watts, D. G. 1988. Nonlinear Regression Analysis and Its Applications, Wiley.

[20] Grothendieck G. 2010. nls2: Non-linear regression with brute force. R package version 0.1-3. http://CRAN.R-project.org/package=nls2.

[21] R Development Core Team, 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.

Les courbes et intervalles de confiance à 95% des paramètres ont été obtenus à partir de l'approximation linéaire du modèle non-linéaire précédent (Bates & Watts, 1988 ; fonction *as.lm* de la librairie *nls2*).

Pour déterminer les préférences hydrauliques de chacun de ces taxons, nous nous sommes basés sur les paramètres du modèle, mais aussi sur l'interprétation des graphiques (données d'abondances brutes et d'abondances moyennes par hémisphère). Ces courbes, présentées en Annexe 17, ont donc pour but de déterminer les préférences hydrauliques des taxons (via les valeurs de -b/c) mais ne peuvent en aucun cas être utilisées dans un cadre prédictif (dans le cadre d'un modèle d'habitat par exemple). Pour cela il faudrait valider ces modèles ou utiliser des modèles linéaires généralisés plus adaptés à ce type de données (Mérigoux *et al.,* 2009[22]).

Les résultats montrent que parmi les 31 taxons les mieux représentés dans les échantillons, 14 préfèrent des contraintes hydrauliques faibles, 5 des contraintes fortes et 9 sont ubiquistes et n'ont pas de préférences (Tableau 11). On notera que l'interprétation des courbes et des paramètres de 3 taxons (ACAR, MOLL, OLIG) n'a pas été possible (Annexe 17).

Tableau 11 : Préférences hydrauliques des 28 taxons les plus abondants récoltés dans les campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010.

Taxons	Préférences hydrauliques
Lymnaea columella	limnobionte
Lymnaea truncatula	limnobionte
Afrogyrus rodriguezensis	limnophile
Eoophyla sp.	limnophile
Helisoma duryi	limnophile
Hemerodromiinae	limnophile
Hydroptila grucheti	limnophile
Hydroptila kieneri	limnophile
Lymnaea natalensis	limnophile
Lymnaea spp.	limnophile
Physella acuta	limnophile
Tanypodinae	limnophile
Tanytarsini	limnophile
Thiara scabra	limnophile
Ferrissia modesta	peu rhéophile
Orthocladiinae	rhéophile
Simuliidae	rhéophile
Hydropsyche mokaensis	très rhéophile
Hydroptila starmüehlneri	très rhéophile
Barbronia weberi	ubiquiste
Chironomini	ubiquiste
Clinocerinae	ubiquiste
Dasyhelea sp.	ubiquiste
Dugesia sp.	ubiquiste
Hydroptila spp.	ubiquiste
Limnophora sp.1	ubiquiste
Nigrobaetis colonus	ubiquiste
Septaria borbonica	ubiquiste

[22] Mérigoux S., Lamouroux N., Olivier J.M. & Dolédec S. 2009. Invertebrate hydraulic preferences and predicted impacts of changes in discharge in a large river. Freshwater Biology, 54, 1343–1356.

Ainsi, 14 de ces taxons semblent préférer des milieux où les contraintes hydrauliques sont faibles à moyennes (Figure 43 pour 2 exemples et Annexe 17), 5 sont inféodés à des contraintes hydrauliques moyennes à fortes (Figure 44 pour 2 exemples et Annexe 17), et 9 taxons sont plutôt ubiquistes quant à leur préférences hydrauliques.

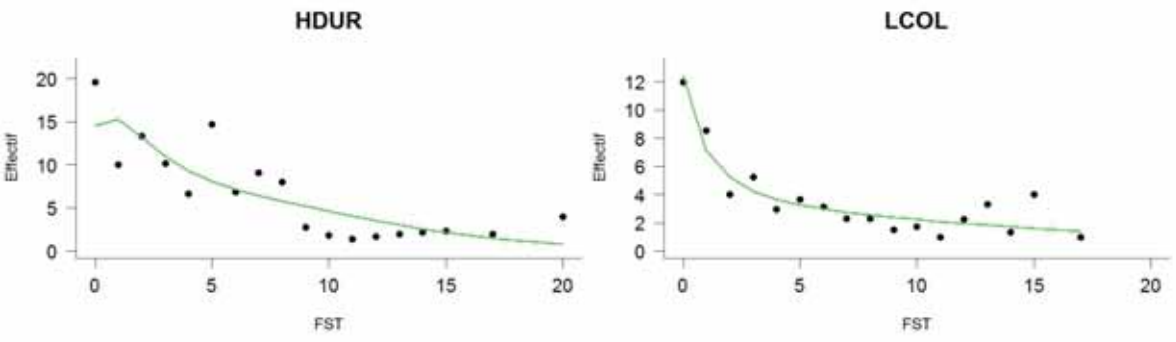


Figure 43 : Exemples de courbes de préférences hydrauliques pour deux taxons limnophiles, HDUR : Helisoma duryi *et LCOL :* Lymnaea columella *(abondances moyennes par FST).*

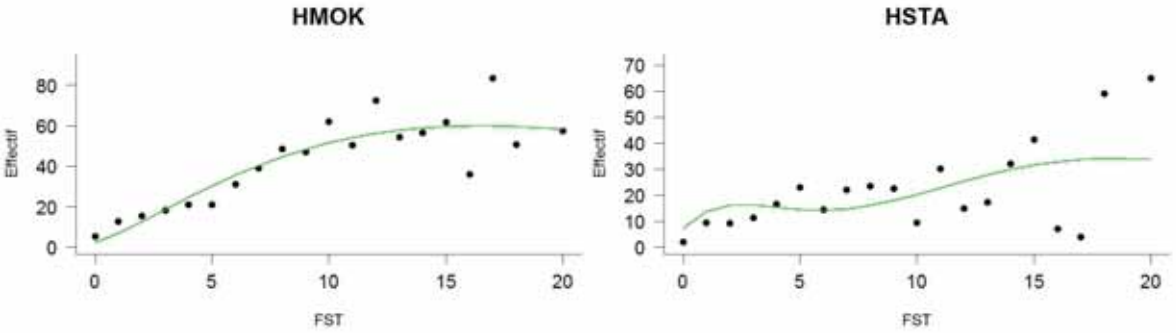


Figure 44 : Exemples de courbes de préférences hydrauliques pour deux taxons rhéophiles, HMOK : Hydropsyche mokaensis *et HSTA :* Hydroptila starmüehlneri *(abondances moyennes par FST).*

Ces informations sur les préférences hydrauliques ont été utilisées dans la rubrique « exigences écologiques » des fiches taxonomiques du nouvel atlas des « Macroinvertébrés des eaux douces de la Réunion ».

2.3.3 Autres traits écologiques

La répartition de chaque taxon en fonction de la vitesse moyenne du courant, de la profondeur, de l'altitude, de la distance à la mer et à la source de chaque station a été étudiée afin de déterminer les exigences écologiques des taxons vis à vis de ces paramètres (Annexe 18). Ces informations ont été compilées dans la rubrique « exigences écologiques » des fiches taxonomiques du nouvel atlas des « Macroinvertébrés des eaux douces de la Réunion ».

3 Annexes

Annexe 1 : Définition du choix des stations macroinvertébrés.

Annexe 2 : Protocole d'échantillonnage et conditionnement des macroinvertébrés

Annexe 3 : Fiches descriptives des 43 stations (campagne 2010).

Annexe 4 : Représentation graphique des forces de cisaillement (FST), des vitesses moyennes du courant et des profondeurs mesurés pour chaque prélèvement effectué sur chacune des stations au cours des campagnes 2008, 2009 et 2010. Les stations sont présentées sur le gradient amont-aval de chaque rivière. Les rivières de St-Gilles, des Remparts et de l'Est, avec une seule station échantillonnée, sont représentées sur le même graphe.

Annexe 5 : Représentation graphique des poids des différentes classes du substrat mesurés pour chaque prélèvement effectué sur chacune des stations au cours des campagnes 2008, 2009 et 2010. Les stations sont présentées sur le gradient amont-aval de chaque rivière. Les rivières de St-Gilles, des Remparts et de l'Est, avec une seule station échantillonnée, sont représentées sur le même graphe.

Annexe 6 : Distribution des taxons dans les 42 stations échantillonnées pendant les campagnes 2008, 2009 et 2010.

Annexe 7 : Courbes de raréfaction estimant le nombre de taxons échantillonnés en fonction de l'effort d'échantillonnage dans les 6 stations choisies pour calibrer l'échantillonnage, pour chacune des campagnes 2008, 2009 et 2010. Les intervalles de confiances à 95% (limites inférieure et supérieure) sont donnés en pointillés.

Annexe 8 : Richesses taxonomiques sur le gradient amont-aval des rivières de l'île de la Réunion échantillonnées au cours des campagnes 2008, 2009 et 2010.

Annexe 9 : Position des taxons sur l'axe F1 et F2 de l'ACP inter-rivières. Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives ; en dessous, elles sont négatives.

Annexe 10 : Abondance des taxons récoltés dans chacune des 42 stations au cours des campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010.

Annexe 11 : Position des taxons sur l'axe F1 et F2 de l'ACP inter-altitudes. Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives ; en dessous, elles sont négatives.

Annexe 12 : Historique de la typologie des cours d'eau de l'île de la Réunion.

Annexe 13 : Situation des 43 stations « macroinvertébrés » dans la typologie des cours d'eau de l'île de la Réunion.

Annexe 14 : Position des taxons sur l'axe F1 et F2 de l'ACP inter-types (proposition CNRS). Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives ; en dessous, elles sont négatives.

Annexe 15 : Détails des résultats de l'ACP inter-ME.

Annexe 16 : Position des taxons sur l'axe F1 et F2 de l'ACP inter-ME. Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives ; en dessous, elles sont négatives.

Annexe 17 : Courbes de préférences hydrauliques pour les taxons les mieux représentés (présents au moins dans 100 échantillons dans l'ensemble des échantillons des campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010). Pour chaque taxon, à gauche : graphe des valeurs d'abondances brutes, à droite : graphe des valeurs d'abondances moyennes par FST.

Annexe 18 : Abondances de chaque taxon en fonction de la vitesse moyenne du courant, de la profondeur moyenne, de l'altitude, de la distance à la mer et à la source de chaque station. Chaque point correspond à une station-campagne (126 stations-campagnes).

Annexe 1 : Définition du choix des stations macroinvertébrés.

Principes généraux :

- Stations représentatives des différents bassins versants des rivières pérennes mais aussi du gradient amont-aval (altitude, pente, obstacles) de chacun de ces bassins versants. Ces stations intègrent les principales pressions (réduction de débit par captage ou barrage de dérivation, éclusées à l'aval de barrages, assec naturel ou dû à un barrage, urbanisation = pollution, endiguement et fréquentation),
- Stations amont les moins impactées possibles sur les rivières les plus longues [23],
- Concordance 1) avec les dispositifs de suivis existants tels que le réseau de contrôle de surveillance et le réseau de bassin gérés par l'Office de l'Eau, 2) avec les stations de suivi poissons (stations RP) et 3) avec les stations du suivi diatomées.

Description des stations :

Rivière Saint-Denis

SDE1 : écoulement naturel[24] et pas de pression (braconnage observé[25]).

SDE2 : écoulement naturel et pas de pression (braconnage observé) (station RP).

SDE3 : écoulement réduit (5% du débit naturel en moyenne pour 2008 et 2009 *cf.* Tableau dernière page de cette annexe), endiguement rive droite, fréquentation importante (lessive, activités diverses[26]) présence d'un petit seuil (effet plan d'eau observable) et pile de pont.

Rivière des Pluies

PLU1 : écoulement naturel, endiguement en rive droite (ne perturbe pas le lit en débit d'étiage).

PLU2 : écoulement non naturel sur la durée du programme (débit plus important que débit naturel du au rejet de la galerie Salazie, fréquentation importante (lessive, activités diverses, braconnage observé) (station RP).

PLU3 : altération du débit écoulement non naturel (idem PLU2 mais moins important, urbanisation en amont + aéroport Gillot-Roland Garros, canaux bichiques à l'aval (station RP).

Rivière Sainte-Suzanne

SSU1 : débit naturel (station à l'amont du ce bassin Pilon) et pas de pression.

SSU2 : légère réduction du débit naturel et fréquentation importante (lavage auto, lessive, activités diverses), station RP plus en aval, mais mouille profonde non échantillonnable pour les invertébrés.

Grande Rivière Saint-Jean

SJE1 : écoulement naturel (station en amont du captage) et peu de pressions (quelques habitations et cultures de bananes et de cannes à sucre) (braconnage observé).

SJE2 : écoulement très légèrement réduit, fréquentation importante (activités diverses dont cérémonies religieuses régulières) et urbanisation importante, station RP.

---

[23] sauf Rivière de l'Est (barrage très en amont et dérivation du débit) et Rivière des Remparts (assec naturel très long).

[24] Pas d'abstraction d'eau

[25] Lignes de fond

[26] Pique-nique, cérémonie religieuse, déchets dans la rivière= verre, plastique etc…

Annexe 1 (suite)

Rivière du Mât
MAT1 : écoulement naturel et pas de pression (gué).
MAT2 : très légère réduction de l'écoulement naturel et pas de pression (quelques habitations) (station RP).
MAT3 : très légère réduction de l'écoulement naturel, urbanisation importante à l'amont (Salazie, Bois de pomme) (station RP).
MAT4 : légère réduction de l'écoulement naturel, urbanisation très importante (St-André, Rivière du Mât), agriculture cannes importante, station RP.
FJA1 : écoulement naturel et pas de pression sauf fréquentation (pique-nique, promenade).
FJA2 : légère réduction de l'écoulement naturel (station en amont du captage ILO) et pas de pression.
LIA : écoulement naturel (station en amont captage) et peu de pression : fréquentation importante (baignade), braconnage observé, truite arc-en-ciel.

Rivières des Roches
ROC1 : écoulement naturel et pas de pression (sauf sentier de randonnée traversant la station).
ROC2 : légère réduction de l'écoulement naturel et culture cannes, fréquentation importante (station RP).
ROC3 : légère réduction de l'écoulement naturel, urbanisation, fréquentation très importante, canaux bichiques, gué, pêche coquilles z'épines, culture cannes (station RP).
PAN2 : écoulement naturel, urbanisation, culture de cannes, endigué en aval de la station.

Rivières des Marsouins
MAR1 : "écoulement" naturel très faible et pas de pression.
MAR2 : écoulement très fortement modifié (2% du débit naturel), fréquentation importante.
MAR3 : écoulement perturbé par le marnage lié au rejet EDF, cultures cannes + maraîchères, fréquentation très importante, station RP.
MAR4 : écoulement perturbé par le marnage, urbanisation très forte (St-Benoît), endiguement, fréquentation très importante (lessive, activités diverses, braconnage et déchets) (station RP).

Rivière de l'EST
EST : écoulement très fortement réduit (23% du débit naturel), station RP.

Rivière Langevin
LAN1 : écoulement naturel, fréquentation importante (randonneurs, campeurs), truite arc-en-ciel, braconnage.
LAN2 : légère réduction de l'écoulement naturel, fréquentation très importante (baignade), Truite arc-en-ciel.
LAN3 : légère réduction de l'écoulement naturel, fréquentation très importante (baignade à l'amont de la station), habitations rive gauche, truite arc-en-ciel, aval de la pisciculture, station RP.
LAN4 : légère réduction de l'écoulement naturel et marnage, fréquentation très importante (baignade), habitations (station RP).

Annexe 1 (suite)

Rivière des Remparts
REM : écoulement naturel, fréquentation très importante (activités diverses, lessive) urbanisation très importante, canaux bichiques.

Rivière Saint-Etienne
PLA1 : écoulement réduit, fréquentation très importante (baignade), habitations à l'amont (Grand-Bassin), Truite arc-en-ciel, (station RP).
PLA2 : légère réduction de l'écoulement naturel, pas de pression.
PLA3 : écoulement très fortement réduit (13% du débit naturel) et marnage dû aux variations journalières des captages du bras de la Plaine et des puits du Tampon (station RP).
BEN : écoulement réduit (65% du débit naturel) par de nombreux captages, fréquentation (randonneurs), Truite arc-en-ciel.
CIL1 : légère réduction de l'écoulement naturel, urbanisation forte à l'amont (Cilaos),
CIL2 : écoulement très fortement réduit (10% du débit naturel), habitations.
SET : écoulement très fortement réduit (22% du débit naturel) + effet marnage du rejet EDF (très variable), perturbation physique du lit (extraction, génie civil), canaux bichiques, décharges, urbanisation forte (station RP).

Rivière Saint-Gilles
SGI : écoulement réduit (depuis 3-4 ans moins de pompage et donc actuellement plus de 52% du débit naturel), cultures importantes : cannes, mangues et maraîchage divers, fréquentation (baignade, pique-nique)(station RP).

Rivière des Galets
GAL1: écoulement naturel, fréquentation (randonneurs), habitations, Truites are en ciel.
GAL2: écoulement naturel, pas de pression sauf fréquentation (randonneurs).
GAL3: écoulement légèrement réduit, pas de pression sauf fréquentation (randonneurs) (station RP).
GAL4: écoulement réduit (64% du débit naturel) et écoulement sous influence des rejets de la galerie de Salazie amont. Fréquentation très importante (activités diverses, gué, déchets).

Annexe 2 : Protocole d'échantillonnage et conditionnement des macroinvertébrés.

Filet Surber modifié à double maille (1cm et 0.05mm), surface 0.0625 m^2 (photo UWITEC).

Prélèvement de la faune

Substrat et faune après nettoyage des deux filets (en haut substrat grossier issu du filet de vide de maille de 1cm) en bas substrat fin issu du filet de vide de maille de 0.05 mm.

Nettoyage du substrat grossier pour récolter la faune.

Cavités dans un galet granitique dans lesquelles se logent les invertébrés.

« Cueillette » de nymphes d'Hydroptila.

Elutriation et filtration d'un échantillon.

Vérification du tamis après conditionnement de la faune.

Portoir pour flacons faunistiques adapté aux conditions de terrain

Flacons contenant les échantillons faunistiques (à droite) et bouteilles contenant le substrat fin non trié (à gauche).

Rinçage du filet Surber après un échantillon.

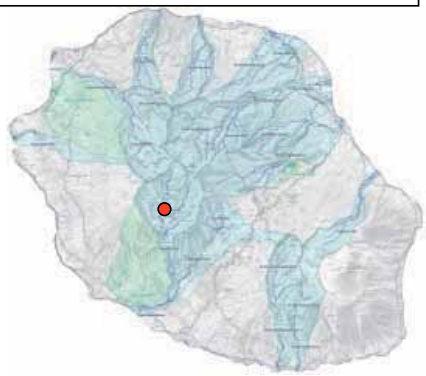
Equipe de terrain : tri, élutriation, filtration et conditionnement des échantillons sur le Bras des Lianes en 2009

<u>Annexe 3</u> : Fiches descriptives des 43 stations (campagne 2010)

Station : BEN

Bassin-versant : Rivière St-Etienne
Rivière : Bras de Benjoin
Lieu : Sentier trois mares à Bras Sec

Typologie	P62 - Cirques sous le vent (réception)
Masse d'eau	FRLR18
Code Sandre	10606520
Altitude	1050 m
Distance à la source	3225 m
Distance à la mer	18950 m
X	55,4832
Y	-21,1344



Date d'échantillonnage : 15-10-2010

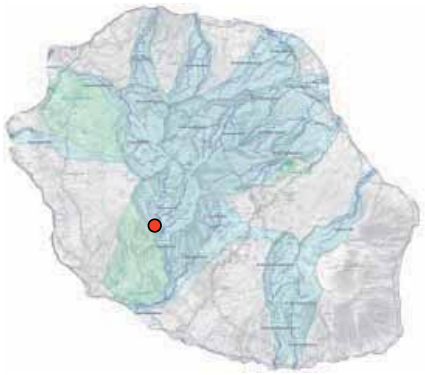
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.32 m/s	Nb de taxons total	20
Profondeur moy	20.5 cm	Nb de taxons Insectes	14
Largeur moy	6.56 m	Nb de taxons Mollusques	4
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - *Hydrospyche mokaensis*
- Blocs	50 %	Taxons particuliers	- *Coenagriocnemis reuniense* - *Dineutus* sp. (a) - *Eoophyla* sp. (l & n) - *Microvelia bourbonensis*
- Pierres et galets	40 %		
- Graviers	10 %		
FST min	0 — 20	Densité totale	6065 individus/m²
FST max	0 — 12 — 20		
FST moy	0 — 5 — 20		

Station : CIL 1

Bassin-versant : Rivière St-Etienne
Rivière : Grand bras de Cilaos
Lieu : Pavillon

Typologie	P62 - Cirques sous le vent (réception)
Masse d'eau	FRLR18
Code Sandre	10600170
Altitude	370 m
Distance à la source	13325 m
Distance à la mer	17450 m
X	55,44 96
Y	-21,1886



Date d'échantillonnage : 08-11-2010

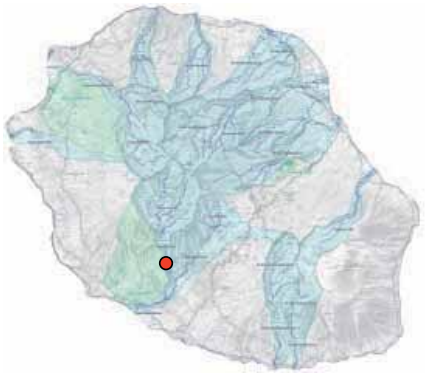
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.62 m/s	Nb de taxons total	16
Profondeur moy	22 cm	Nb de taxons Insectes	11
Largeur moy	10.08 m	Nb de taxons Mollusques	3
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - *Hydropsyche mokaensis*
- Pierres et galets	40 %		
- Graviers	30 %		
- Algues	30 %	Taxons particuliers	- *Laccobius* spp. (l) - *Nigrobaetis colonus*
FST min	0 4 20		
FST max	0 15 20		
FST moy	0 9 20	Densité totale	11620 individus/m²

Station : CIL 2

Bassin-versant : Rivière St-Etienne
Rivière : Grand bras de Cilaos
Lieu : Îlet Furcy

Typologie	M62 - Cirques sous le vent (couloir)
Masse d'eau	FRLR19
Code Sandre	10600180
Altitude	200 m
Distance à la source	20350 m
Distance à la mer	10700 m
X	55,4547
Y	-21,2392



Date d'échantillonnage : 02-11-2010

Caractérisation de la station en 2010

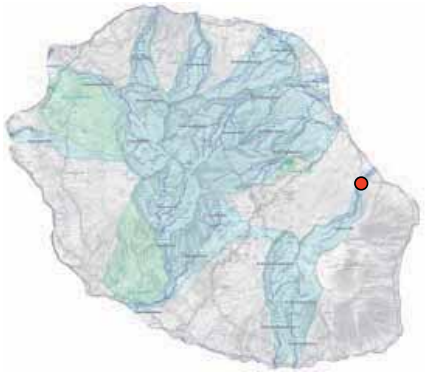
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.35 m/s	Nb de taxons total	18
Profondeur moy	21.83 m	Nb de taxons Insectes	11
Largeur moy	6.29 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Pierres et galets	80 %		- *Hydroptila grucheti* (l & n)
- Blocs	15 %		- *Physella acuta*
- Sables et limons	5 %		- *Hydropsyche mokaensis*
		Taxons particuliers	- *Zygonix torridus*
			- *Dineutus* sp. (l)
			- *Laccobius* spp. (l)
			- *Nigrobaetis colonus*
			- *Laccobius mascarensis* (a)
FST min	0 20	Densité totale	5181 individus/m²
FST max	0 12 20		
FST moy	0 6 20		

Station: EST

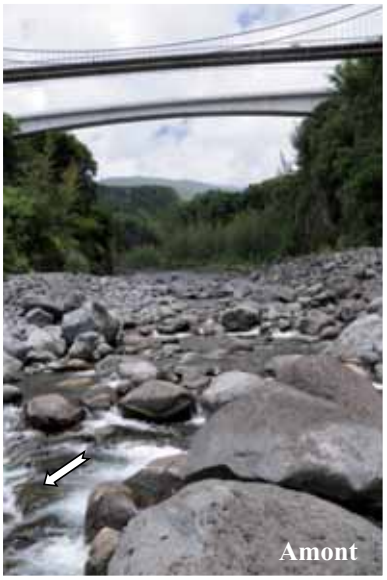
Rivière : Est

Lieu : Aval pont RN2

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR11
Code Sandre	10050180
Altitude	150 m
Distance à la source	15950 m
Distance à la mer	3250 m
X	55,7509
Y	-21,121



Date d'échantillonnage : 11-11-2010

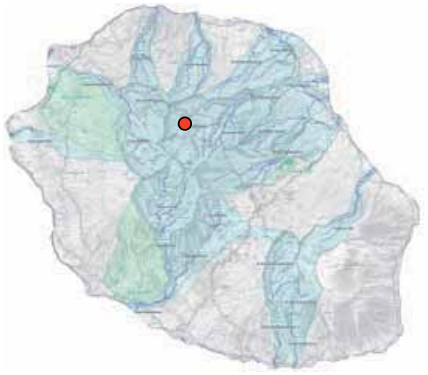


Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.32 m/s	Nb de taxons total	12
Profondeur moy	25.00 cm	Nb de taxons Insectes	8
Largeur moy	8.51 m	Nb de taxons Mollusques	2
Supports :			
- Blocs	25 %		
- Pierres et galets	75 %		
		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	
FST min	0 — 20	Taxons particuliers	- *Nigrobaetis colonus*
FST max	0 — 14 — 20	Densité totale	759 individus/m²
FST moy	0 — 6 — 20		

Station : FJA 1

Bassin-versant : Rivière du Mat
Rivière : Fleurs Jaunes
Lieu : Amont du pont D52

Typologie	P61 - Cirques au vent (réception)
Masse d'eau	FRLR05
Code Sandre	10206130
Altitude	670 m
Distance à la source	6825 m
Distance à la mer	25395 m
X	55,4928
Y	-21,0369



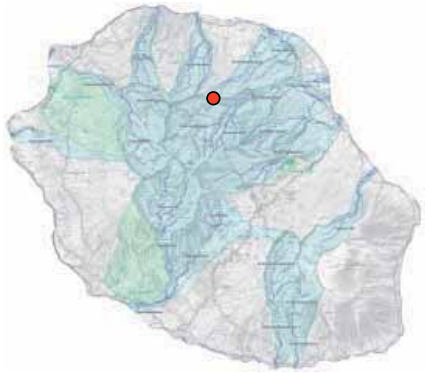
Date d'échantillonnage : 16-10-2010

Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.32 m/s	Nb de taxons total	23
Profondeur moy	21.83 cm	Nb de taxons Insectes	14
Largeur moy	12.86 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Blocs	50 %		- *Hydropsyche mokaensis*
- Pierres et galets	45 %		
- Sables et limons	5 %	Taxons particuliers	- *Dineutus* sp. (l)
			- *Sicilicula borbonica* (a)
FST min	0 — 20		
FST max	0 — 12 — 20		
FST moy	0 — 7 — 20	Densité totale	5923 individus/m²

Station : FJA 2

Bassin-versant : Rivière du Mât
Rivière : Fleurs Jaunes
Lieu : Amont barrage ILO

Typologie	P61 - Cirques au vent (réception)
Masse d'eau	FRLR05
Code Sandre	10206180
Altitude	350 m
Distance à la source	13875 m
Distance à la mer	18195 m
X	55,5428
Y	-21,0155



Date d'échantillonnage : 15-10-2010

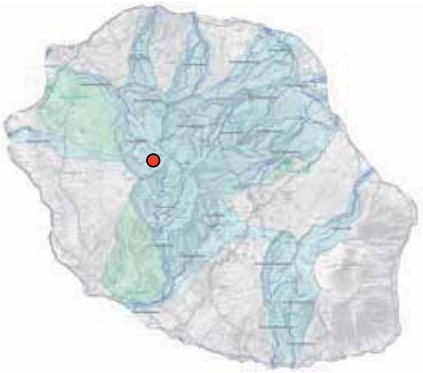
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.33 m/s	Nb de taxons total	14
Profondeur moy	30.33 cm	Nb de taxons Insectes	7
Largeur moy	12.47 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :			
- Pierres et galets	75 %		
- Blocs	20 %		
- Sables et limons	5 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- *Hydropsyche mokaensis*
FST min	0 / 20	Taxons particuliers	- *Nigrobaetis colonus*
FST max	0 / 13 / 20	Densité totale	1773 individus/m²
FST moy	0 / 5 / 20		

Station : GAL 1

Rivière : Galets
Lieu : Marlat

Typologie	P62 - Cirques sous le vent (réception)
Masse d'eau	FRLR22
Code Sandre	10400120
Altitude	1400 m
Distance à la source	1850 m
Distance à la mer	28550 m
X	55,4348
Y	-21,0929



Date d'échantillonnage : 09-11-2010

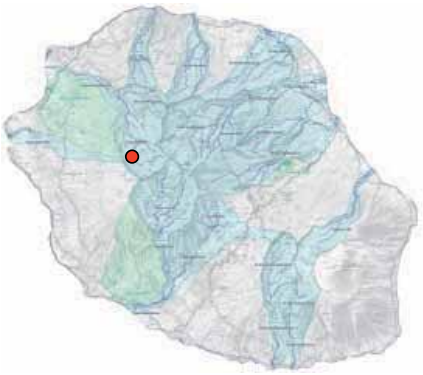
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.20 m/s	Nb de taxons total	21
Profondeur moy	18.75 cm	Nb de taxons Insectes	17
Largeur moy	7.03 m	Nb de taxons Mollusques	2
Supports :			
- Algues	50 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Pierres et galets	30 %		- Tr. Tanytarsini
- Blocs	20 %		- Oligochaeta
			- Simuliidae
FST min	0 … 20	Taxons particuliers	- *Atrichopogon* sp. 1
FST max	0 … 12 … 20		- *Coenagriocnemis reuniense*
FST moy	0 … 3 … 20	Densité totale	18949 individus/m²

Station : GAL 2

Rivière : Galets
Lieu : Trois Roches

Typologie	P62 - Cirques sous le vent (réception)
Masse d'eau	FRLR22
Code Sandre	10400140
Altitude	1200 m
Distance à la source	4600 m
Distance à la mer	25575 m
X	55,4137
Y	-21,0908



Date d'échantillonnage : 09-11-2010

Caractérisation de la station en 2010

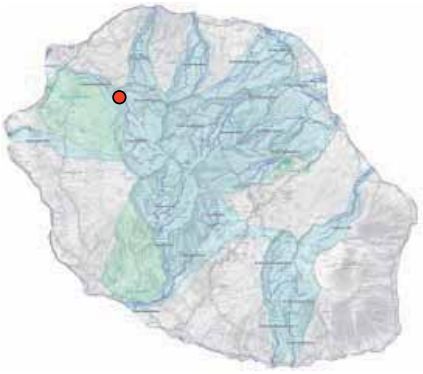
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.34 m/s	Nb de taxons total	19
Profondeur moy	15.83 cm	Nb de taxons Insectes	16
Largeur moy	5.46 m	Nb de taxons Mollusques	1
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - Tr. Tanytarsini - Simuliidae - *Hydropsyche mokaensis* - Tanypodinae
- Pierres et galets	40 %		
- Graviers	40 %		
- Algues	20 %	Taxons particuliers	- *Dineutus* sp. (l) - Dolichopodidae - Tr. Eriopterini - *Kempia* sp. - *Laccobius mascarensis* (a) -*Oecetis* sp.
FST min	0 1 20		
FST max	0 13 20		
FST moy	0 8 20	Densité totale	13323 individus/m²

Station: GAL3

Rivière : Galets

Lieu : Amont captage ILO

Typologie	P62 - Cirques sous le vent (réception)
Masse d'eau	FRLR22
Code Sandre	10400180
Altitude	300 m
Distance à la source	14425 m
Distance à la mer	15775 m
X	55,4035
Y	-21,0212



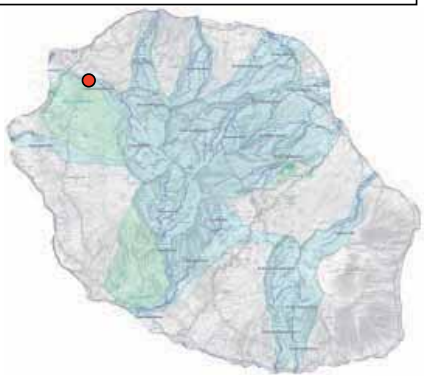
Date d'échantillonnage : 10-11-2010

Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.43 m/s	Nb de taxons total	19
Profondeur moy	18 cm	Nb de taxons Insectes	11
Largeur moy	10.59 m	Nb de taxons Mollusques	4
Supports :			
- Pierres et galets	60 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - *Hydropsyche mokaensis*
- Graviers	20 %		
- Algues	20 %		
FST min	0 1 20	Taxons particuliers	- *Laccobius starmüehlneri* (a) - *Mesovelia vittigera*
FST max	0 17 20		
FST moy	0 7 20	Densité totale	3407 individus/m²

Station : GAL 4

Rivière : Galets
Lieu : Ilet Malidé

Typologie	M62 - Cirques sous le vent (couloir)
Masse d'eau	FRLR24
Code Sandre	10410150
Altitude	120 m
Distance à la source	24500 m
Distance à la mer	6100 m
X	55,3313
Y	-20,9694



Date d'échantillonnage : 01-11-2010

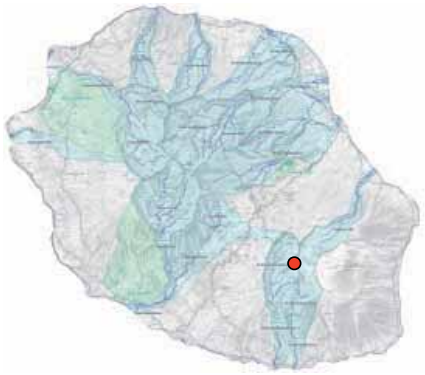
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.34 m/s	Nb de taxons total	18
Profondeur moy	23.92 cm	Nb de taxons Insectes	14
Largeur moy	12.95 m	Nb de taxons Mollusques	2
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Pierres et galets	65 %		- Oligochaeta
- Blocs	20 %		- Tr. Tanytarsini
- Vases	15 %		- Tr. Chironomini
			- Simuliidae
FST min	0 / 20	Taxons particuliers	- *Dineutus* sp. (l)
FST max	0 / 12 / 20		- Dolichopodidae
FST moy	0 / 5 / 20		- Ephydridae sp. 1
			- *Laccobius mascarensis* (a)
		Densité totale	19336 individus/m²

Station : LAN 1

Rivière : Rivière Langevin
Lieu : Cap Blanc

Typologie	P61 - Cirques au vent (réception)
Masse d'eau	FRLR12
Code Sandre	10015225
Altitude	685 m
Distance à la source	5250 m
Distance à la mer	11850 m
X	55,6473
Y	-21,2912



Date d'échantillonnage : 05-11-2010

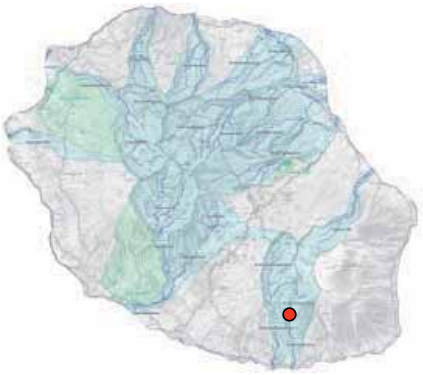
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.18 m/s	Nb de taxons total	20
Profondeur moy	28.83 cm	Nb de taxons Insectes	16
Largeur moy	7.60 m	Nb de taxons Mollusques	2
Supports :		Taxons abondants (n.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - *Hydropsyche mokaensis*
- Pierres et galets	55 %		
- Blocs	40 %		
- Graviers	5 %	Taxons particuliers	- *Atricopogon* sp. 1 - *Eoophyla* sp. - *Coenagriocnemis reuniense* - *Oxyethira flagellata*
FST min	0 — 20		
FST max	0 — 11 — 20		
FST moy	0 — 5 — 20	Densité totale	5871 individus/m²

Station : LAN 2

Rivière : Rivière Langevin
Lieu : Cascade Grand Galet

Typologie	P61 - Cirques au vent (réception)
Masse d'eau	FRLR12
Code Sandre	10010140
Altitude	430 m
Distance à la source	7850 m
Distance à la mer	8675 m
X	55,6418
Y	-21,3113



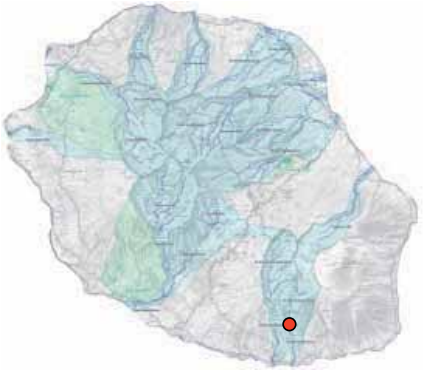
Date d'échantillonnage : 05-11-2010

Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.64 m/s	Nb de taxons total	17
Profondeur moy	19.75 cm	Nb de taxons Insectes	13
Largeur moy	13.15 m	Nb de taxons Mollusques	2
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - *Hydroptila starmüehlneri* - *Hydropsyche mokaensis*
- Pierres et galets	85 %		
- Blocs	15 %		
FST min	0 — 20	Taxons particuliers	- *Atyoida serrata* - *Eoophyla* sp.
FST max	0 — 20		
FST moy	0 — 10 — 20	Densité totale	4357 individus/m²

Station : LAN 3*

Rivière : Rivière Langevin
Lieu : Passerelle

Typologie	M61 - Cirques au vent (couloir)
Masse d'eau	FRLR13
Code Sandre	10010150
Altitude	270 m
Distance à la source	10800 m
Distance à la mer	5750 m
X	55,6419
Y	-21,3337



Date d'échantillonnage : 04-11-2010

Caractérisation de la station en 2010

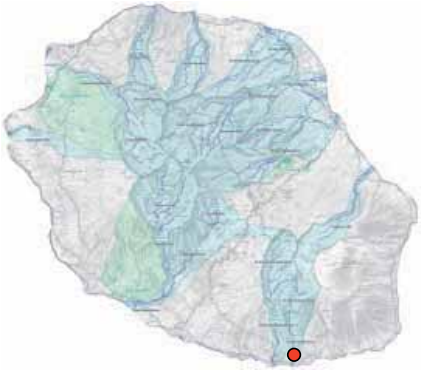
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	23 m/s	Nb de taxons total	23
Profondeur moy	24 cm	Nb de taxons Insectes	14
Largeur moy	24 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :			
- Pierres et galets	55 %		
- Dalles et argiles	40 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	
- Blocs	5 %		
FST min	0 / 20	Taxons particuliers	- *Eoophyla* sp. - *Microvelia bourbonensis* - *Rhagovelia infernalis infernalis*
FST max	0 / 19		
FST moy	0 / 8 / 20	Densité totale	1510 individus/m²

*Station de calibration

Station: LAN 4

Rivière : Rivière Langevin
Lieu: Bassin Tamarin

Typologie	M61 - Cirques au vent (couloir)
Masse d'eau	FRLR13
Code Sandre	10010185
Altitude	40 m
Distance à la source	15850 m
Distance à la mer	650 m
X	55,6464
Y	-21,3787



Date d'échantillonnage : 04-11-2010

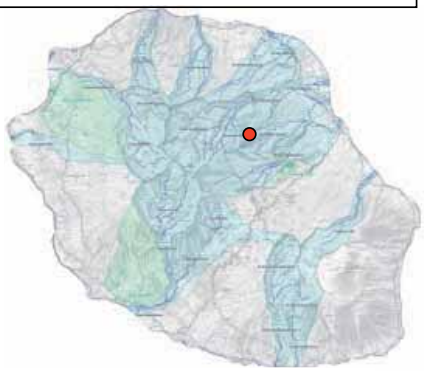
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.66 m/s	Nb de taxons total	12
Profondeur moy	31.50 cm	Nb de taxons Insectes	4
Largeur moy	12.61 m	Nb de taxons Mollusques	3
Supports :			
- Dalles et argiles	75 %		
- Pierres et galets	20 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- *Hydropsyche mokaensis*
- Graviers	5 %		
FST min	0 – 20	Taxons particuliers	- *Helobdella europaea*
FST max	0 – 17 – 20		
FST moy	0 – 8 – 20	Densité totale	1880 individus/m²

Station : LIA*

Bassin-versant : Rivière du Mat
Rivière : Bras des Lianes
Lieu : Amont captage AEP

Typologie	P61 - Cirques au vent (réception)
Masse d'eau	FRLR07
Code Sandre	10215510
Altitude	666 m
Distance à la source	5625 m
Distance à la mer	13275 m
X	55,6109
Y	-21,0272



Date d'échantillonnage : 19-10-2010

Caractérisation de la station en 2010

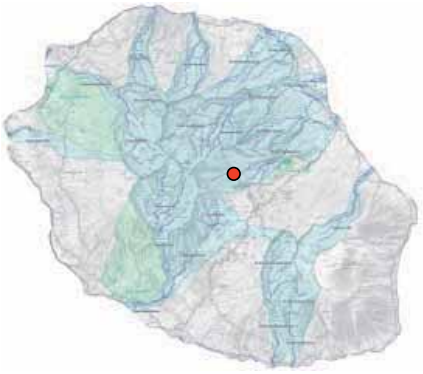
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.30 m/s	Nb de taxons total	25
Profondeur moy	22.29 cm	Nb de taxons Insectes	18
Largeur moy	10.63 m	Nb de taxons Mollusques	3
Supports :		Taxons abondants (n.bindiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Blocs	50 %	Taxons particuliers	- *Atrichopogon* sp. 1
- Pierres et galets	35 %		- *Chimarra bettinae*
- Graviers	15 %		- *Dineutus* sp.
			- *Eoophyla* sp.
			- *Hemicordulia atrovirens*
FST min	0 – 20		- *Nigrobaetis colonus*
FST max	0 – 14 – 20		- *Oxyethira flagellata*
FST moy	0 – 6 – 20		- *Stenochironomus* spp.
		Densité totale	2431 individus/m²

*Station de calibration

Station : MAR 1

Rivière : Rivière des Marsouins
Lieu : Bébour

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR10
Code Sandre	10120110
Altitude	1300 m
Distance à la source	7725 m
Distance à la mer	27425 m
X	55,5681
Y	-21,1138



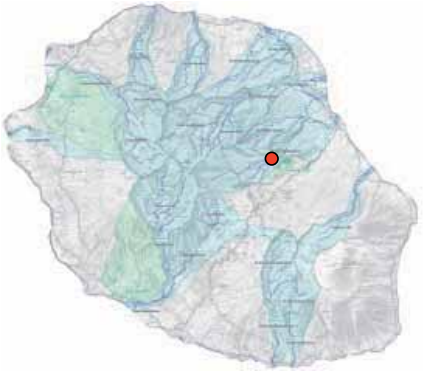
Date d'échantillonnage : Novembre 2010

Caractérisation de la station en 2010	
Physique	**Faunistique**
Vitesse moy	Nb de taxons total
Profondeur moy	Nb de taxons Insectes
Largeur moy	Nb de taxons Mollusques
Supports :	Taxons abondants (nb.indiv/m^2>500)
FST min FST max FST moy	Taxons particuliers Densité totale

Station : MAR 2

Rivière : Rivière des Marsouins
Lieu : Takamaka aval (amont barrage)

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR10
Code Sandre	10120140
Altitude	560 m
Distance à la source	12625 m
Distance à la mer	16150 m
X	55,6078
Y	-21,096



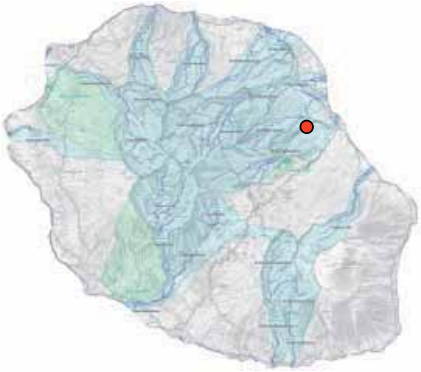
Date d'échantillonnage : 25-10-2010

Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.16 m/s	Nb de taxons total	23
Profondeur moy	28 cm	Nb de taxons Insectes	16
Largeur moy	18.47 m	Nb de taxons Mollusques	3
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Blocs	90 %		- *Hydropsyche mokaensis*
- Pierres et galets	10 %	Taxons particuliers	- *Atrichopogon* sp. 1
			- *Eoophyla* sp.
			- *Nigrobaetis colonus*
			- *Tipula* spp.
FST min	0 — 20	Densité totale	10595 individus/m²
FST max	0 — 13 — 20		
FST moy	0 — 4 — 20		

Station : MAR 3

Rivière : Rivière des Marsouins
Lieu : Bethléem

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR10
Code Sandre	10120170
Altitude	60 m
Distance à la source	31100 m
Distance à la mer	5350 m
X	55,6843
Y	-21,0403



Date d'échantillonnage : 19-10-2010

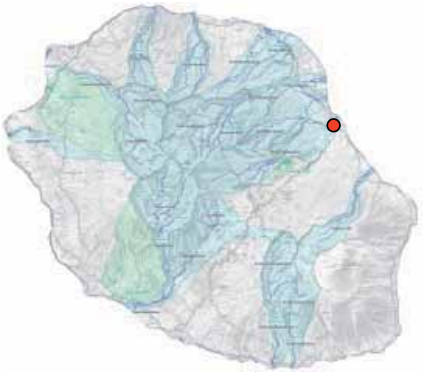
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.5 m/s	Nb de taxons total	19
Profondeur moy	30 cm	Nb de taxons Insectes	9
Largeur moy	22.73 m	Nb de taxons Mollusques	7
Supports :			
- Blocs	60 %	Taxons abondants (n.bindiv/m²>500)	- Orthocladiinae - Tr. Tanytarsini
- Pierres et galets	30 %		
- Graviers	10 %		
FST min	0 2 20	Taxons particuliers	- *Microvelia bourbonensis*
FST max	0 17 20		
FST moy	0 10 20	Densité totale	3183 individus/m²

Station : MAR 4

Rivière : Rivière des Marsouins
Lieu : Saint Benoit

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR10
Code Sandre	10120180
Altitude	5 m
Distance à la source	35925 m
Distance à la mer	350 m
X	55,714
Y	-21,0364



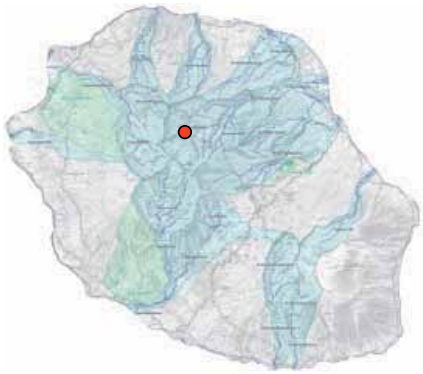
Date d'échantillonnage : 21-10-2010

Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.46 m/s	Nb de taxons total	15
Profondeur moy	32.42 cm	Nb de taxons Insectes	5
Largeur moy	34.93 m	Nb de taxons Mollusques	7
Supports :			
- Pierres et galets	70 %		
- Blocs	30 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	
FST min	0 — 20	Taxons particuliers	- *Eoophyla* sp.
FST max	0 — 10 — 20		
FST moy	0 — 6 — 20	Densité totale	984 individus/m²

Station : MAT 1

Bassin-versant : Rivière du Mât
Rivière : Rivière du Mât
Lieu : Îlet à Vidot

Typologie	P61 - Cirques au vent (réception)
Masse d'eau	FRLR05
Code Sandre	10200110
Altitude	670 m
Distance à la source	7000 m
Distance à la mer	26075 m
X	55,5007
Y	-21,056



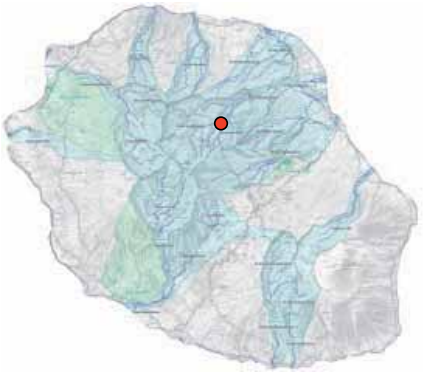
Date d'échantillonnage : 16-10-2010

Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.32 m/s	Nb de taxons total	19
Profondeur moy	20.17 cm	Nb de taxons Insectes	14
Largeur moy	10.86 m	Nb de taxons Mollusques	2
Supports :			
- Blocs	55 %		
- Pierres et galets	35 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - *Hydropsyche mokaensis*
- Graviers	10 %		
FST min	0 1 20	Taxons particuliers	- *Laccobius* spp. (l) - *Nigrobaetis colonus*
FST max	0 10 20		
FST moy	0 6 20	Densité totale	3949 individus/m²

Station : MAT 2

Bassin-versant : Rivière du Mât
Rivière : Rivière du Mât
Lieu : Îlet Bananier (amont passerelle)

Typologie	P61 - Cirques au vent (réception)
Masse d'eau	FRLR05
Code Sandre	10200180
Altitude	425 m
Distance à la source	12225 m
Distance à la mer	20650 m
X	55,5378
Y	-21,0341



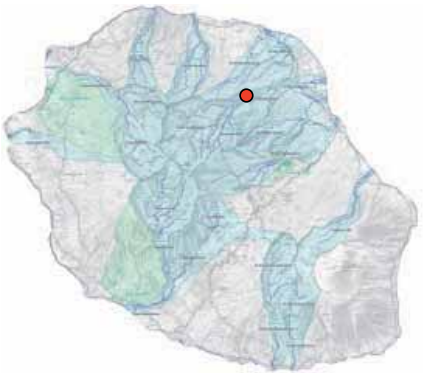
Date d'échantillonnage : 15-10-2010

Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.48 m/s	Nb de taxons total	19
Profondeur moy	35 cm	Nb de taxons Insectes	9
Largeur moy	8.84 m	Nb de taxons Mollusques	7
Supports :			
- Blocs	75 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Oligochaeta - Orthocladiinae - *Physella acuta*
- Pierres et galets	15 %		
- Graviers	10 %		
FST min	0 2 20	Taxons particuliers	- *Kempia* sp. -*Nigrobaetis colonus*
FST max	0 14 20		
FST moy	0 8 20	Densité totale	4219 individus/m²

Station : MAT 3

Bassin-versant : Rivière du Mât
Rivière : Rivière du Mât
Lieu : Escalier

Typologie	P61 - Cirques au vent (réception)
Masse d'eau	FRLR05
Code Sandre	10200190
Altitude	250 m
Distance à la source	17950 m
Distance à la mer	14670 m
X	55,5764
Y	-21,0009



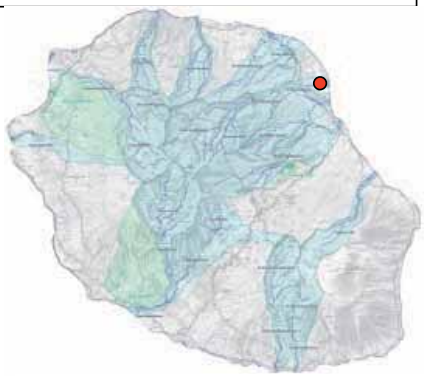
Date d'échantillonnage : 17-10-2010

Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.5 m/s	Nb de taxons total	19
Profondeur moy	33.5 cm	Nb de taxons Insectes	9
Largeur moy	14.59 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :			
- Pierres et galets	90 %		
- Blocs	10 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	
FST min	0 5 20	Taxons particuliers	- Talitridae
FST max	0 17 20		
FST moy	0 9 20	Densité totale	947 individus/m²

Station : MAT 4*

Bassin-versant : Rivière du Mat
Rivière : Rivière du Mat
Lieu : Embouchure

Typologie	M61 - Cirques au vent (couloir)
Masse d'eau	FRLR08
Code Sandre	10220180
Altitude	30 m
Distance à la source	30250 m
Distance à la mer	1800 m
X	55,6837
Y	-20,9811



Date d'échantillonnage : 18-10-2010

Caractérisation de la station en 2010

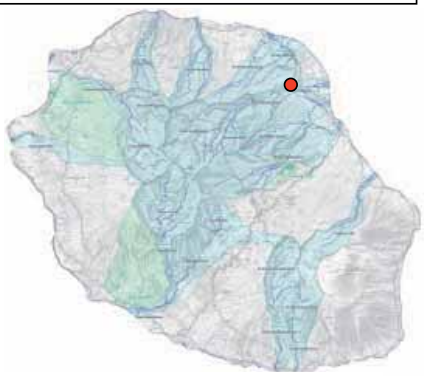
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.49 m/s	Nb de taxons total	12
Profondeur moy	29.96 cm	Nb de taxons Insectes	6
Largeur moy	17.22 m	Nb de taxons Mollusques	3
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Blocs	60 %		
- Pierres et galets	35 %		
- Sables et limons	5 %	Taxons particuliers	- *Laccobius mascarensis*
FST min	0 — 20		
FST max	0 — 17 — 20		
FST moy	0 — 8 — 20	Densité totale	1143 individus/m²

*Station de calibration

Station : PAN 2

Bassin versant : Rivière des Roches
Rivière : Bras Panon
Lieu : Bras Pétard (Libéria)

Typologie	MP63-Versants au vent
Masse d'eau	FRLR09
Code Sandre	10136250
Altitude	40 m
Distance à la source	7150 m
Distance à la mer	3375 m
X	55,6712
Y	-21,0035



Date d'échantillonnage : 26-10-2010

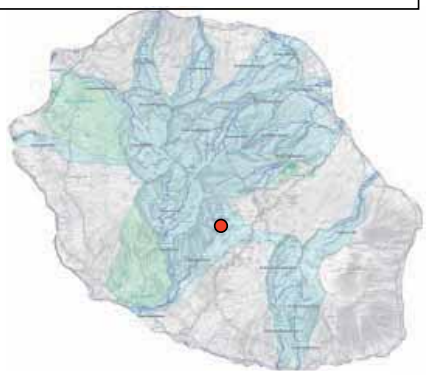
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.25 m/s	Nb de taxons total	25
Profondeur moy	26.92 cm	Nb de taxons Insectes	18
Largeur moy	8.89 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	
- Blocs	50 %		
- Pierres et galets	50 %	Taxons particuliers	- *Anopheles coustani* - *Bidessus* sp. (a) - *Oxyethira flagellata* - Psychodidae sp. 1 - *Microvelia bourbonensis* - *Rhagovelia infernalis infernalis*
FST min	0 — 20		
FST max	0 — 12 — 20		
FST moy	0 — 4 — 20	Densité totale	1783 individus/m²

Station : PLA 1*

Bassin-versant : Rivière St-Etienne
Rivière : Bras de Ste Suzanne
Lieu : Grand Bassin

Typologie	P62 - Cirques sous le vent (réception)
Masse d'eau	FRLR16
Code Sandre	10610210
Altitude	600 m
Distance à la source	5300 m
Distance à la mer	20525 m
X	55,5302
Y	-21,1854



Date d'échantillonnage : 27-10-2010

Caractérisation de la station en 2010

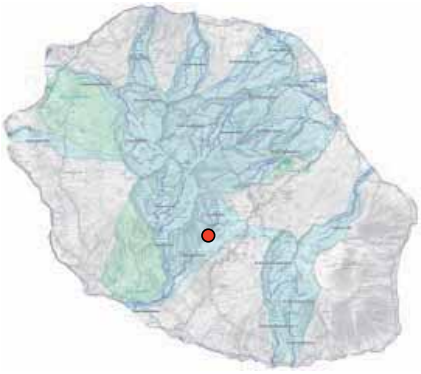
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.63 m/s	Nb de taxons total	31
Profondeur moy	41.17 cm	Nb de taxons Insectes	21
Largeur moy	8.75 m	Nb de taxons Mollusques	6
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Pierres et galets	80 %		- *Hydropsyche mokaensis*
- Graviers	15 %	Taxons particuliers	- *Anax imperator mauricianus*
- Blocs	5 %		- *Coenagriocnemis reuniense*
			- *Dineutus* sp. (l)
			- *Eoophyla* sp.
			- *Kempia* sp.
			- *Nigrobaetis columus*
			- *Oxyethira flagellata*
			- *Tipula* spp.
			- *Stenochironomus* spp.
			- *Microvelia bourbonensis*
			- *Zygonix torridus*
FST min	0 — 20		
FST max	0 — 18 — 20		
FST moy	0 — 7 — 20	Densité totale	5438 individus/m²

* Station de calibration

Station : PLA 2

Bassin-versant : Rivière St-Etienne
Rivière : Bras de la Plaine
Lieu : Amont captage SAPHIR

Typologie	M62 - Cirques sous le vent (couloir)
Masse d'eau	FRLR17
Code Sandre	10610240
Altitude	420 m
Distance à la source	10125 m
Distance à la mer	15950 m
X	55,5079
Y	-21,2111



Date d'échantillonnage : 28-10-2010

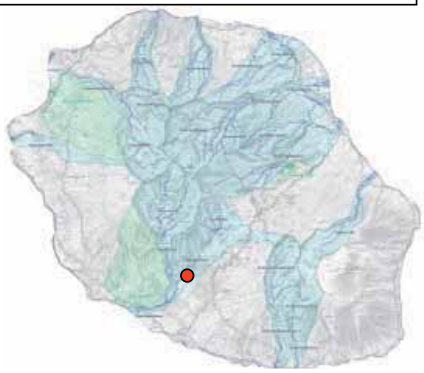
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.57 m/s	Nb de taxons total	20
Profondeur moy	23.50 cm	Nb de taxons Insectes	14
Largeur moy	15.68 m	Nb de taxons Mollusques	4
Supports :			
- Pierres et galets	60 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Blocs	20 %		- *Hydroptila kieneri*
- Graviers	20 %		- *Hydropsyche mokaensis*
FST min	0 5 20	Taxons particuliers	- *Nigrobaetis colonus*
FST max	0 17 20		- Psychodidae sp. 1
FST moy	0 10 20	Densité totale	7717 individus/m²

Station : PLA 3*

Bassin-versant : Rivière St-Etienne
Rivière : Bras de la Plaine
Lieu : Petite ravine (aval puits AEP)

Typologie	M62 - Cirques sous le vent (couloir)
Masse d'eau	FRLR17
Code Sandre	10610250
Altitude	350 m
Distance à la source	11750 m
Distance à la mer	14850 m
X	55,4995
Y	-21,2284



Date d'échantillonnage : 28-10-2010

Caractérisation de la station en 2010

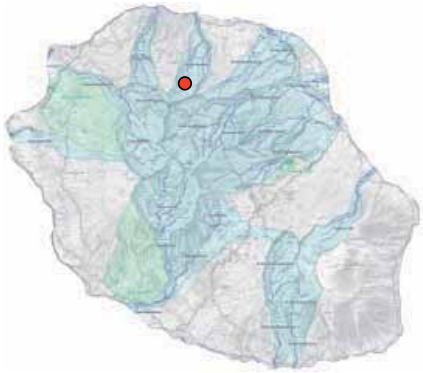
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.53 m/s	Nb de taxons total	24
Profondeur moy	16.6 cm	Nb de taxons Insectes	18
Largeur moy	11.06 m	Nb de taxons Mollusques	4
Supports :			
- Pierres et galets	40 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- *Hydroptila kieneri*
- Blocs	30 %		- Orthocladiinae
- Sables et limons	30 %	Taxons particuliers	- *Eriopterini*
			- *Laccobius* spp. (l & a)
			- *Kempia* sp.
			- *Nigrobaetis colonus*
			- *Zygonix torridus*
FST min	0 – 20		
FST max	0 – 16 – 20		
FST moy	0 – 9 – 20	Densité totale	3991 individus/m²

*Station de calibration

Station : PLU 1

Rivière : Rivière des Pluies
Lieu : Aplomb Piton Tanan**

Typologie	MP63 - Versants au vent (nord intermédiaire)
Masse d'eau	FRLR02
Code Sandre	10310812
Altitude	385 m
Distance à la source	6725 m
Distance à la mer	10325 m
X	55,491
Y	-20,9704



Date d'échantillonnage : 25-10-2010

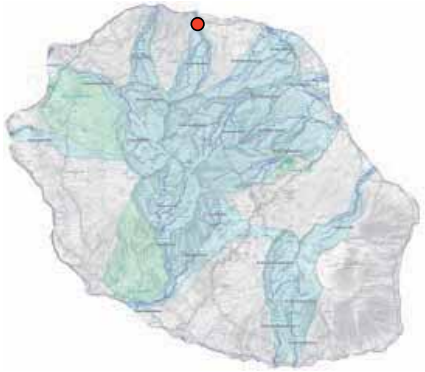
Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.64 m/s	Nb de taxons total	24
Profondeur moy	20.75 cm	Nb de taxons Insectes	19
Largeur moy	7.75 m	Nb de taxons Mollusques	3
Supports :			
- Blocs	60 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - *Hydropsyche mokaensis*
- Pierres et galets	40 %	Taxons particuliers	- *Nigrobaetis colonus* - *Oecetis* sp. - Psychodidae sp. 1 - *Tinearia alternata* - *Zygonix torridus*
FST min	0 1 20		
FST max	0 14 20		
FST moy	0 9 20	Densité totale	6212 individus/m²

**Aval confluence Ravine du diable

Station : PLU 2*

Rivière : Rivière des Pluies
Lieu : Îlet Quinquina

Typologie	MP63 - Versants au vent (nord intermédiaire)
Masse d'eau	FRLR02
Code Sandre	10310830
Altitude	140 m
Distance à la source	11150 m
Distance à la mer	5575 m
X	55,5065
Y	-20,9303



Date d'échantillonnage : 25-10-2010

Caractérisation de la station en 2010

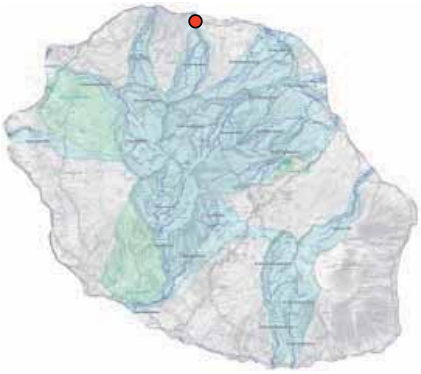
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.45 m/s	Nb de taxons total	26
Profondeur moy	28.38 cm	Nb de taxons Insectes	16
Largeur moy	13.34 m	Nb de taxons Mollusques	6
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Oligochaeta - *Hydroptila grucheti* - Orthocladiinae - *Physella acuta*
- Pierres et galets	40 %		
- Blocs	35 %		
- Graviers	25 %	Taxons particuliers	- *Atrichopogon* sp. 1 - *Atrichopogon* sp. 2 - *Laccobius* spp. (l) - Psychodidae sp. 1
FST min	0 2 20		
FST max	0 17 20		
FST moy	0 8 20	Densité totale	12841 individus/m²

*Station de calibration

Station: PLU 3*

Rivière : Rivière des Pluies
Lieu: Embouchure/Gillot

Typologie	MP63 - Versants au vent (nord intermédiaire)
Masse d'eau	FRLR02
Code Sandre	10310890
Altitude	25 m
Distance à la source	14775 m
Distance à la mer	1250 m
X	55,5043
Y	-20,893



Date d'échantillonnage : 21-10-2010

Caractérisation de la station en 2010

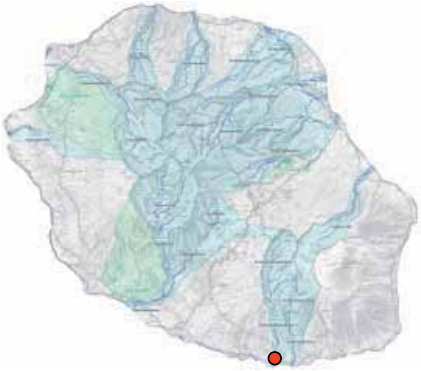
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.44 m/s	Nb de taxons total	19
Profondeur moy	28.5 cm	Nb de taxons Insectes	11
Largeur moy	10.43 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Pierres et galets	40 %	Taxons particuliers	- *Atrichopogon* sp. 3 - *Laccobius* spp. (l) - *Tinearia altternata* - *Microvelia bourbonensis*
- Blocs	30 %		
- Graviers	30 %		
FST min	0 — 20	Densité totale	2716 individus/m²
FST max	0 — 12 — 20		
FST moy	0 — 7 — 20		

*Station de calibration

Station : REM

Rivière : Remparts
Lieu : L' Abattoir (Embouchure)

Typologie	M61 - Cirques au vent (couloir)
Masse d'eau	FRLR15
Code Sandre	10000190
Altitude	10 m
Distance à la source	21850 m
Distance à la mer	450 m
X	55,6187
Y	-21,3832



Date d'échantillonnage : 31-10-2010

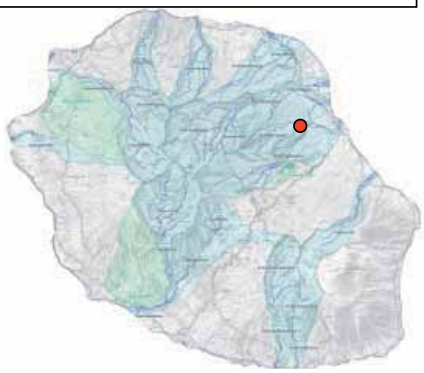
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.74 m/s	Nb de taxons total	16
Profondeur moy	23 cm	Nb de taxons Insectes	8
Largeur moy	7.73 m	Nb de taxons Mollusques	4
Supports :			
- Pierres et galets	50 %		
- Graviers	35 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Blocs	15 %		
FST min	0 5 20	Taxons particuliers	- *Atyoida serrata* - *Rhagovelia infernalis infernalis* - *Zygonix torridus*
FST max	0 14 20		
FST moy	0 10 20	Densité totale	1527 individus/m²

Station : ROC 1

Bassin-versant : Rivière des Roches
Rivière : Rivière des Roches
Lieu : Grand Bras**

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR09
Code Sandre	10135508
Altitude	160 m
Distance à la source	10475 m
Distance à la mer	4300 m
X	55,6587
Y	-21,0353



Date d'échantillonnage : 20-10-2010

Caractérisation de la station en 2010

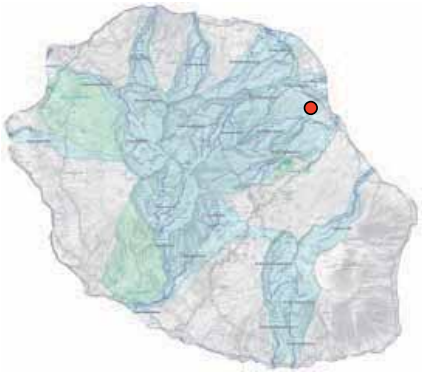
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.2 m/s	Nb de taxons total	19
Profondeur moy	23.25 cm	Nb de taxons Insectes	12
Largeur moy	8.19 m	Nb de taxons Mollusques	3
Supports :			
- Dalles et argiles	60 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Blocs	30 %		
- Pierres et galets	10 %	Taxons particuliers	- *Atrichopogon* sp. 1 - *Dineutus* sp. (l) - *Nigrobaetis colonus* - *Stenochironomus* spp.
FST min	0 – 20		
FST max	0 – 8 – 20		
FST moy	0 – 4 – 20	Densité totale	2557 individus/m²

**Amont confluence Rivières des Roches

Station : ROC 2

Bassin-versant : Rivière des Roches
Rivière : Rivière des Roches
Lieu : Mon désir

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR09
Code Sandre	10130460
Altitude	12 m
Distance à la source	13625 m
Distance à la mer	3625 m
X	55,6747
Y	-21,0162



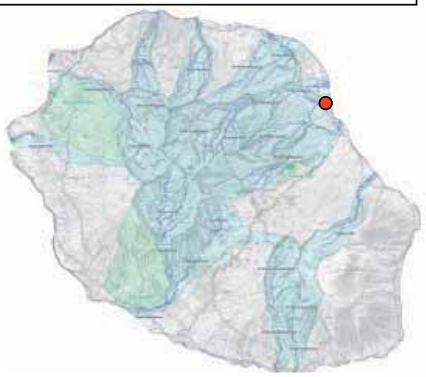
Date d'échantillonnage : 20-10-2010

Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.13 m/s	Nb de taxons total	18
Profondeur moy	27.42 cm	Nb de taxons Insectes	8
Largeur moy	26.47 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :			
- Blocs	50 %		
- Pierres et galets	30 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Graviers	20 %		
FST min	0 – 20	Taxons particuliers	- *Stenochironomus* spp. - Talitridae
FST max	0 – 13 – 20		
FST moy	0 – 2 – 20	Densité totale	1013 individus/m²

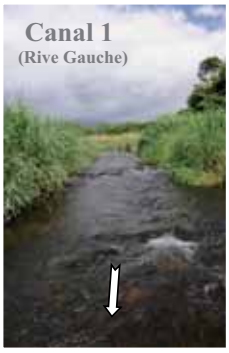
Station: ROC 3

Bassin-versant: Rivière des Roches
Rivière : Rivière des Roches
Lieu: Radier Beauvallon

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR09
Code Sandre	10130480
Altitude	5 m
Distance à la source	15925 m
Distance à la mer	1125 m
X	55,6927
Y	-21,0058



Date d'échantillonnage : 26-10-2010



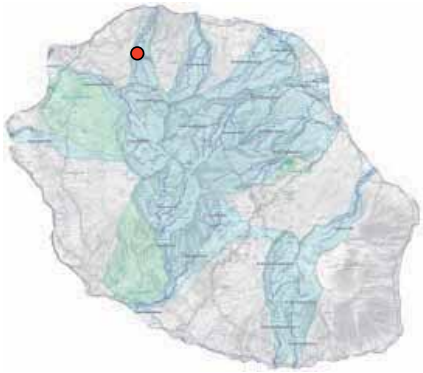
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.67 m/s	Nb de taxons total	14
Profondeur moy	36 cm	Nb de taxons Insectes	6
Largeur moy	13.46 m	Nb de taxons Mollusques	6
Supports :			
- Blocs	90 %		
- Pierres et galets	10 %		
		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Simuliidae
FST min	0 5 20	Taxons particuliers	
FST max	0 16 20		
FST moy	0 10 20	Densité totale	1207 individus/m²

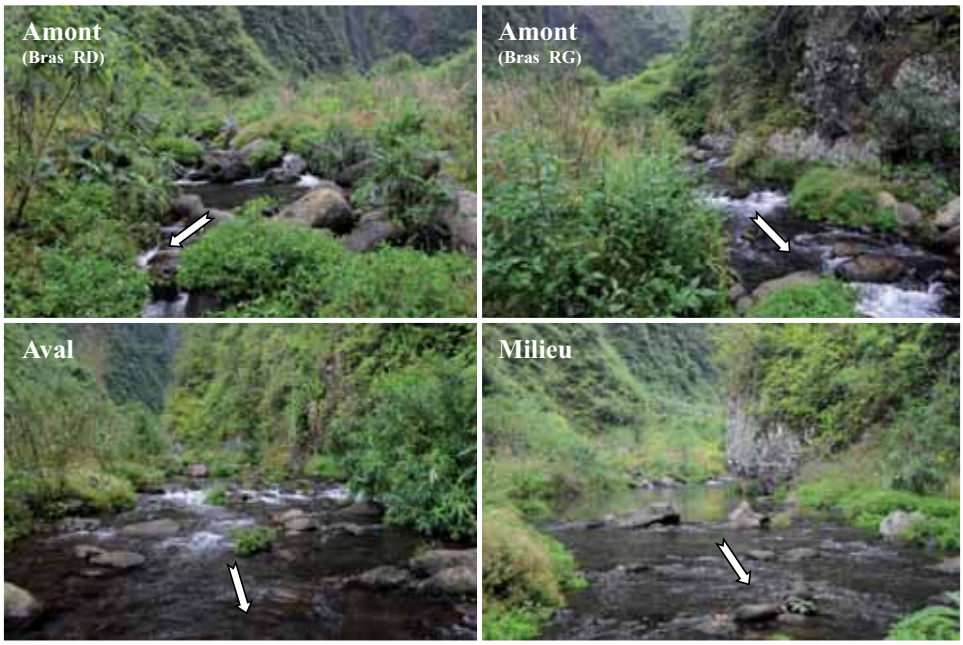
Station : SDE 1

Rivière : Rivière St-Denis
Lieu : A 1km d 'Îlet à Guillaume

Typologie	MP63 - Versants au vent (nord intermédiaire)
Masse d'eau	FRLR01
Code Sandre	10320310
Altitude	115 m
Distance à la source	9975 m
Distance à la mer	5730 m
X	55,2517
Y	-20,55



Date d'échantillonnage : 29-10-2010

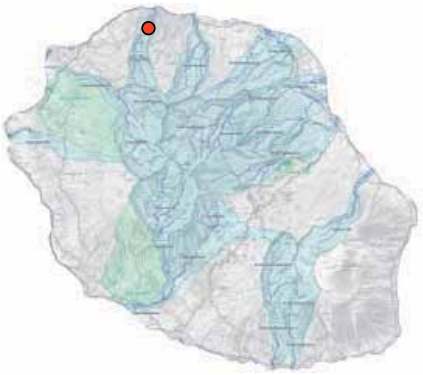


Caractérisation de la station en 2010			
Physique		**Faunistique**	
Vitesse moy	0.42 m/s	Nb de taxons total	20
Profondeur moy	25.83 cm	Nb de taxons Insectes	13
Largeur moy	9.73 m	Nb de taxons Mollusques	4
Supports :			
- Pierres et galets	50 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Blocs	45 %		
- Graviers	5 %	Taxons particuliers	- *Atrichopogon* sp. 2 - *Eoophyla* sp. - Sciomyzidae
FST min	0 20		
FST max	0 16 20		
FST moy	0 6 20	Densité totale	2449 individus/m²

Station : SDE 2

Rivière : Rivière St-Denis
Lieu : Amont captage AEP

Typologie	MP63 - Versants au vent (nord intermédiaire)
Masse d'eau	FRLR01
Code Sandre	10320350
Altitude	70 m
Distance à la source	11575 m
Distance à la mer	3850 m
X	55,433
Y	-20,908



Date d'échantillonnage : 03-11-2010

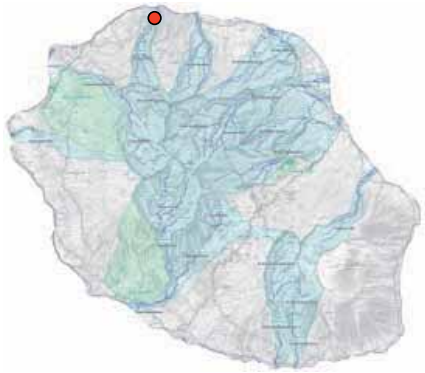
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.56 m/s	Nb de taxons total	23
Profondeur moy	30.58 cm	Nb de taxons Insectes	14
Largeur moy	8.87 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- *Hydropsyche mokaensis*
- Pierres et galets	80 %	Taxons particuliers	- *Atrichopogon* sp. 1
- Blocs	20 %		- *Dineutus* sp. (l)
			- *Nigrobaetis colonus*
			- Talitridae
			- *Microvelia bourbonensis*
FST min	0 — 20		
FST max	0 — 14 — 20		
FST moy	0 — 8 — 20	Densité totale	2001 individus/m²

Station : SDE 3

Rivière : Rivière St-Denis
Lieu : Bras de la Rivière

Typologie	MP63 - Versants au vent (nord intermédiaire)
Masse d'eau	FRLR01
Code Sandre	10320380
Altitude	20 m
Distance à la source	14225 m
Distance à la mer	1425 m
X	55,4426
Y	-20,8875



Date d'échantillonnage : 03-11-2010

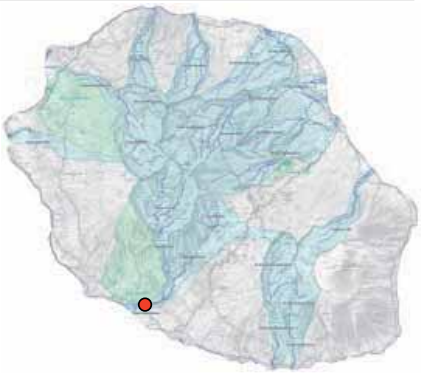
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.28 m/s	Nb de taxons total	16
Profondeur moy	23.58 cm	Nb de taxons Insectes	9
Largeur moy	2.83 m	Nb de taxons Mollusques	4
Supports :			
- Pierres et galets	85 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - *Hydroptila grucheti* - Simuliidae
- Blocs	10 %		
- Sables et limons	5 %		
FST min	0 — 20	Taxons particuliers	- *Oxyethira flagellata*
FST max	0 — 10 — 20		
FST moy	0 — 4 — 20	Densité totale	4355 individus/m²

Station : SET

Bassin-versant : Rivière St-Etienne
Rivière : Rivière St-Etienne
Lieu : Embouchure Pont RN 1

Typologie	M62 - Cirques sous le vent (couloir)
Masse d'eau	FRLR20
Code Sandre	10610160
Altitude	40 m
Distance à la source	29300 m
Distance à la mer	1575 m
X	55,4215
Y	-21,2952



Date d'échantillonnage : 02-11-2010

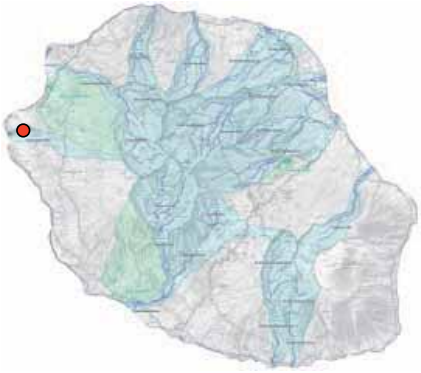
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.56 m/s	Nb de taxons total	18
Profondeur moy	25.58 cm	Nb de taxons Insectes	9
Largeur moy	11.48 m	Nb de taxons Mollusques	6
Supports :			
- Pierres et galets	80 %	Taxons abondants (n.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - Simuliidae
- Blocs	20 %		
FST min	0 3 20	Taxons particuliers	- *Laccobius* spp. (l) - *Nigrobaetis colonus* - *Zygonix torridus*
FST max	0 15 20		
FST moy	0 10 20	Densité totale	2381 individus/m²

Station : SGI

Bassin versant : Ravine St-Gilles
Rivière : Saint Gilles
Lieu : Captage du Verrou

Typologie	MP64 - Versants sous le vent (sud-ouest sec)
Masse d'eau	FRLR21
Code Sandre	10510550
Altitude	40 m
Distance à la source	11850 m
Distance à la mer	2175 m
X	55,2399
Y	-21,0481



Date d'échantillonnage : 06-11-2010

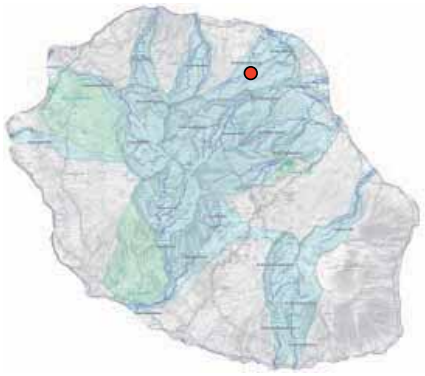
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.3 m/s	Nb de taxons total	23
Profondeur moy	37.58 cm	Nb de taxons Insectes	11
Largeur moy	4.84 m	Nb de taxons Mollusques	9
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae - Tanytarsini
- Pierres et galets	45 %	Taxons particuliers	- *Melanoides tuberculata* - *Microvelia bourbonensis* - *Orthetrum* spp. - *Rhagovelia infernalis infernalis* - *Tinearia alternata*
- Blocs	30 %		
- Sables et limons	25 %		
FST min	0 — 20	Densité totale	2593 individus/m²
FST max	0 — 10 — 20		
FST moy	0 — 6 — 20		

Station : SJE 1

Rivière : Grande Rivière Saint Jean
Lieu : Grand bras de la Grande rivière Saint Jean

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR04
Code Sandre	10300110
Altitude	312 m
Distance à la source	1150 m
Distance à la mer	11150 m
X	55,6029
Y	-20,9668



Date d'échantillonnage : 22-10-2010

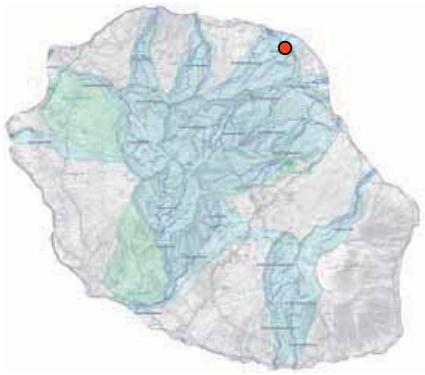
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.06 m/s	Nb de taxons total	21
Profondeur moy	27.25 cm	Nb de taxons Insectes	14
Largeur moy	4.96 m	Nb de taxons Mollusques	3
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Tanytarsini - Orthocladiinae
- Blocs	60 %		
- Pierres et galets	30 %		
- Dalles et argiles	10 %	Taxons particuliers	- *Kempia* sp. - *Microvelia bourbonensis* - *Psychoda* spp. - *Rhagovelia infernalis infernalis*
FST min	0 — 20		
FST max	0 — 9 — 20		
FST moy	0 — 2 — 20	Densité totale	2369 individus/m²

Station : SJE 2

Rivière : Grande Rivière Saint Jean
Lieu : Quartier français

Typologie	MP63 - Versants au vent
Masse d'eau	FRLR04
Code Sandre	10300180
Altitude	6 m
Distance à la source	9400 m
Distance à la mer	2300 m
X	55,6404
Y	-20,9301



Date d'échantillonnage : 22-10-2010

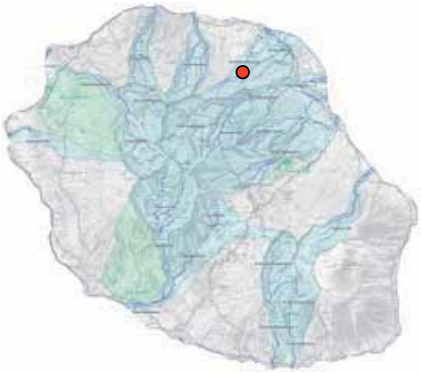
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.22 m/s	Nb de taxons total	21
Profondeur moy	35.42 cm	Nb de taxons Insectes	10
Largeur moy	7.53 m	Nb de taxons Mollusques	8
Supports :			
- Pierres et galets	60 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Chironomini - Orthocladiinae
- Graviers	20 %		
- Hydrophytes	20 %	Taxons particuliers	- *Eoophyla* sp. - *Melanoides tuberculata* - *Oxyethira flagellata* - *Rhagovelia infernalis infernalis*
FST min	0 — 20		
FST max	0 — 7 — 20		
FST moy	0 — 3 — 20	Densité totale	5776 individus/m²

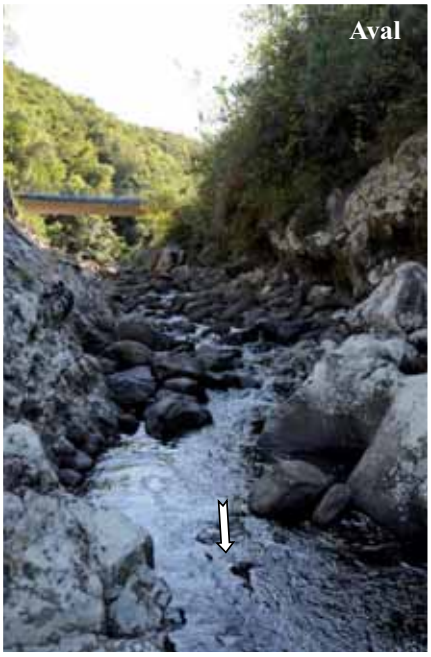
Station : SSU 1

Rivière : Rivière Sainte-Suzanne
Lieu : Amont confluence Bras Laurent**

Typologie	MP63 - Versants au vent (nord intermédiaire)
Masse d'eau	FRLR03
Code Sandre	10300215
Altitude	730 m
Distance à la source	6200 m
Distance à la mer	10250 m
X	55,5638
Y	-20,9755



Date d'échantillonnage : 23-10-2010



Caractérisation de la station en 2010

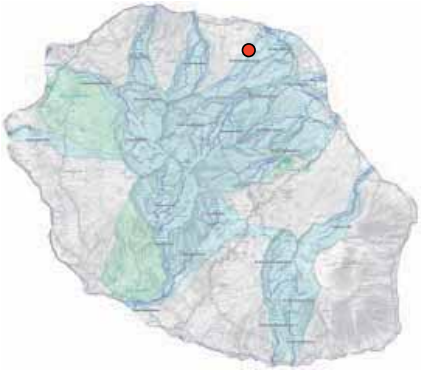
Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.16 m/s	Nb de taxons total	22
Profondeur moy	23.33 cm	Nb de taxons Insectes	13
Largeur moy	5.02 m	Nb de taxons Mollusques	4
Supports :		Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	- Orthocladiinae
- Blocs	60 %	Taxons particuliers	- Atrichopogon sp. 1 - *Coenagriocnemis reuniense* - *Eoophyla* sp. - *Oxyethira flagellata* - *Microvelia bourbonensis*
- Dalles et argiles	30 %		
- Graviers	10 %		
FST min	0 – 20	Densité totale	5483 individus/m²
FST max	0 – 12 – 20		
FST moy	0 – 3 – 20		

** Amont pont route des hauts

Station : SSU 2

Rivière : Rivière Sainte-Suzanne
Lieu : Amont cascade Niagara

Typologie	MP63 - Versants au vent (nord intermédiaire)
Masse d'eau	FRLR03
Code Sandre	10300240
Altitude	150 m
Distance à la source	12175 m
Distance à la mer	4050 m
X	55,5927
Y	-20,9324

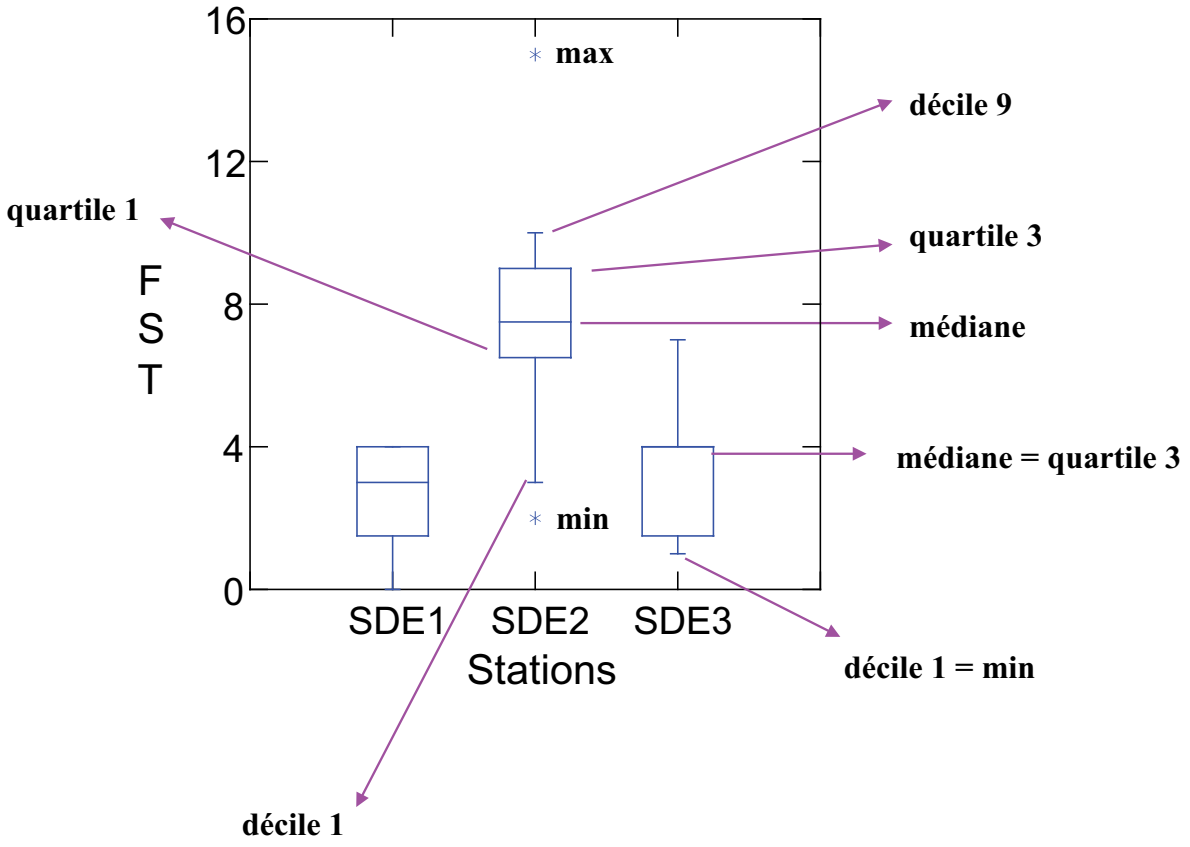


Date d'échantillonnage : 23-10-2010

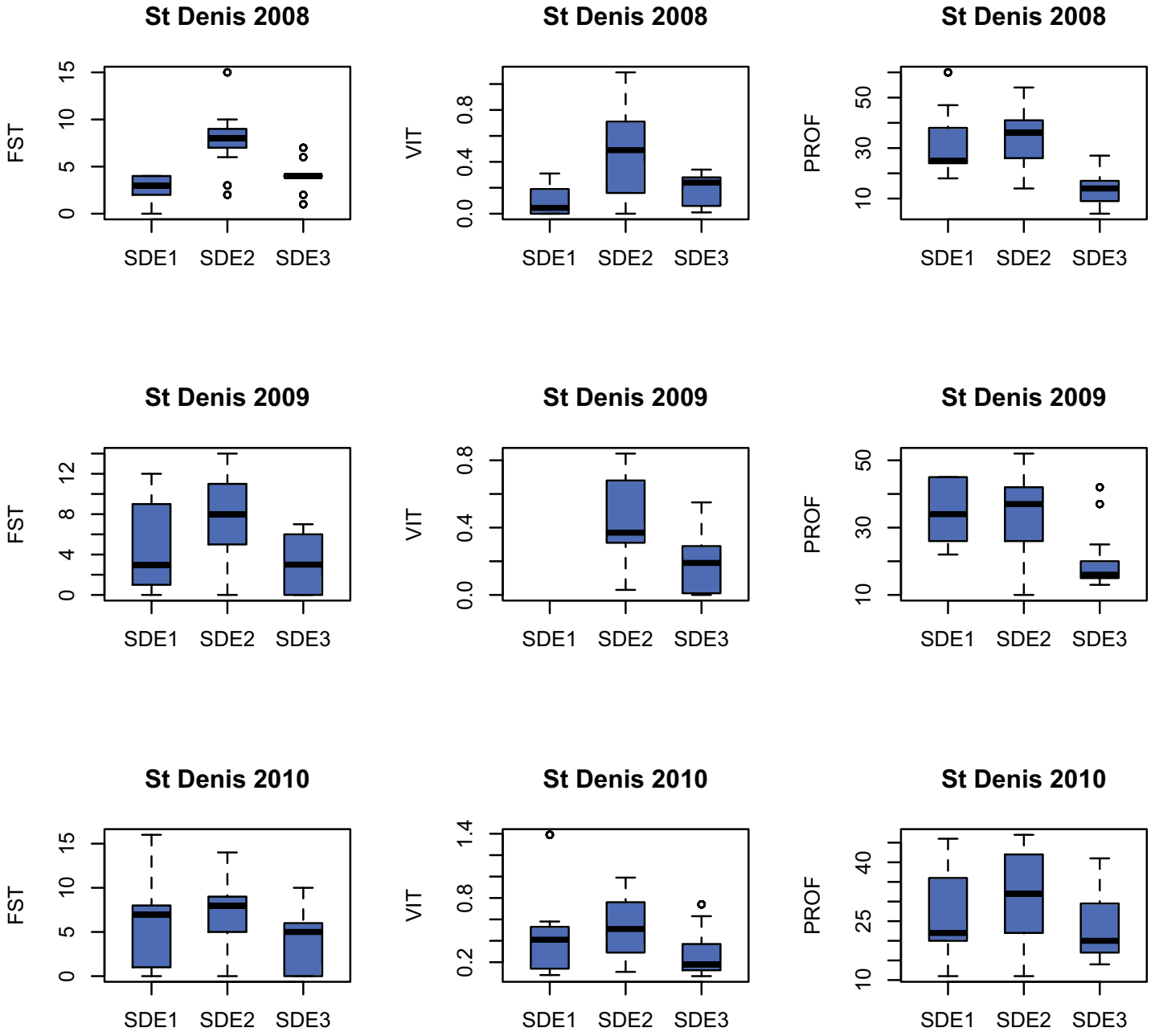
Caractérisation de la station en 2010

Physique		Faunistique	
Vitesse moy	0.11 m/s	Nb de taxons total	19
Profondeur moy	29.17 cm	Nb de taxons Insectes	11
Largeur moy	7.87 m	Nb de taxons Mollusques	5
Supports :			
- Blocs	70 %	Taxons abondants (nb.indiv/m²>500)	
- Pierres et galets	30 %		
		Taxons particuliers	- *Kempia* sp. - *Melanoides tuberculata* - *Microvelia bourbonensis* - *Rhagovelia infernalis infernalis*
FST min	0 — 20		
FST max	0 — 9 — 20		
FST moy	0 — 2 — 20	Densité totale	969 individus/m²

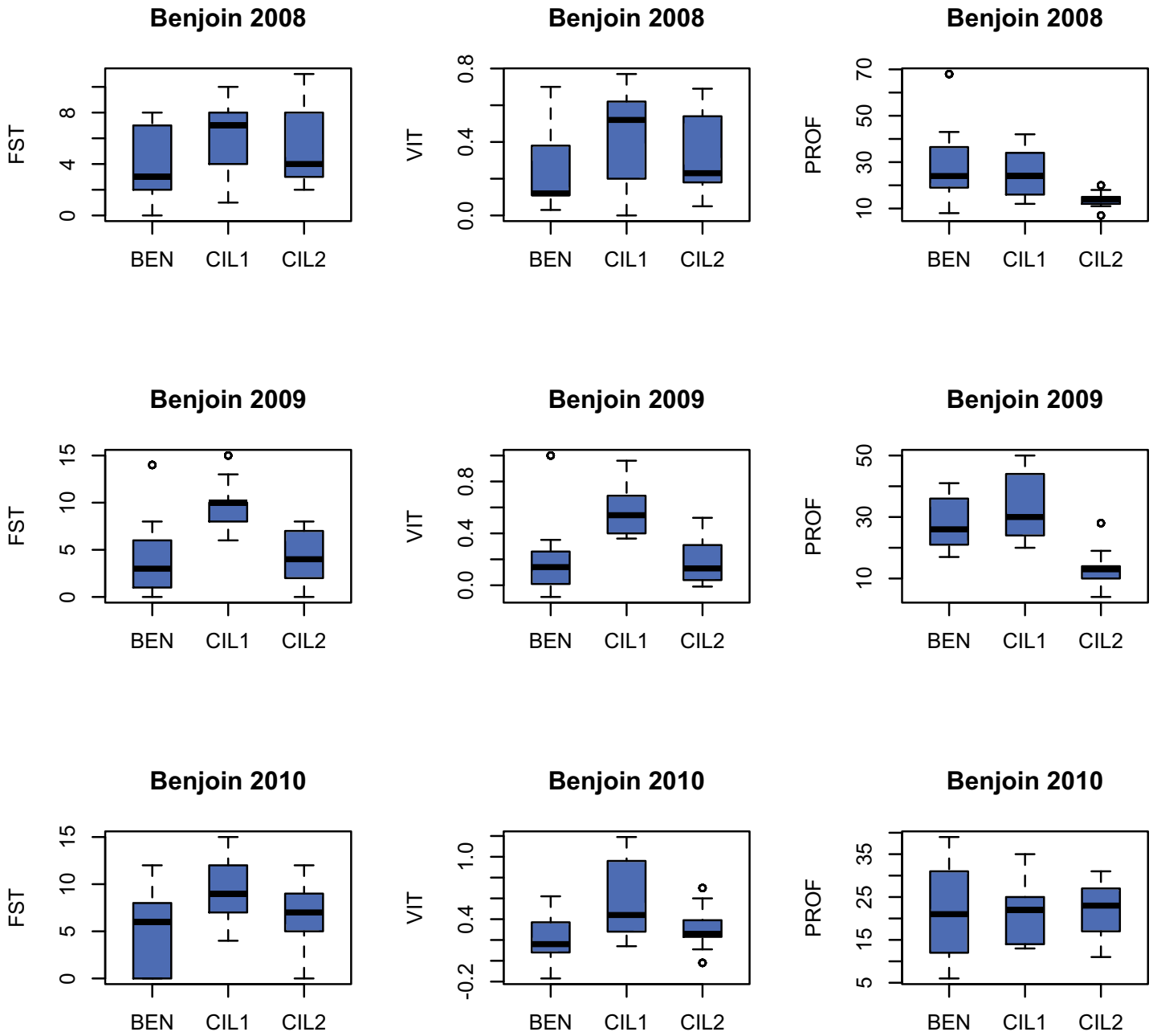
<u>Annexe 4</u> : Représentation graphique (Box plots) des forces de cisaillement (FST), des vitesses moyennes du courant et des profondeurs mesurés pour chaque prélèvement effectué sur chacune des stations au cours des campagnes 2008, 2009 et 2010. Les stations sont présentées sur le gradient amont-aval de chaque rivière. Les rivières de St-Gilles, des Remparts et de l'Est, avec une seule station échantillonnée, sont représentées sur le même graphe.



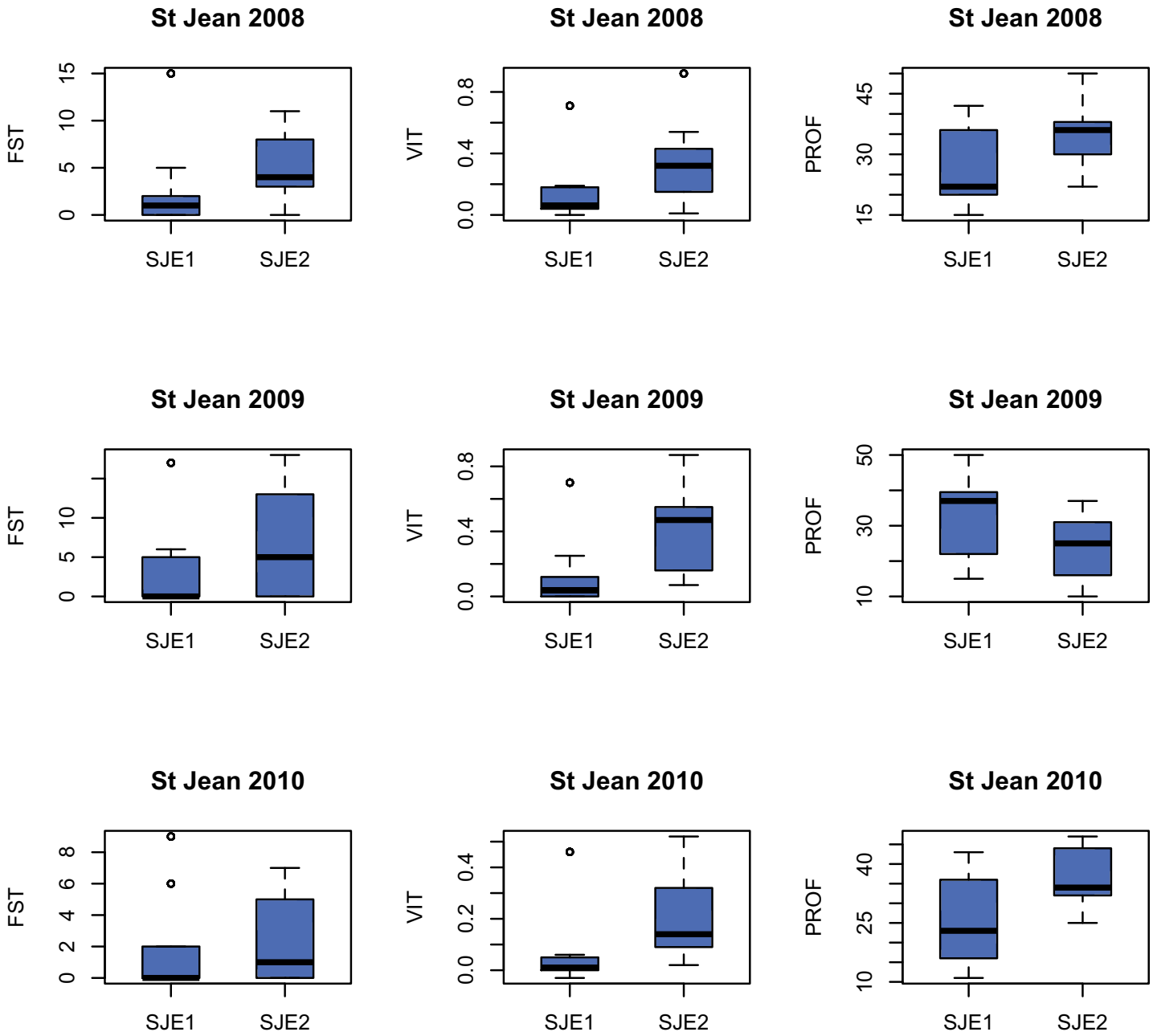
St Denis
FST-VIT-PROF



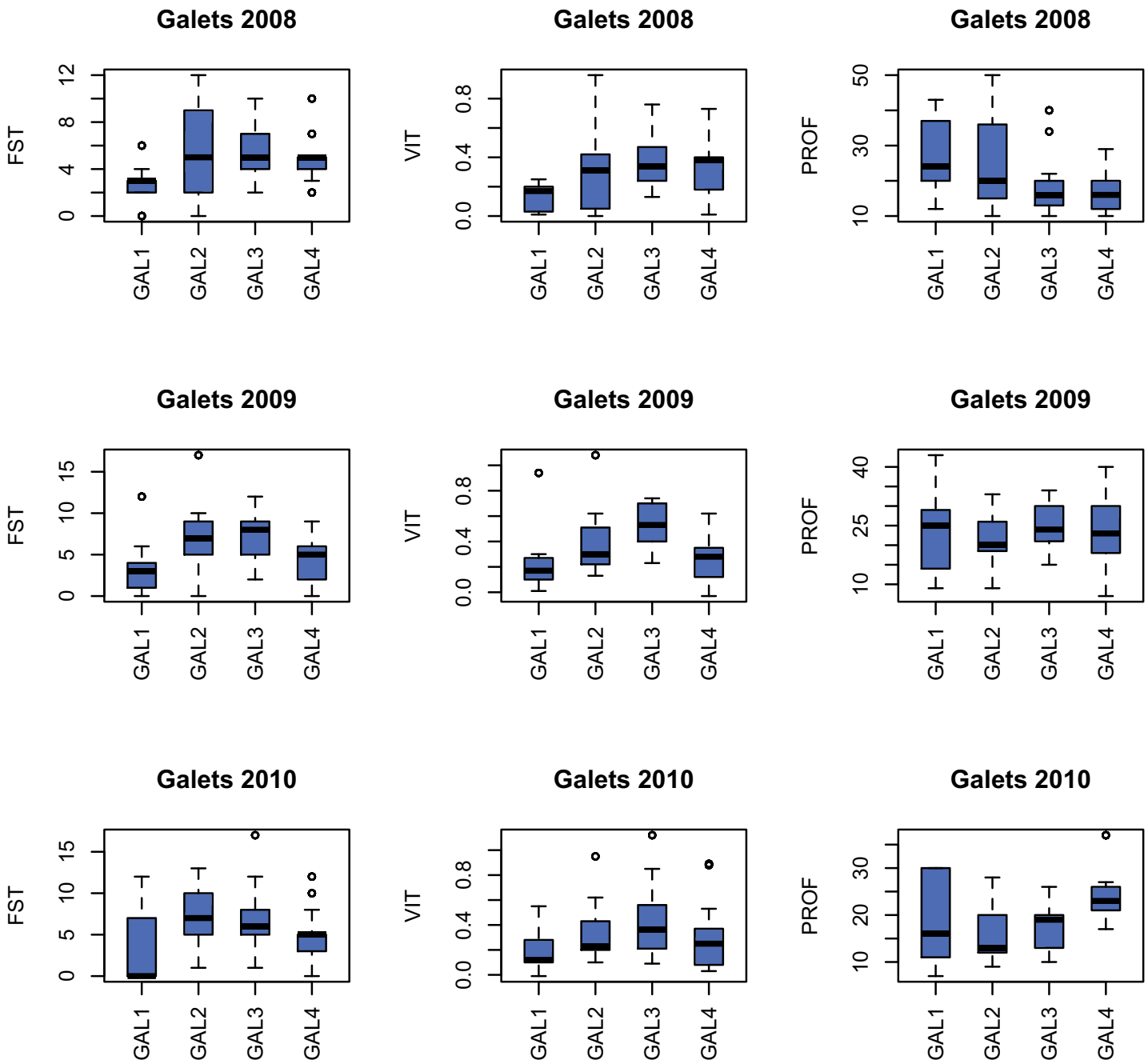
Benjoin
FST-VIT-PROF



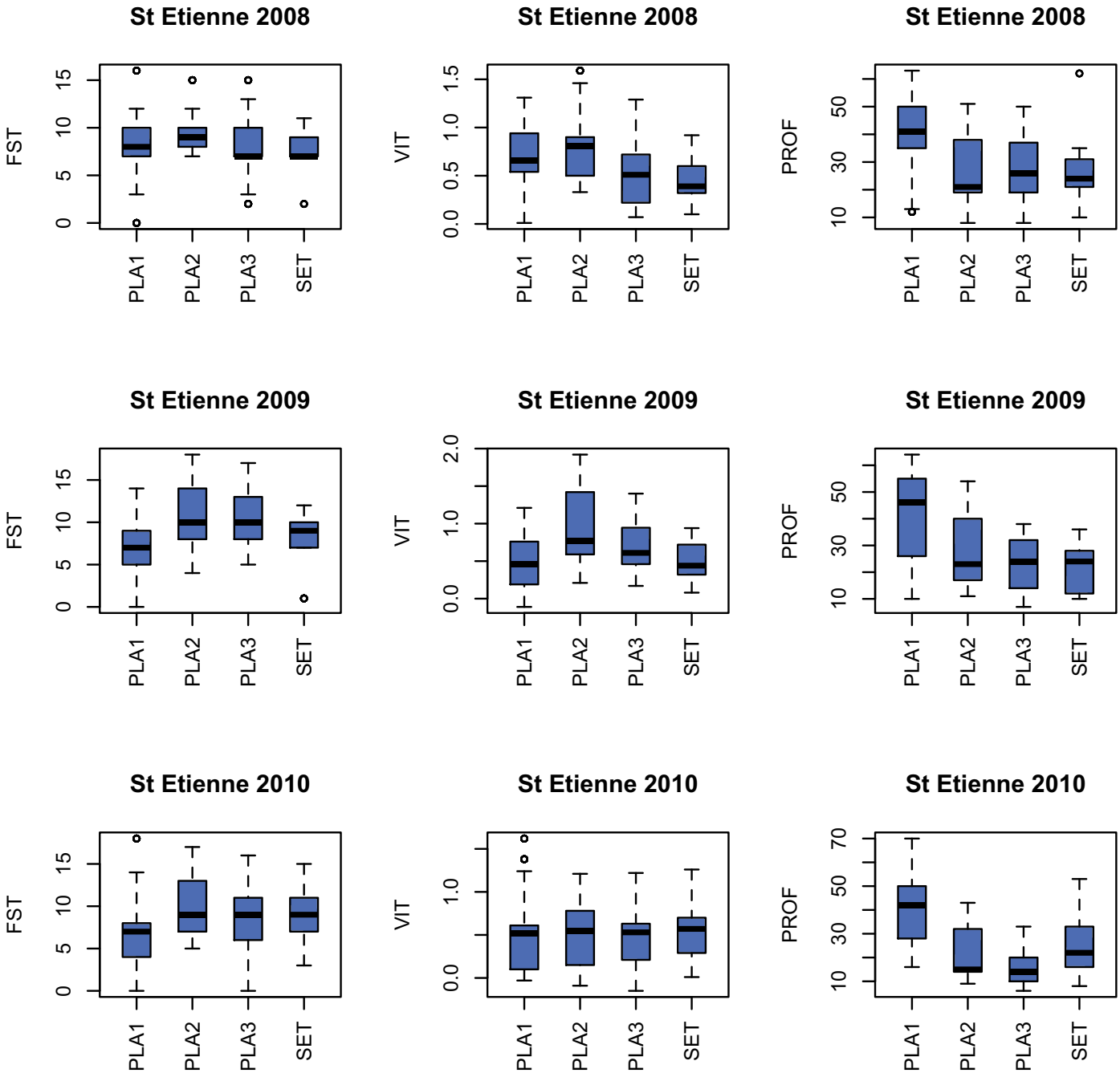
St Jean
FST-VIT-PROF



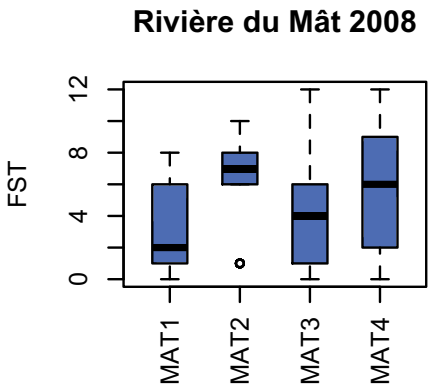
Galets
FST-VIT-PROF

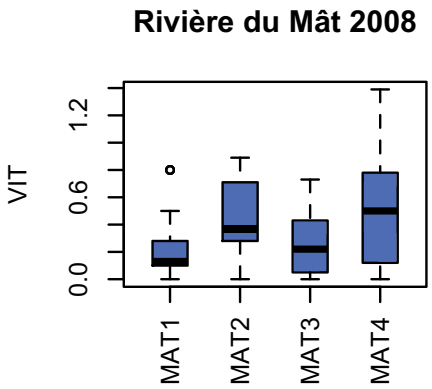


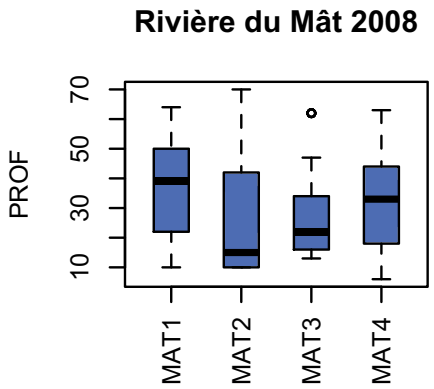
St Etienne
FST-VIT-PROF

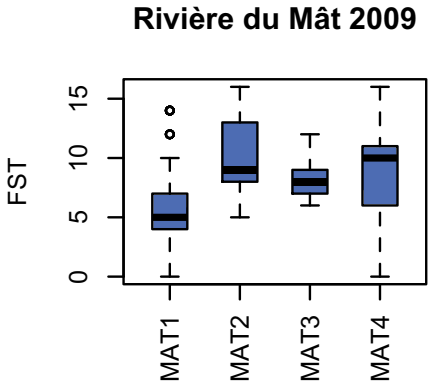


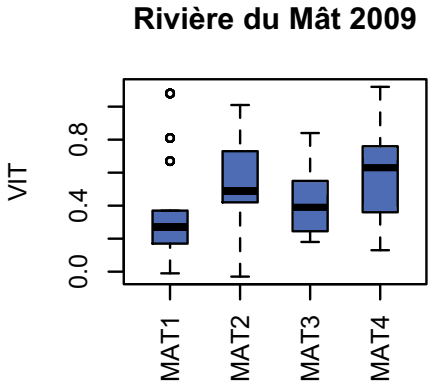
Rière du Mât
FST-VIT-PROF

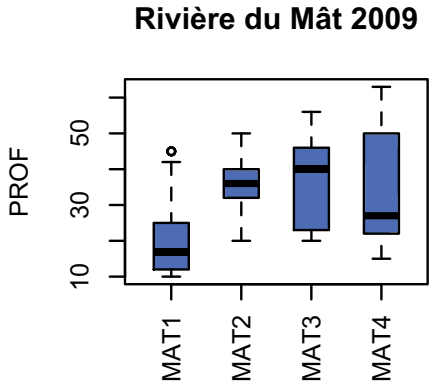


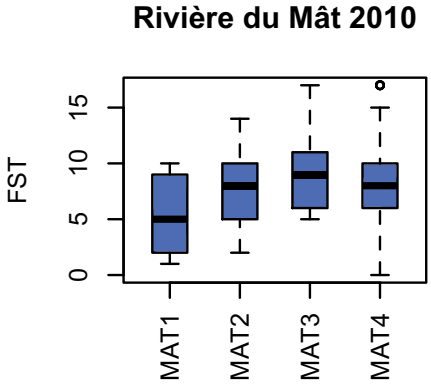


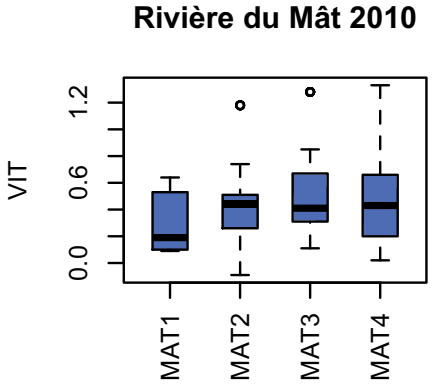


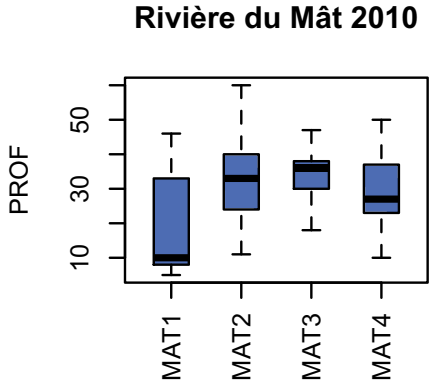




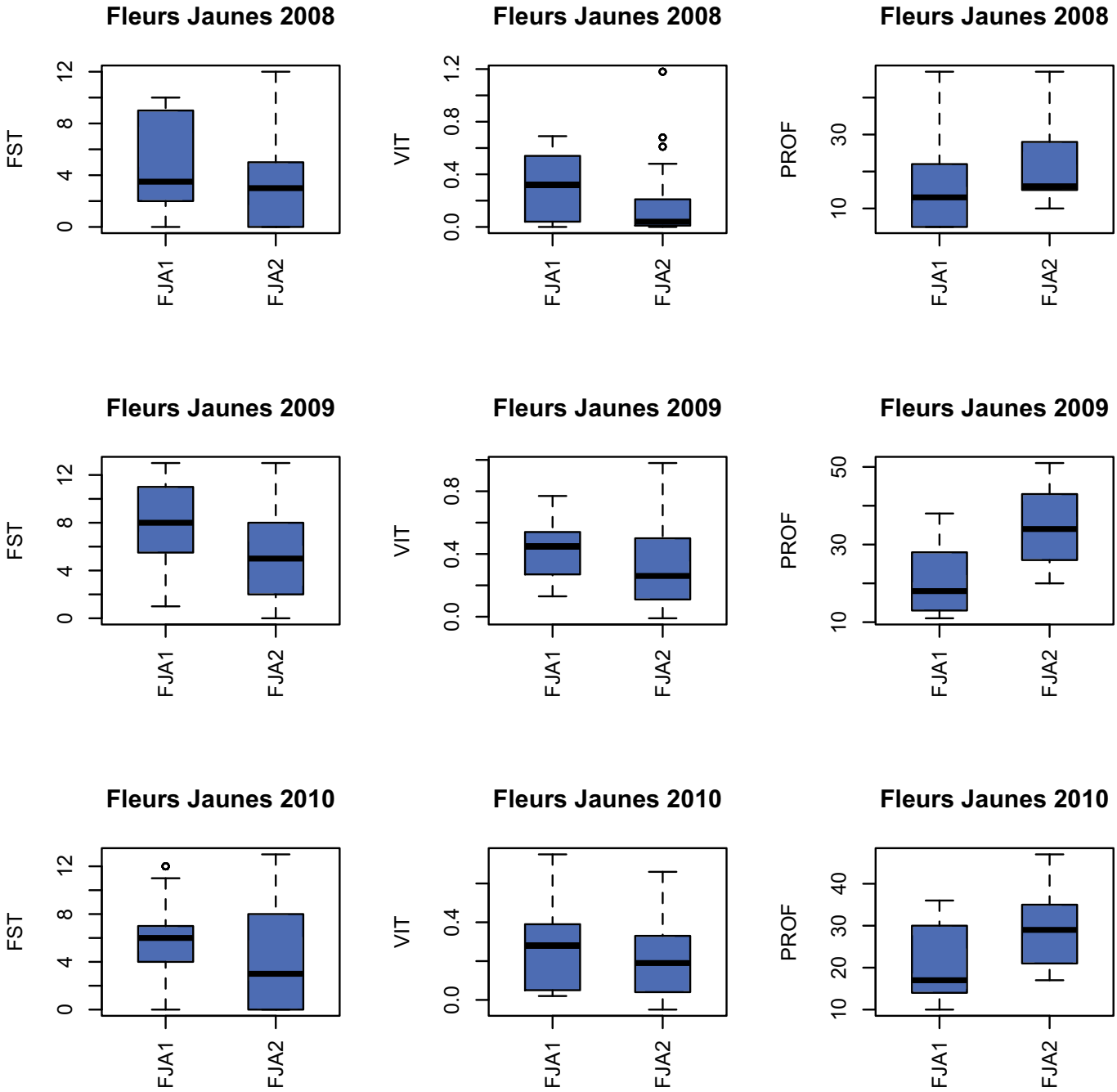




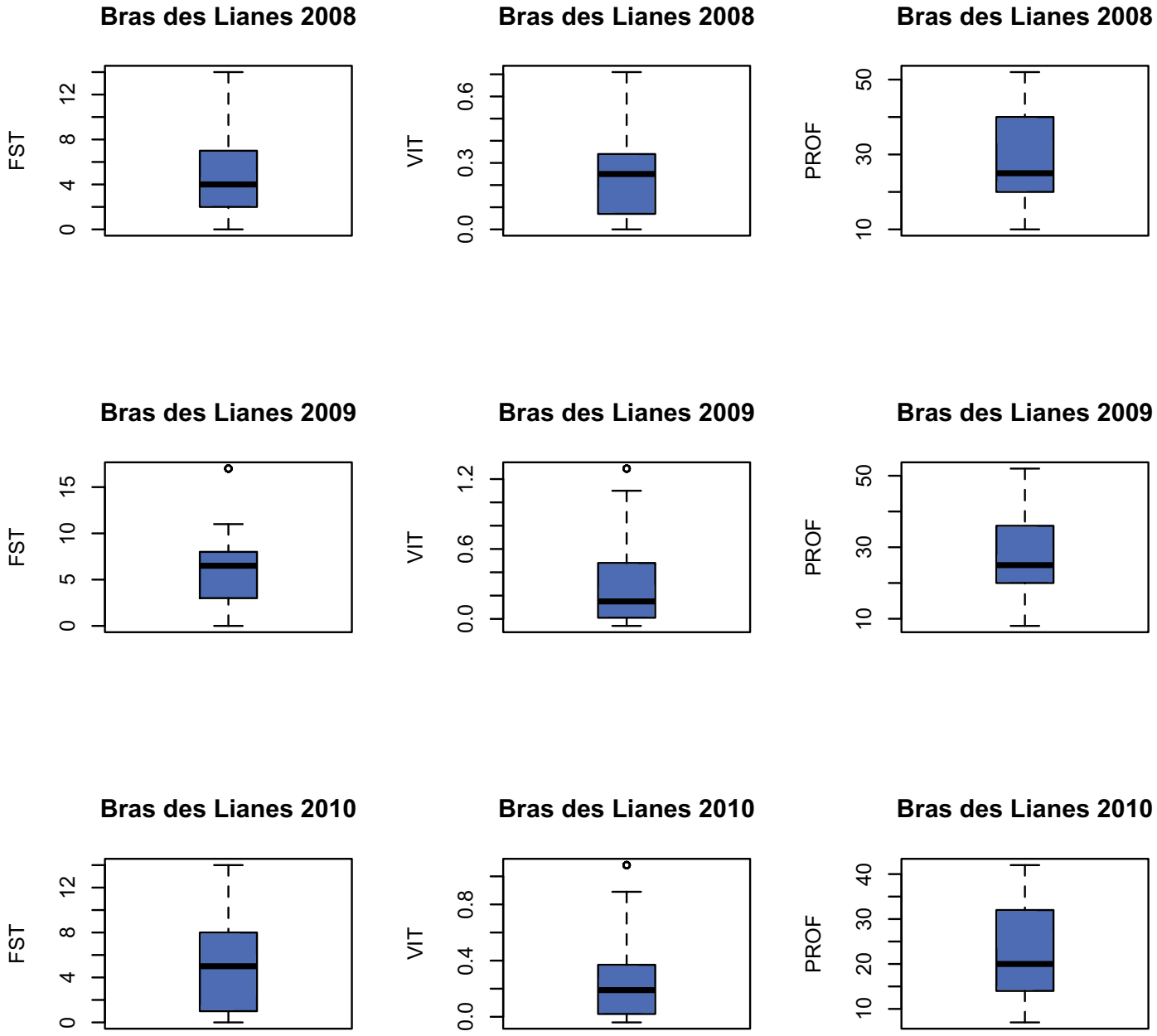




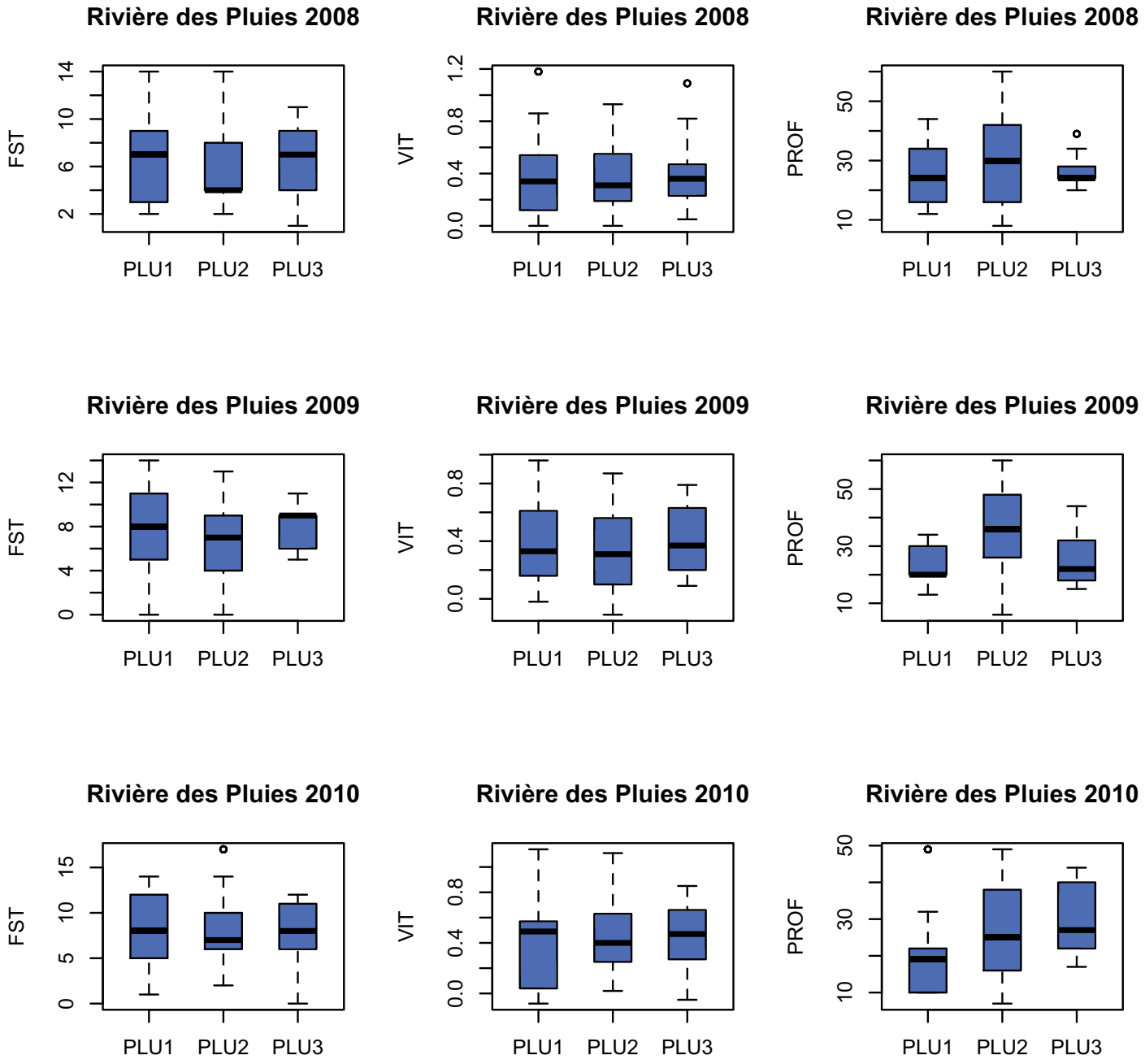
Fleurs Jaunes
FST-VIT-PROF



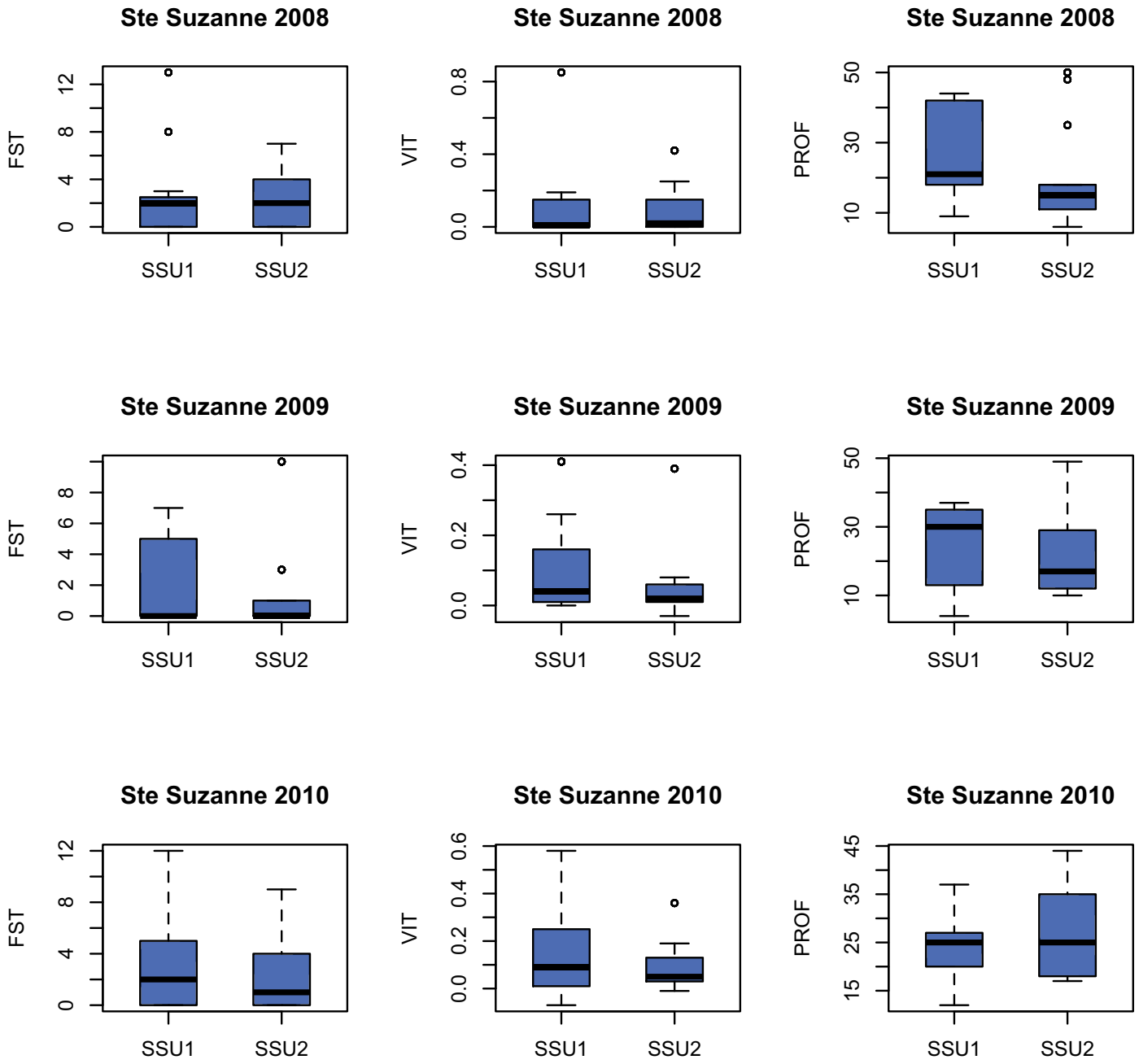
Bras des Lianes
FST-VIT-PROF



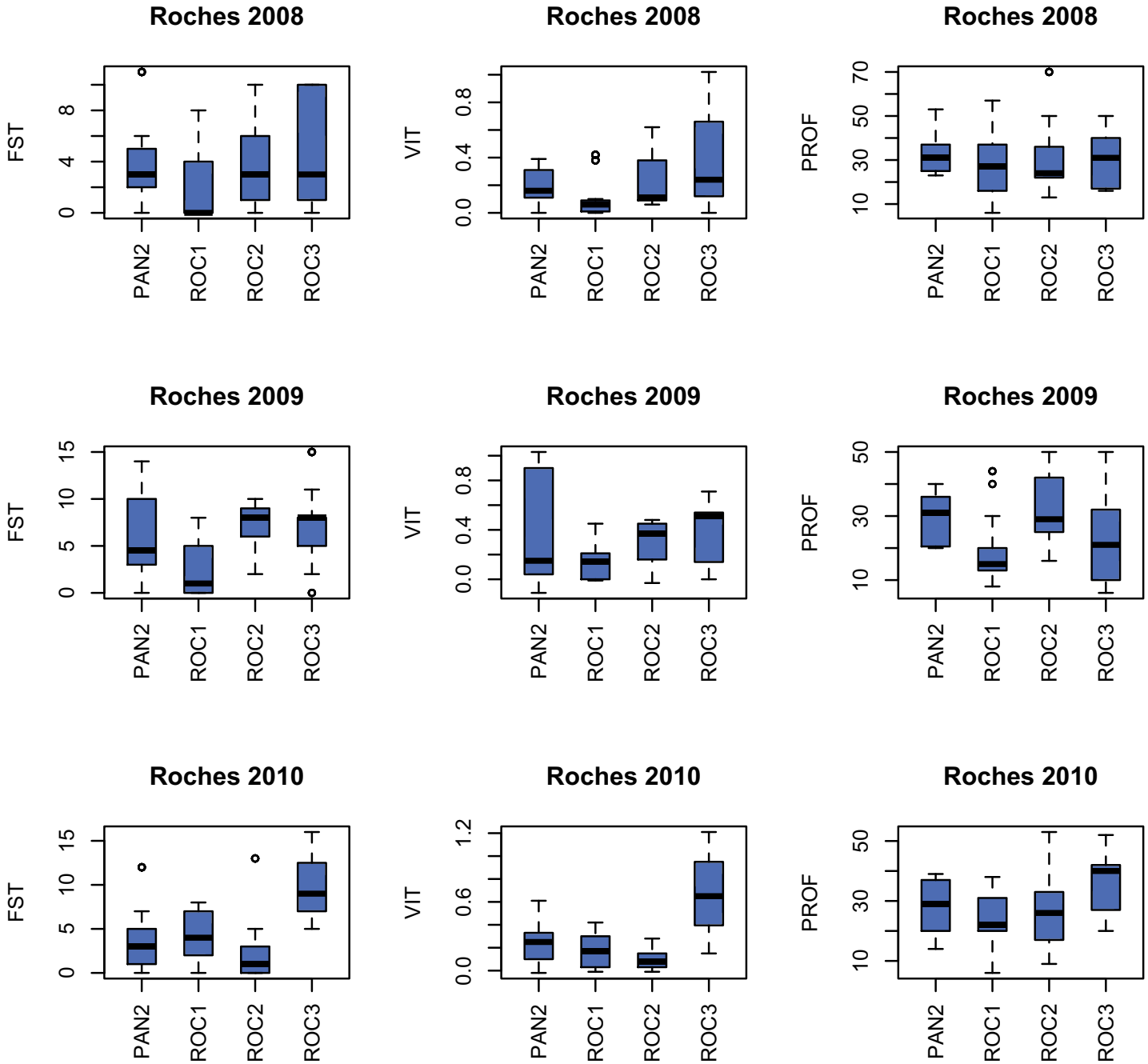
Rivière des Pluies
FST-VIT-PROF



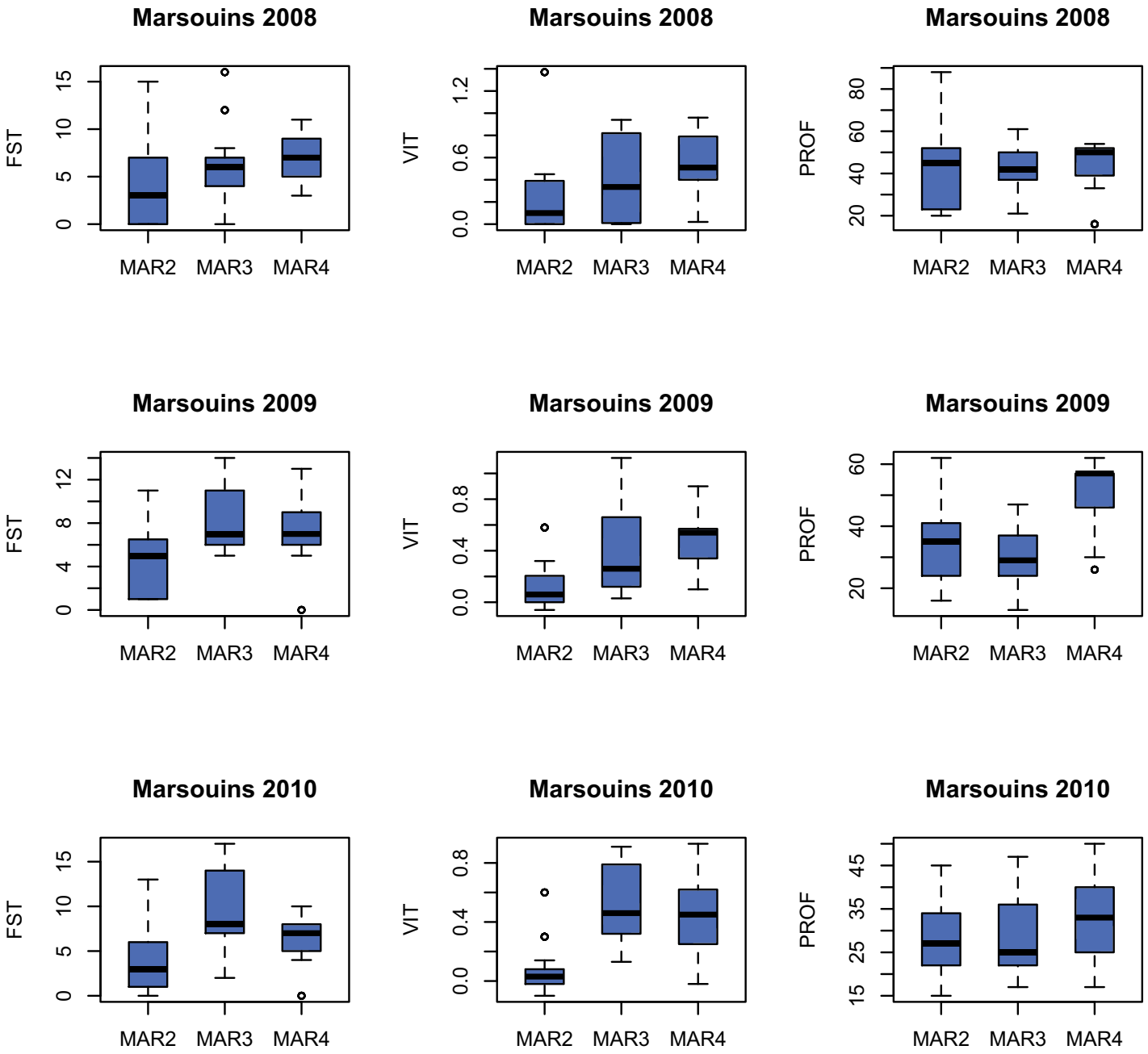
Ste Suzanne
FST-VIT-PROF



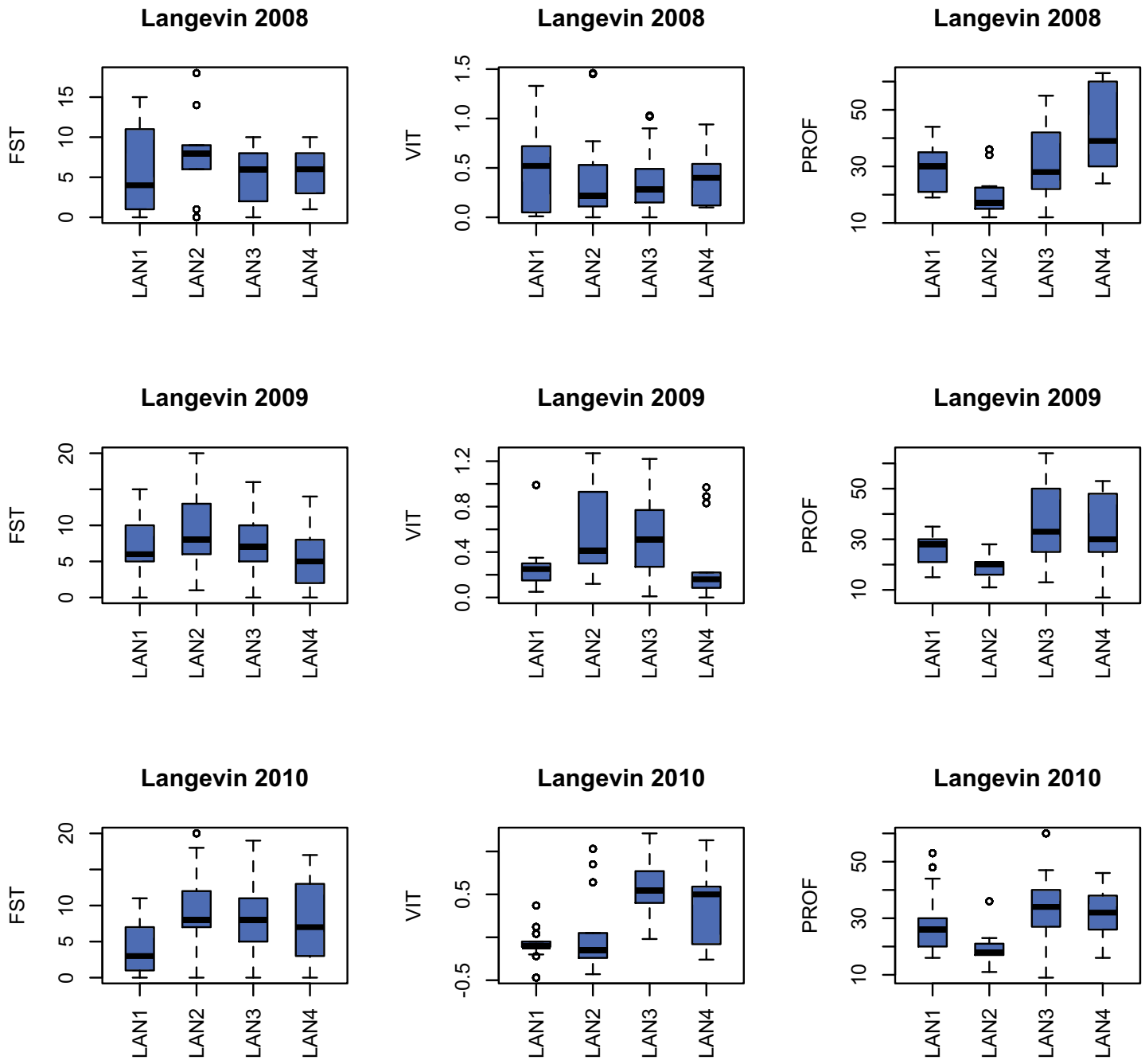
Rivière des Roches
FST-VIT-PROF



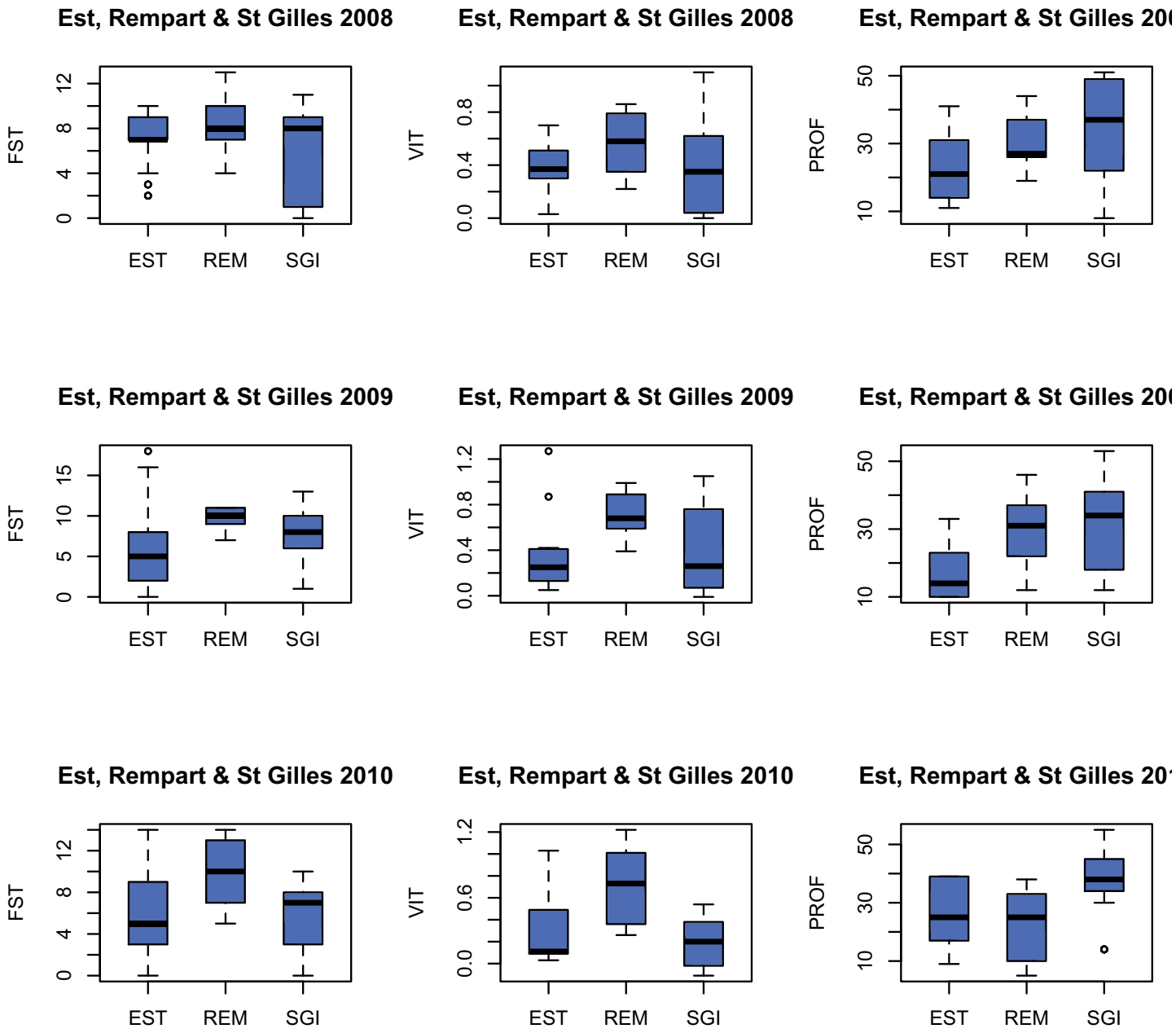
Rivière des Marsouins
FST-VIT-PROF



Rivière Langevin
FST-VIT-PROF

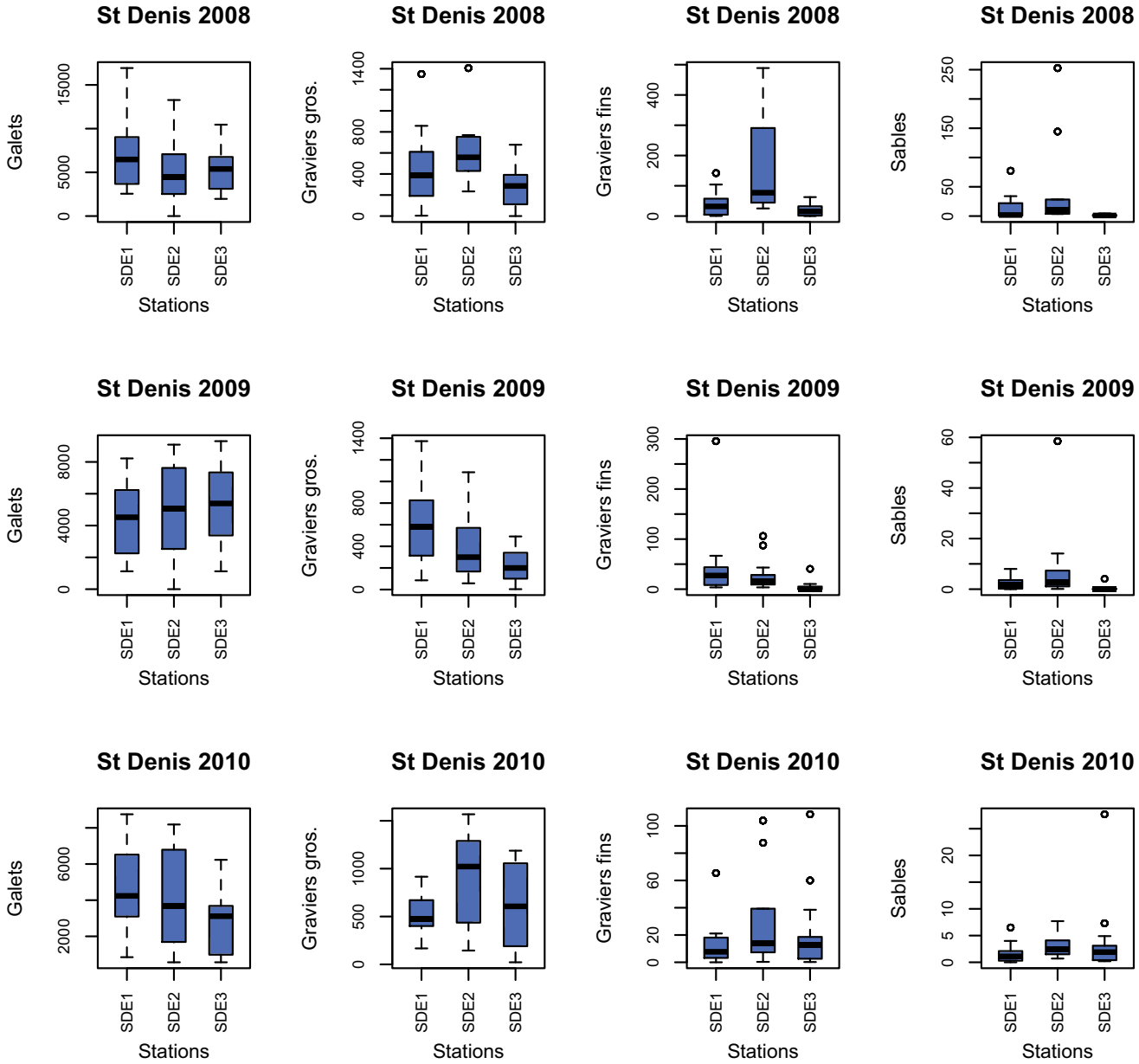


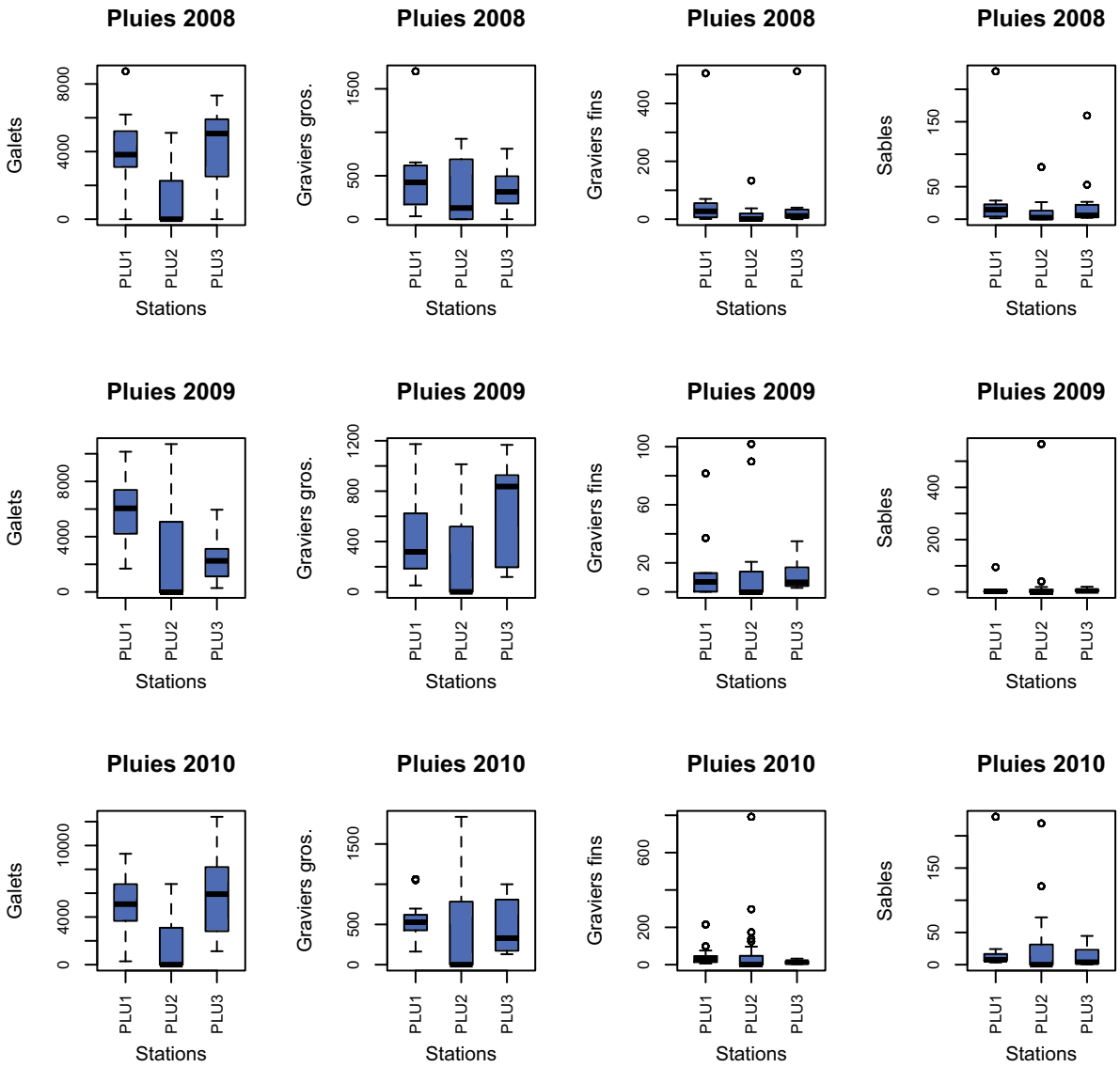
Est, Rempart & St Gilles
FST-VIT-PROF

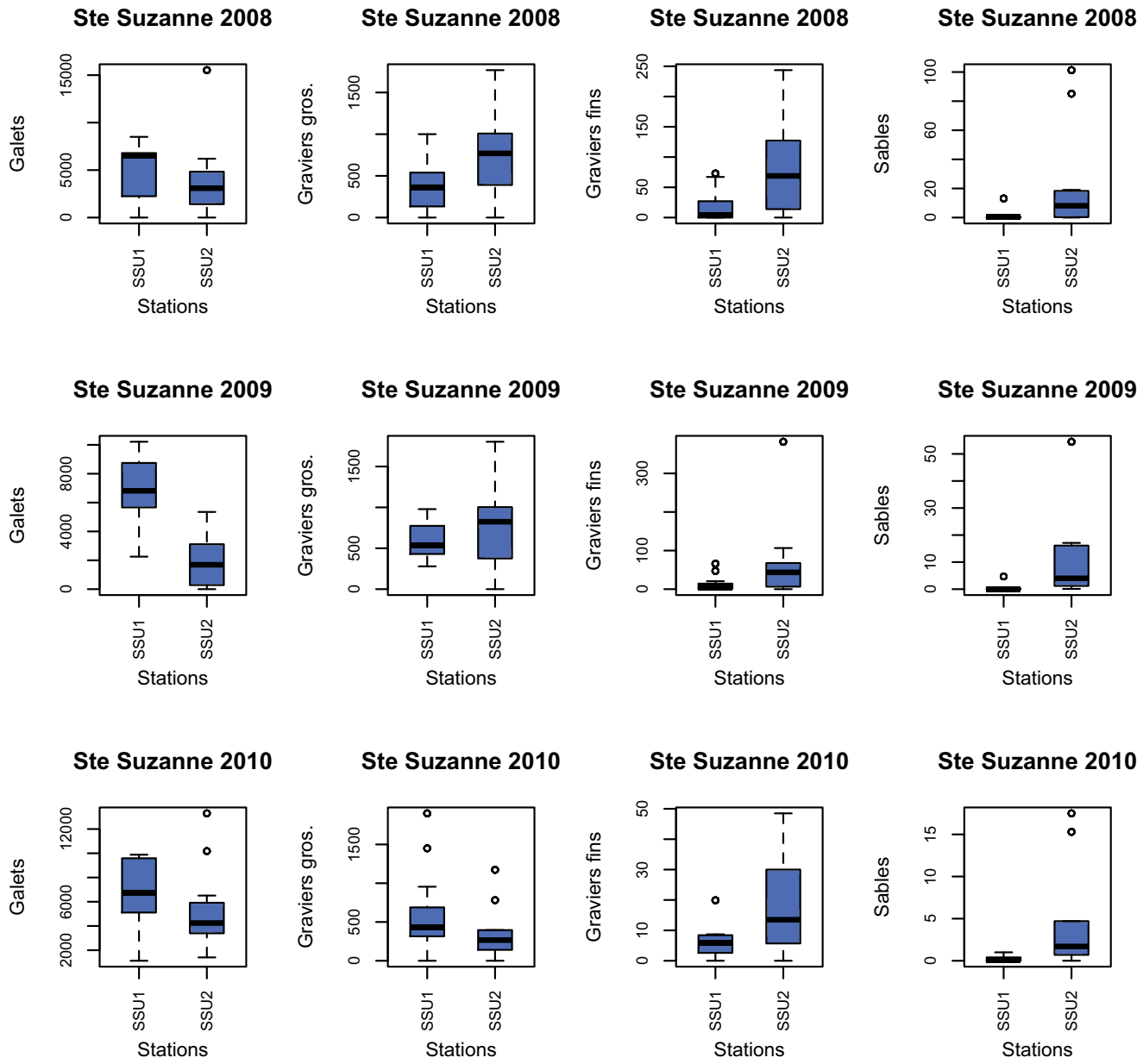


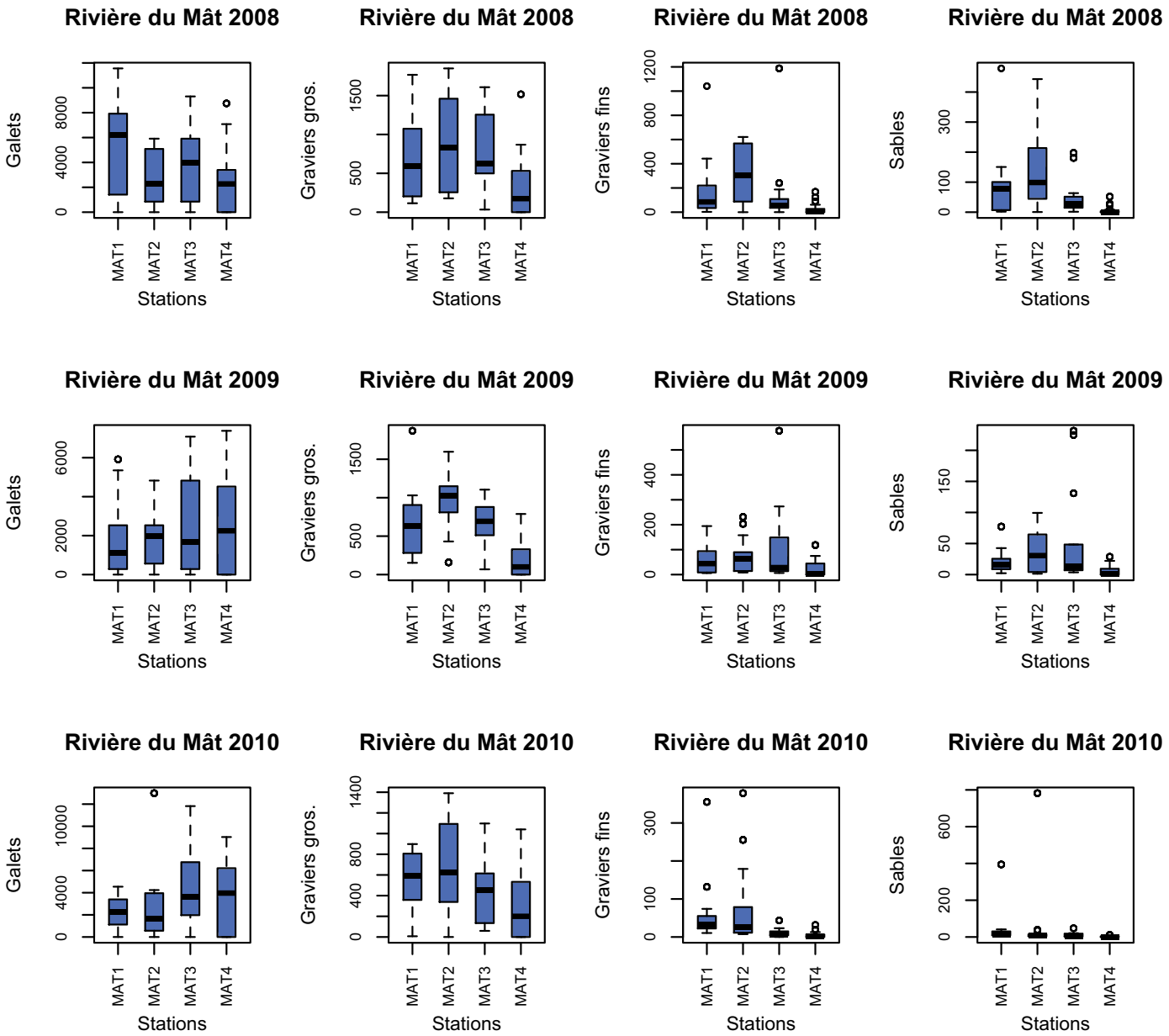
Annexe 5 : Représentation graphique des poids des différentes classes du substrat mesurés pour chaque prélèvement effectué sur chacune des stations au cours des campagnes 2008, 2009 et 2010. Les stations sont présentées sur le gradient amont-aval de chaque rivière. Les rivières de St-Gilles, des Remparts et de l'Est, avec une seule station échantillonnée, sont représentées sur le même graphe.

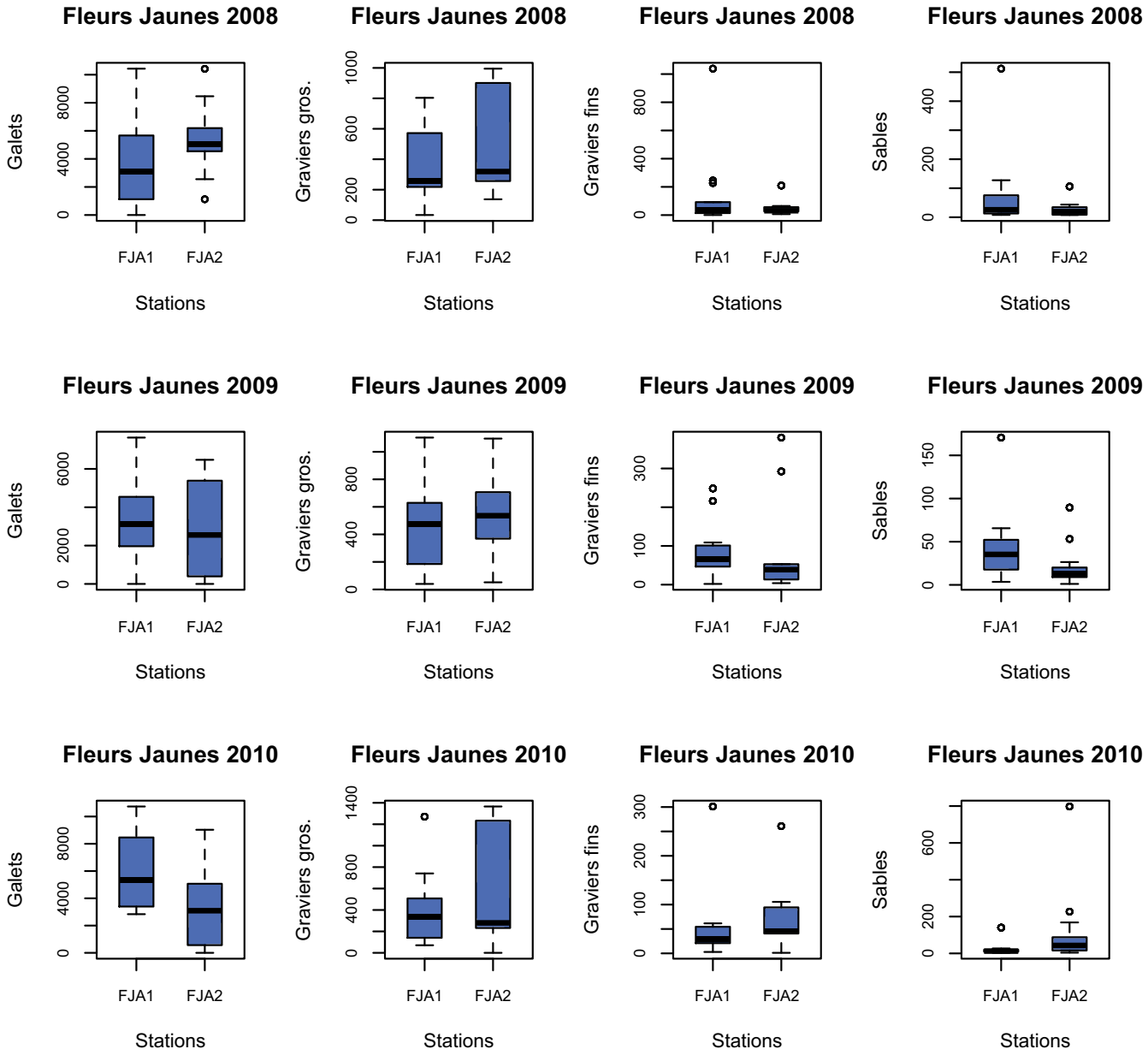
St Denis

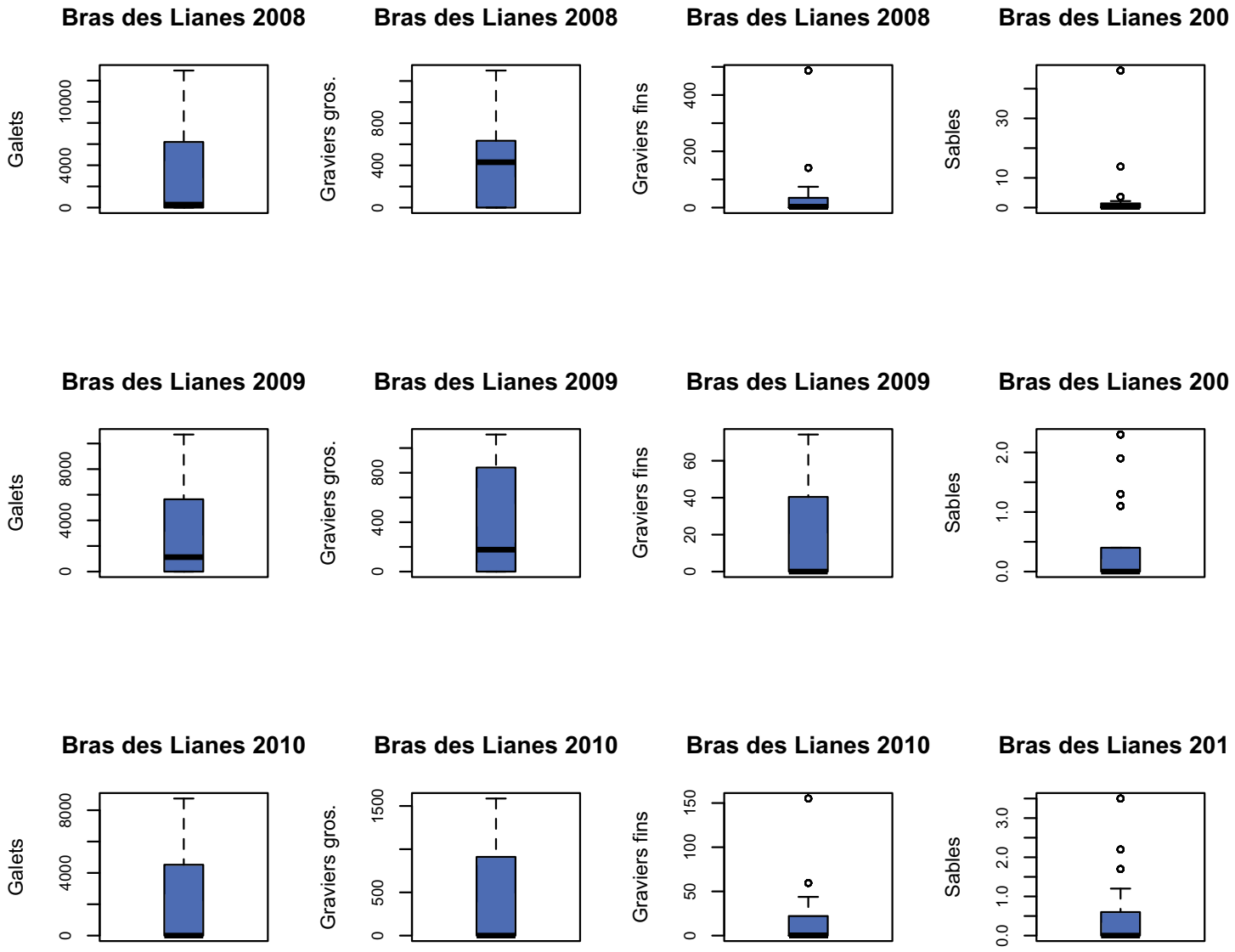

St Denis 2008
Galets
0
5000
15000
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2008
Graviers gros.
0
400
800
1400
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2008
Graviers fins
0
200
400
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2008
Sables
0
50
150
250
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2009
Galets
0
4000
8000
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2009
Graviers gros.
0
400
800
1400
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2009
Graviers fins
0
100
200
300
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2009
Sables
0
20
40
60
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2010
Galets
2000
6000
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2010
Graviers gros.
0
500
1000
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2010
Graviers fins
0
20
60
100
SDE1
SDE2
SDE3
Stations
St Denis 2010
Sables
0
5
10
20
SDE1
SDE2
SDE3
Stations

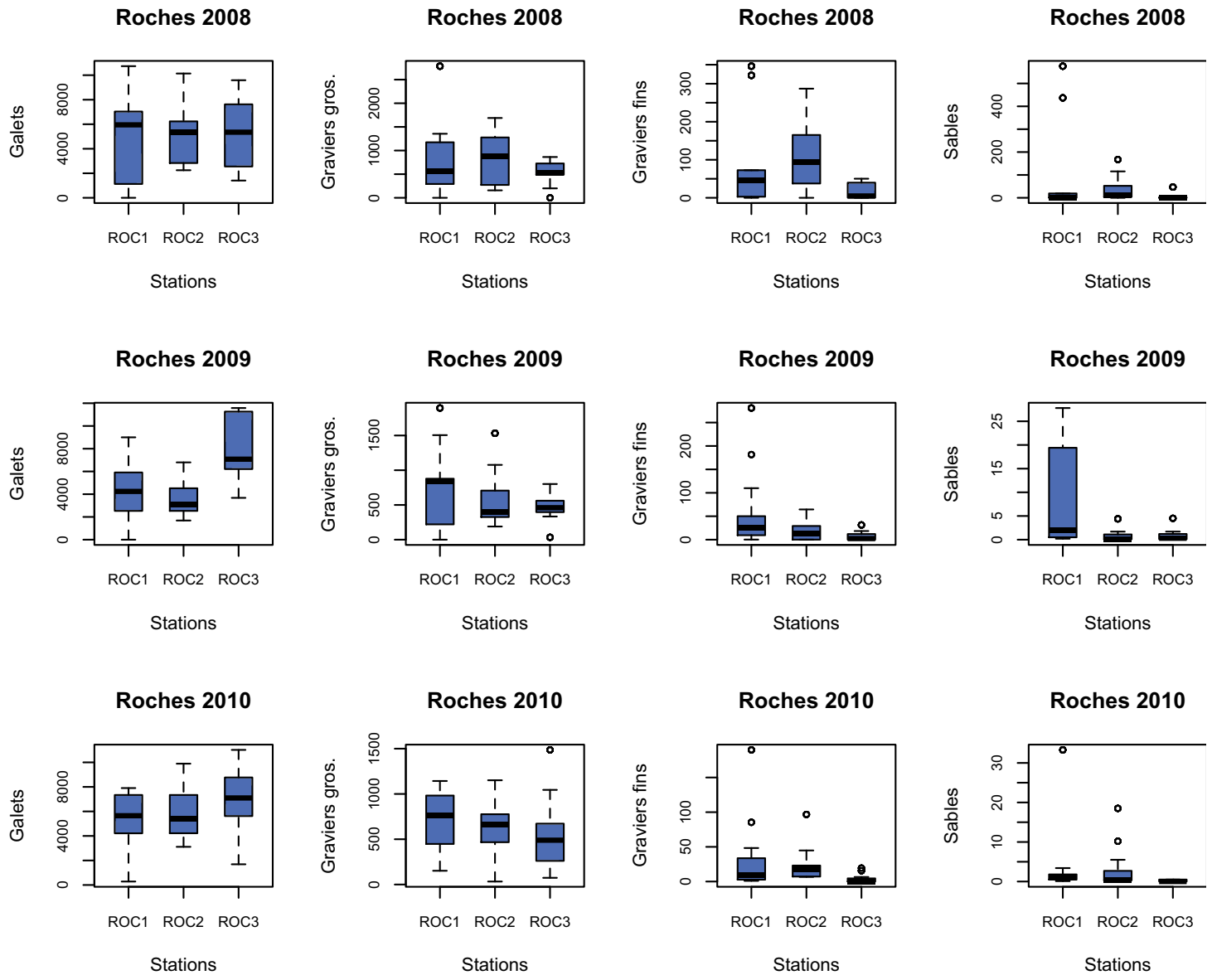

Pluies 2008
Pluies 2008
Pluies 2008
Pluies 2008
Pluies 2009
Pluies 2009
Pluies 2009
Pluies 2009
Pluies 2010
Pluies 2010
Pluies 2010
Pluies 2010
Galets
Graviers gros.
Graviers fins
Sables
Stations
PLU1
PLU2
PLU3

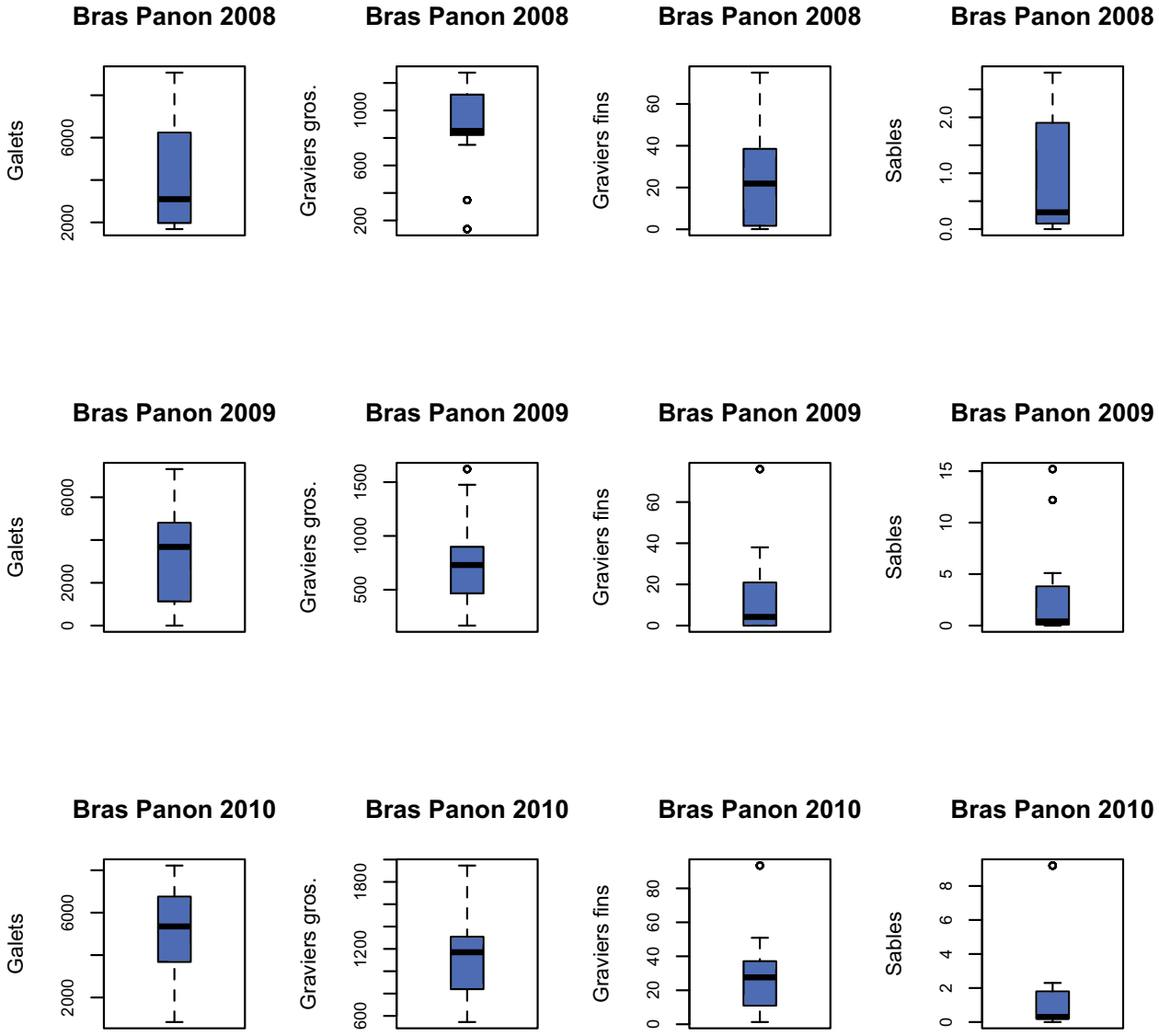

Ste Suzanne 2008
Galets
0
5000
15000
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2008
Graviers gros.
0
500
1500
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2008
Graviers fins
0
50
150
250
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2008
Sables
0
20
60
100
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2009
Galets
0
4000
8000
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2009
Graviers gros.
0
500
1500
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2009
Graviers fins
0
100
300
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2009
Sables
0
10
30
50
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2010
Galets
2000
6000
12000
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2010
Graviers gros.
0
500
1500
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2010
Graviers fins
0
10
30
50
SSU1
SSU2
Stations
Ste Suzanne 2010
Sables
0
5
10
15
SSU1
SSU2
Stations

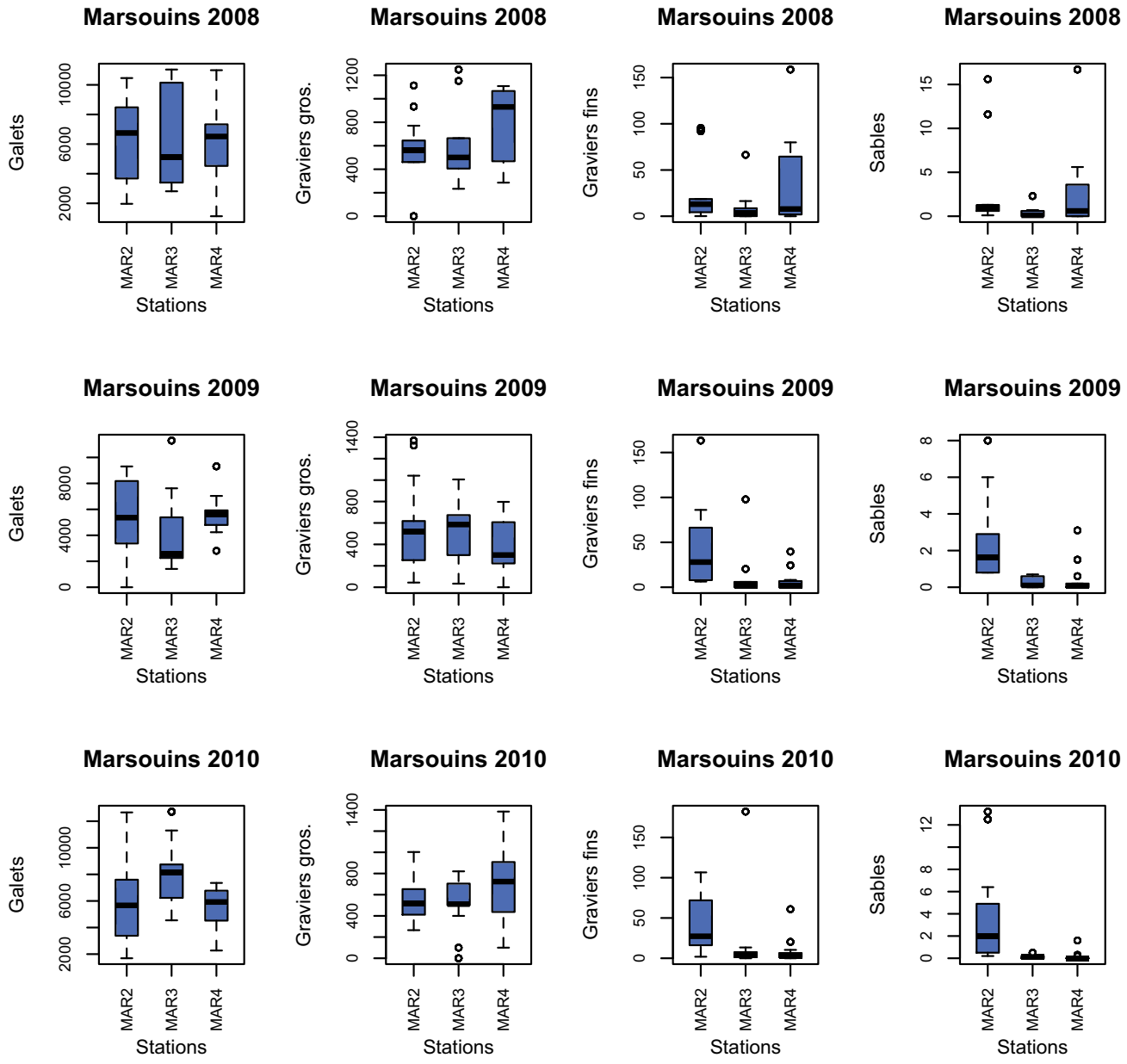

Rivière du Mât 2008
Galets
Graviers gros.
Graviers fins
Sables
Rivière du Mât 2009
Rivière du Mât 2010
MAT1
MAT2
MAT3
MAT4
Stations

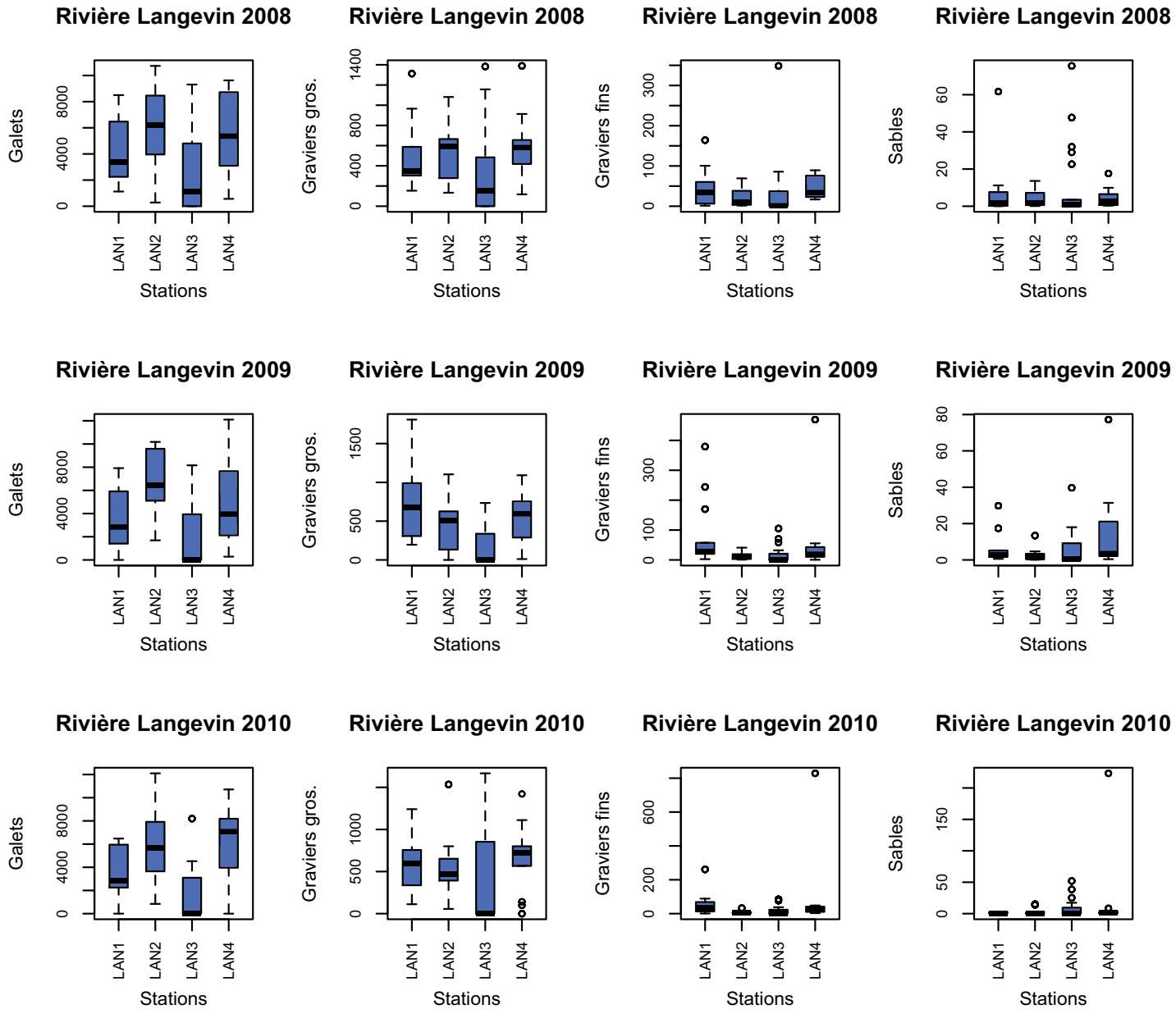

Fleurs Jaunes 2008
Galets
0
4000
8000
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2008
Graviers gros.
0
200
600
1000
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2008
Graviers fins
0
400
800
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2008
Sables
0
200
400
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2009
Galets
0
2000
6000
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2009
Graviers gros.
0
400
800
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2009
Graviers fins
0
100
300
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2009
Sables
0
50
100
150
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2010
Galets
0
4000
8000
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2010
Graviers gros.
0
400
800
1400
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2010
Graviers fins
0
100
200
300
FJA1
FJA2
Stations
Fleurs Jaunes 2010
Sables
0
200
600
FJA1
FJA2
Stations

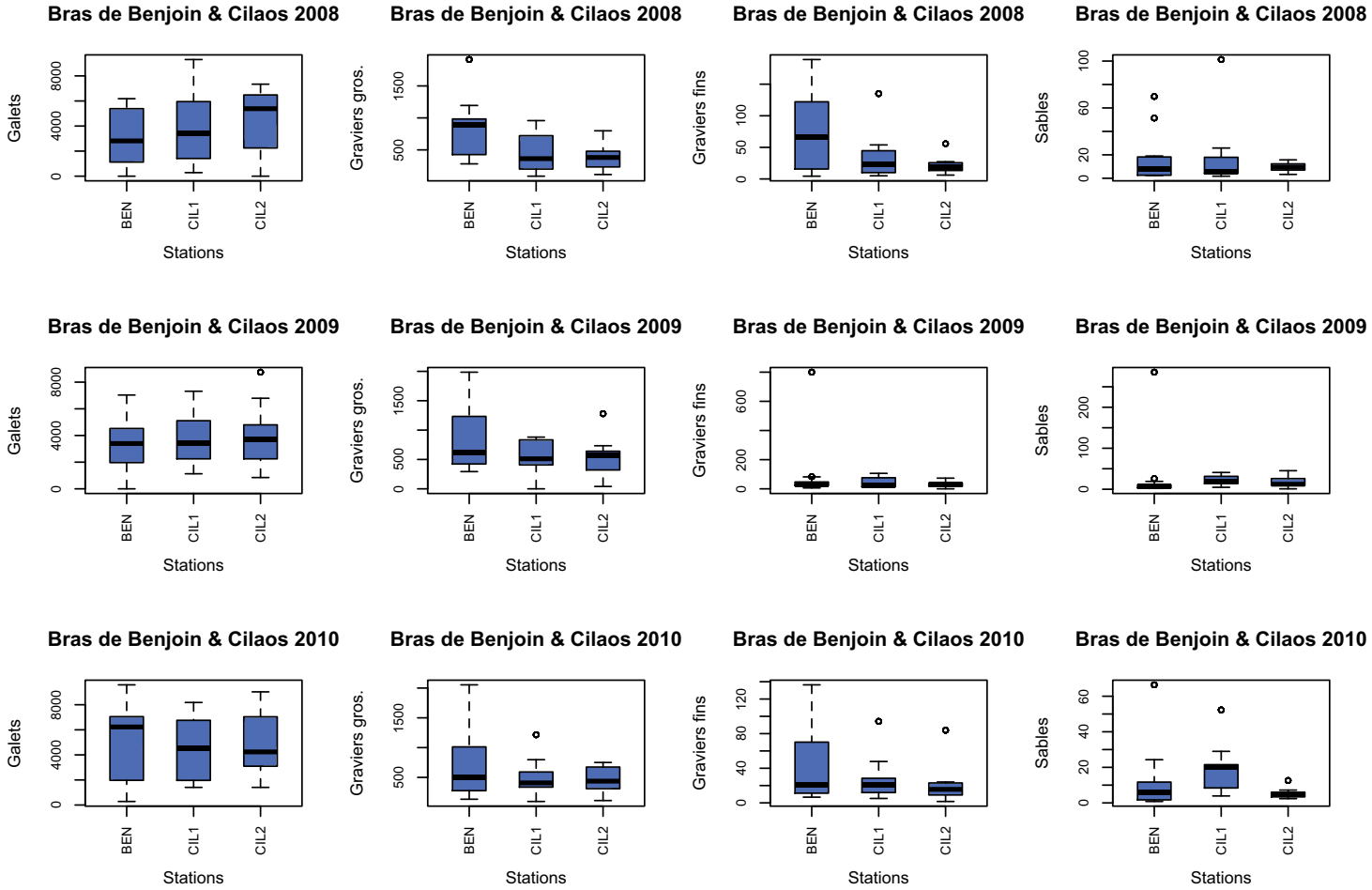

Bras des Lianes 2008
Galets
0
4000
10000
Bras des Lianes 2008
Graviers gros.
0
400
800
Bras des Lianes 2008
Graviers fins
0
200
400
Bras des Lianes 200
Sables
0
10
30
Bras des Lianes 2009
Galets
0
4000
8000
Bras des Lianes 2009
Graviers gros.
0
400
800
Bras des Lianes 2009
Graviers fins
0
20
40
60
Bras des Lianes 200
Sables
0.0
1.0
2.0
Bras des Lianes 2010
Galets
0
4000
8000
Bras des Lianes 2010
Graviers gros.
0
500
1500
Bras des Lianes 2010
Graviers fins
0
50
100
150
Bras des Lianes 201
Sables
0.0
1.0
2.0
3.0

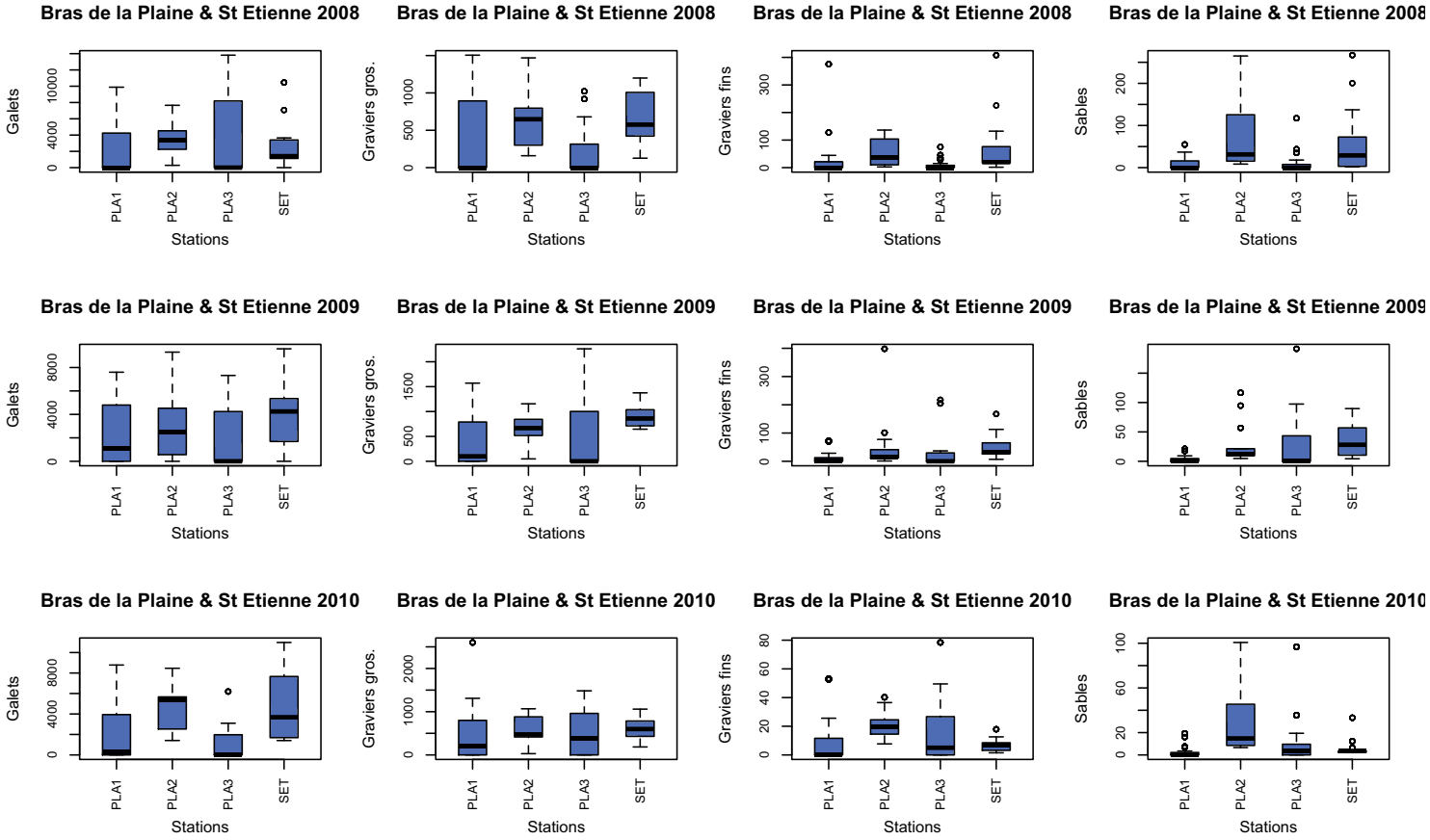

Roches 2008
Galets
0
4000
8000
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2008
Graviers gros.
0
1000
2000
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2008
Graviers fins
0
100
200
300
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2008
Sables
0
200
400
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2009
Galets
0
4000
8000
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2009
Graviers gros.
0
500
1500
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2009
Graviers fins
0
100
200
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2009
Sables
0
5
15
25
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2010
Galets
0
4000
8000
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2010
Graviers gros.
0
500
1000
1500
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2010
Graviers fins
0
50
100
ROC1
ROC2
ROC3
Stations
Roches 2010
Sables
0
10
20
30
ROC1
ROC2
ROC3
Stations

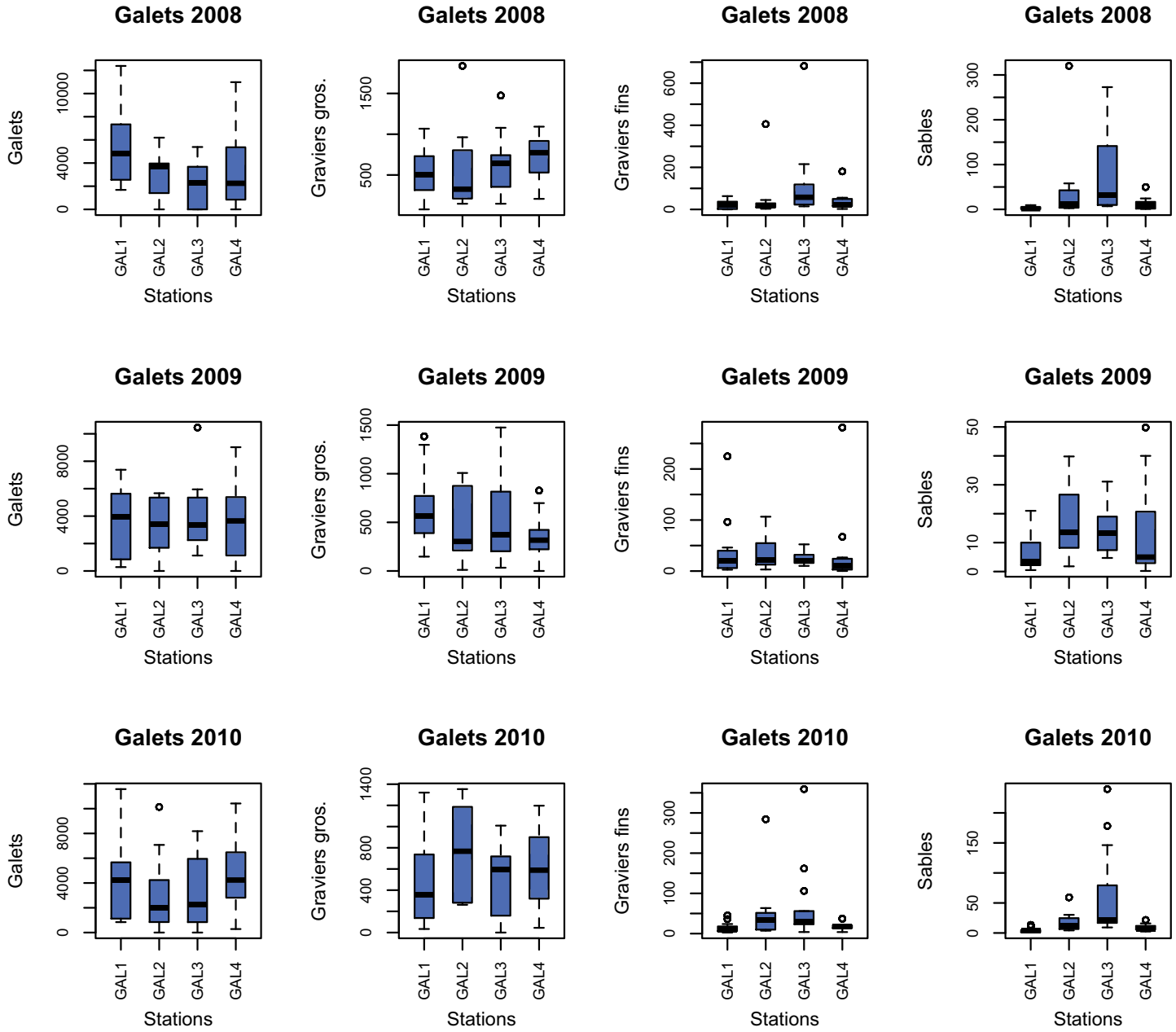

Bras Panon 2008
Galets
2000
6000
Bras Panon 2008
Graviers gros.
200
600
1000
Bras Panon 2008
Graviers fins
0
20
40
60
Bras Panon 2008
Sables
0.0
1.0
2.0
Bras Panon 2009
Galets
0
2000
6000
Bras Panon 2009
Graviers gros.
500
1000
1500
Bras Panon 2009
Graviers fins
0
20
40
60
Bras Panon 2009
Sables
0
5
10
15
Bras Panon 2010
Galets
2000
6000
Bras Panon 2010
Graviers gros.
600
1200
1800
Bras Panon 2010
Graviers fins
0
20
40
60
80
Bras Panon 2010
Sables
0
2
4
6
8

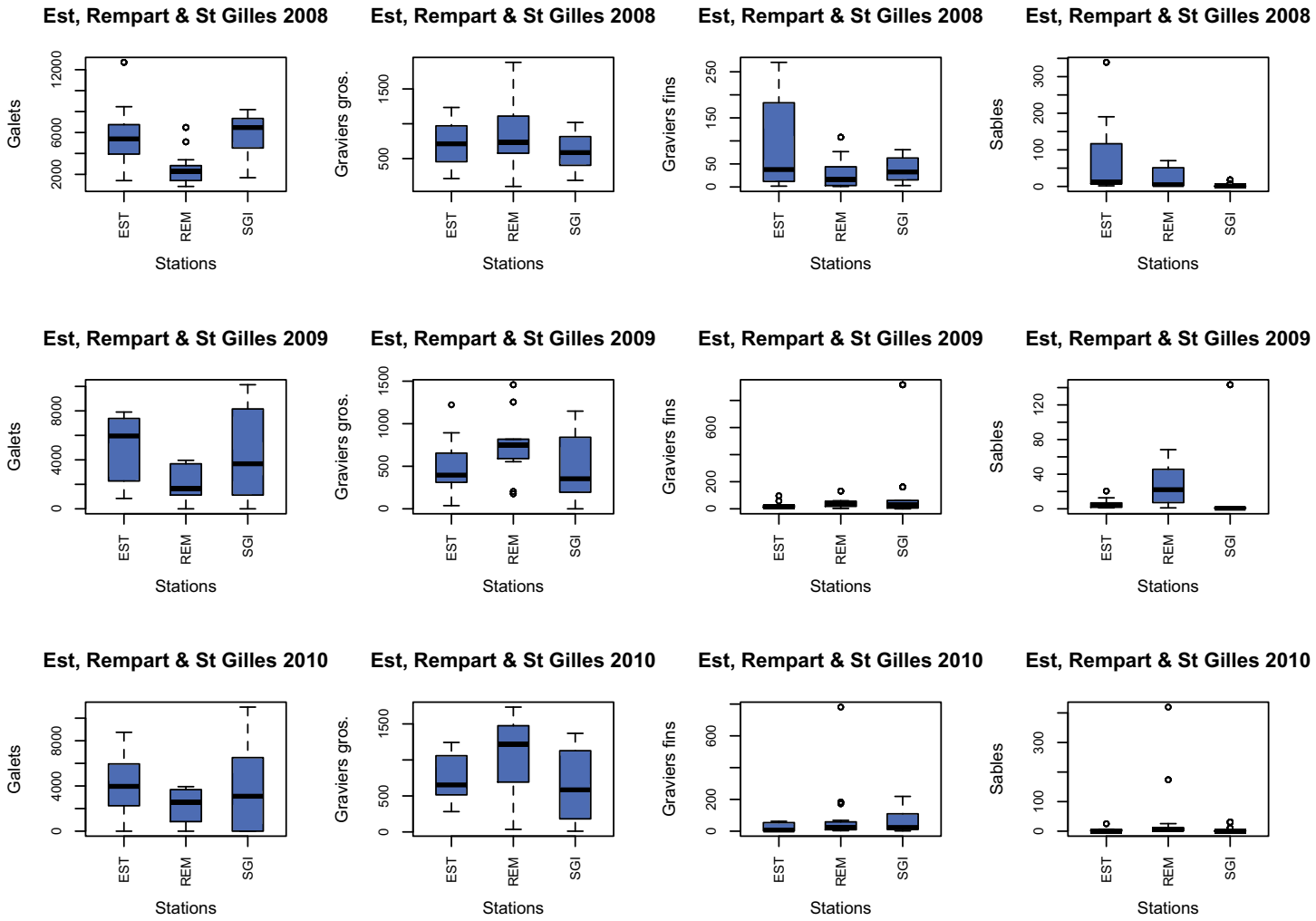

Marsouins 2008
Galets
Stations
MAR2
MAR3
MAR4
Marsouins 2008
Graviers gros.
Stations
Marsouins 2008
Graviers fins
Stations
Marsouins 2008
Sables
Stations
Marsouins 2009
Galets
Stations
Marsouins 2009
Graviers gros.
Stations
Marsouins 2009
Graviers fins
Stations
Marsouins 2009
Sables
Stations
Marsouins 2010
Galets
Stations
Marsouins 2010
Graviers gros.
Stations
Marsouins 2010
Graviers fins
Stations
Marsouins 2010
Sables
Stations


Rivière Langevin 2008
Galets
Graviers gros.
Graviers fins
Sables
Rivière Langevin 2009
Rivière Langevin 2010
LAN1
LAN2
LAN3
LAN4
Stations


Bras de Benjoin & Cilaos 2008
Galets
Stations
BEN
CIL1
CIL2
Bras de Benjoin & Cilaos 2008
Graviers gros.
Bras de Benjoin & Cilaos 2008
Graviers fins
Bras de Benjoin & Cilaos 2008
Sables
Bras de Benjoin & Cilaos 2009
Bras de Benjoin & Cilaos 2009
Bras de Benjoin & Cilaos 2009
Bras de Benjoin & Cilaos 2009
Bras de Benjoin & Cilaos 2010
Bras de Benjoin & Cilaos 2010
Bras de Benjoin & Cilaos 2010
Bras de Benjoin & Cilaos 2010


Bras de la Plaine & St Etienne 2008
Galets
Graviers gros.
Graviers fins
Sables
Bras de la Plaine & St Etienne 2009
Bras de la Plaine & St Etienne 2010
PLA1
PLA2
PLA3
SET
Stations

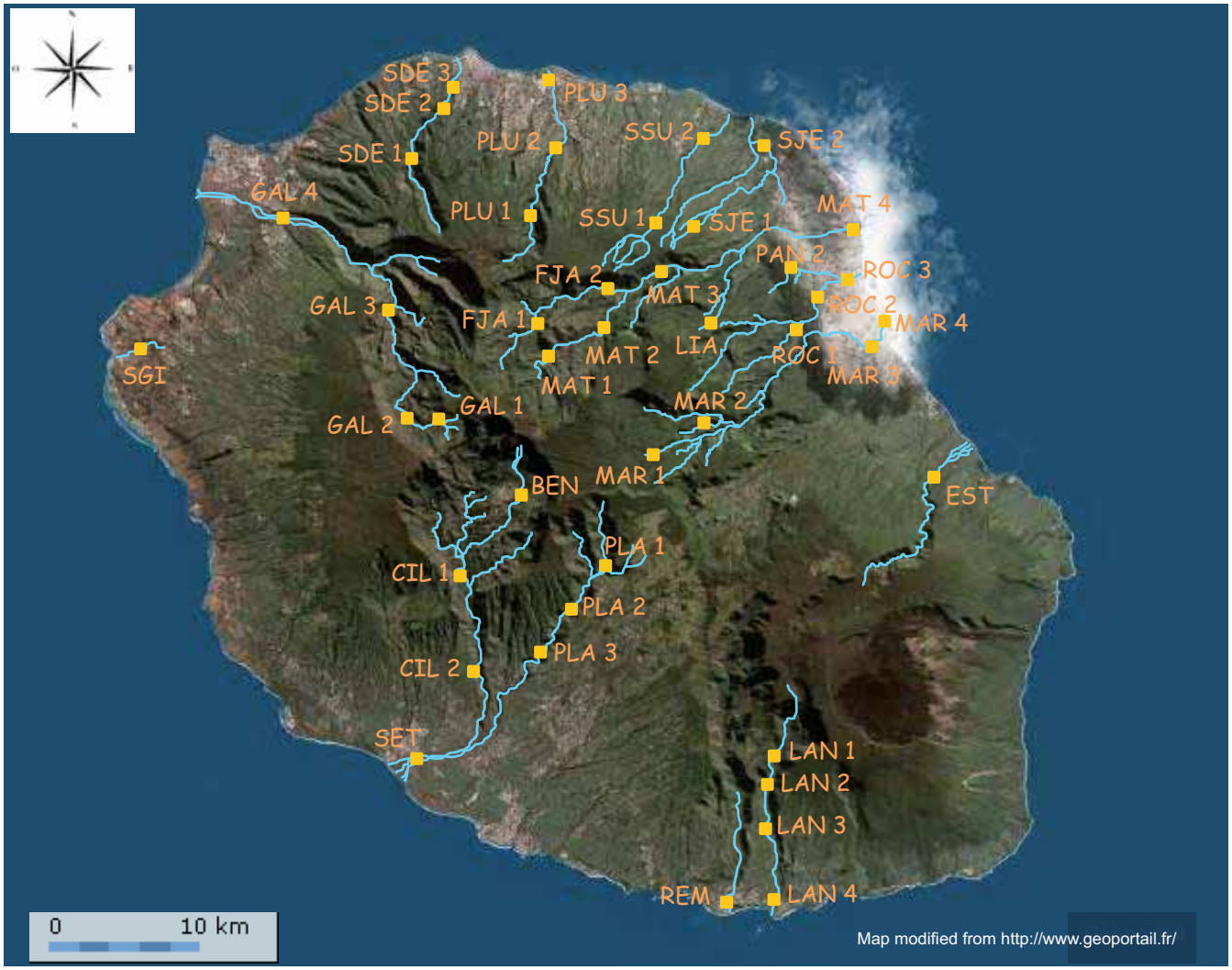

Galets 2008
Galets
0
4000
10000
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2008
Graviers gros.
500
1500
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2008
Graviers fins
0
200
400
600
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2008
Sables
0
100
200
300
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2009
Galets
0
4000
8000
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2009
Graviers gros.
0
500
1000
1500
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2009
Graviers fins
0
100
200
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2009
Sables
0
10
30
50
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2010
Galets
0
4000
8000
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2010
Graviers gros.
0
400
800
1400
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2010
Graviers fins
0
100
200
300
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations
Galets 2010
Sables
0
50
150
GAL1
GAL2
GAL3
GAL4
Stations


Est, Rempart & St Gilles 2008
Galets
Graviers gros.
Graviers fins
Sables
Est, Rempart & St Gilles 2009
Est, Rempart & St Gilles 2010
EST
REM
SGI
Stations

Annexe 6 : Distribution des taxons dans les 42 stations échantillonnées pendant les campagnes 2008, 2009 et 2010. Les 5 classes de densités (nombre d'individus/m²) sont représentées par les 5 codes couleurs suivants :

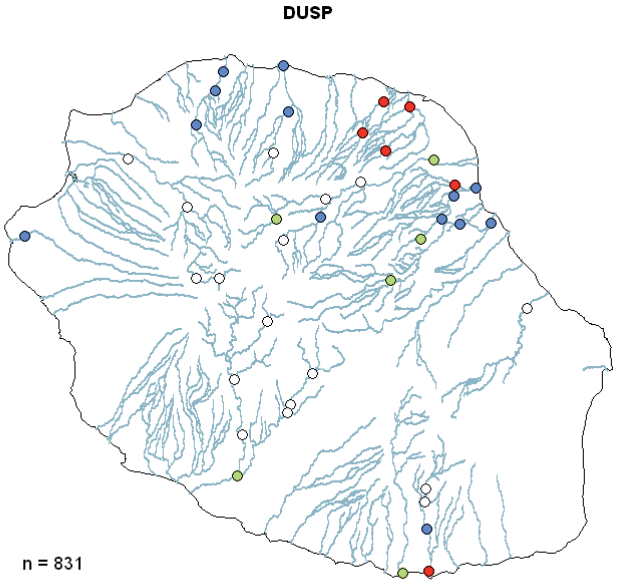
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Situation des 43 stations « macroinvertébrés » (rappel : la station MAR1 n'a pas été échantillonnée).

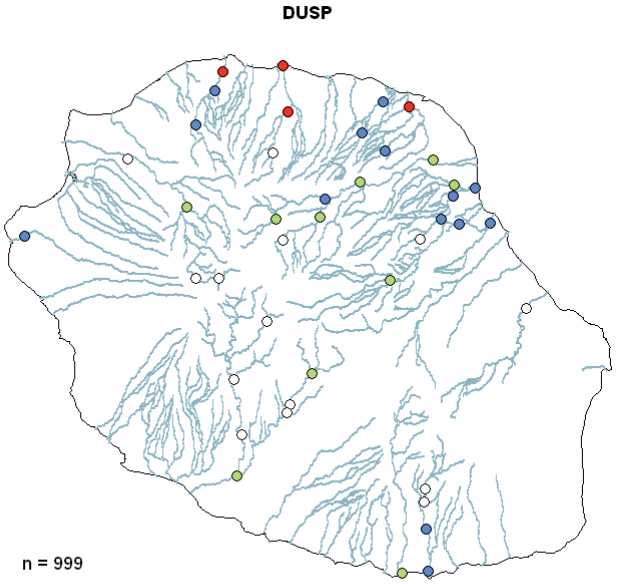


Dugesia sp.

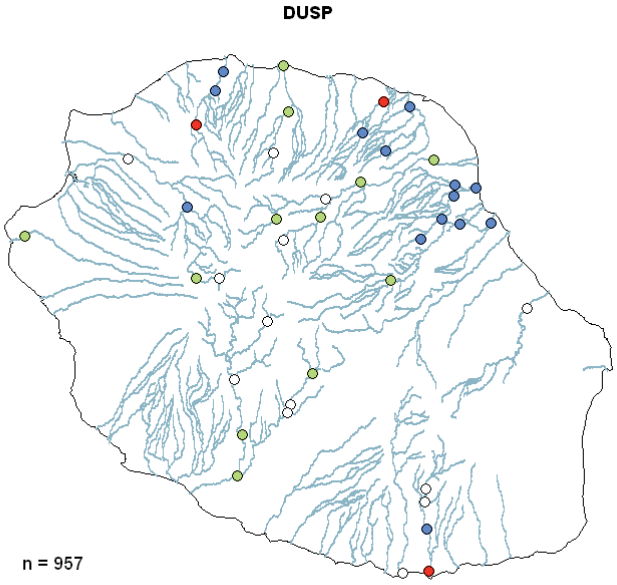
2008



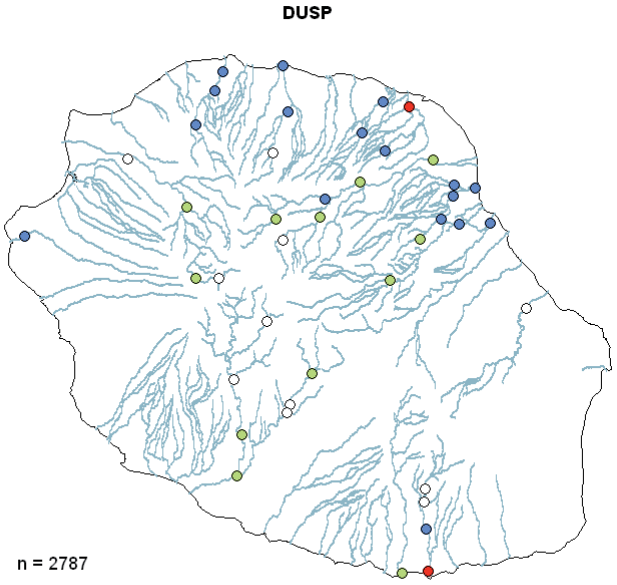
2009



2010



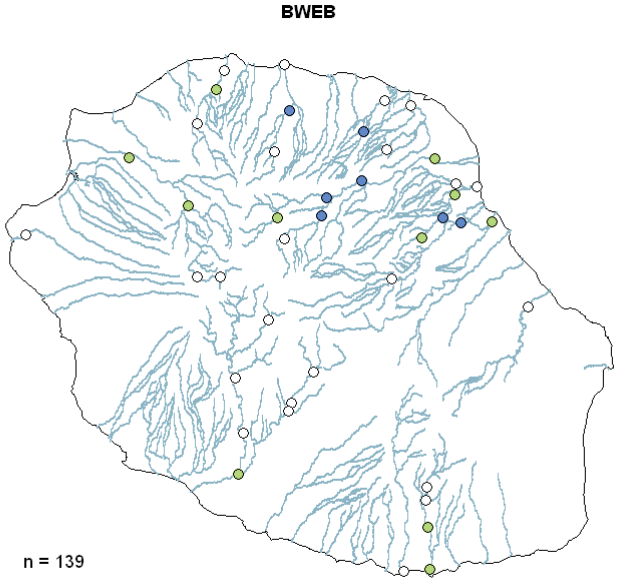
Total



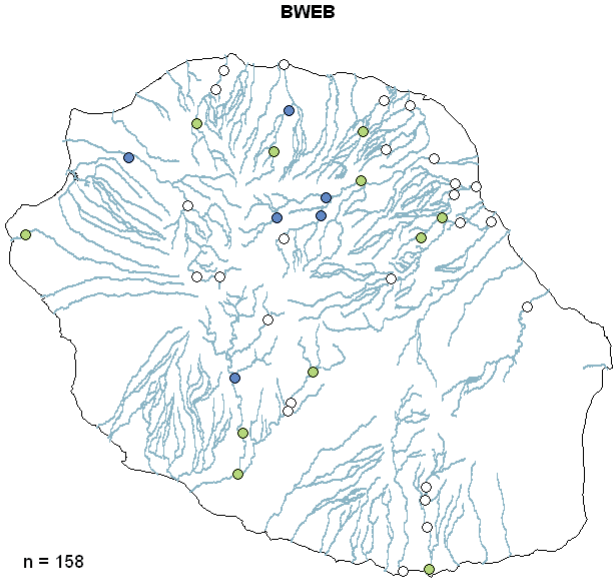
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Barbronia weberi

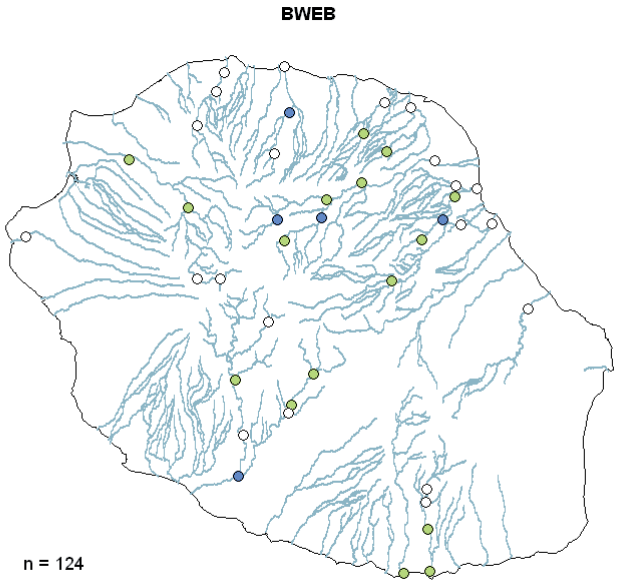
2008



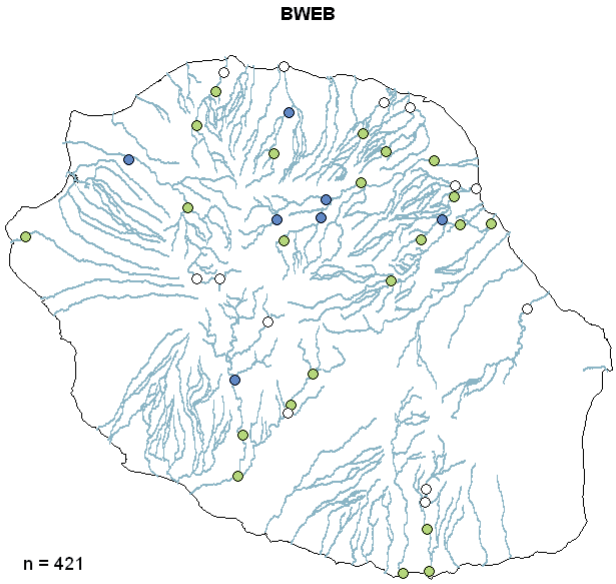
2009



2010



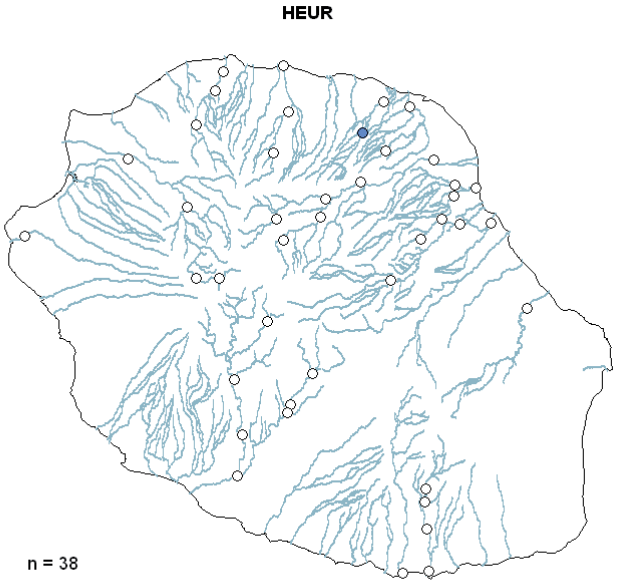
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

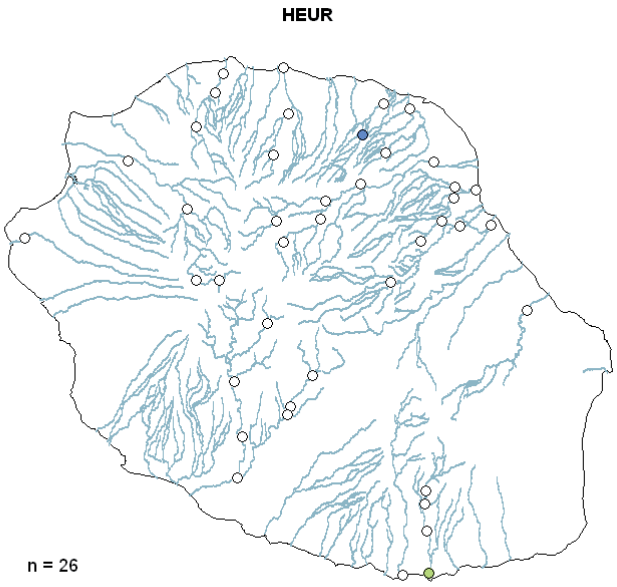
Helobdella europaea

2008

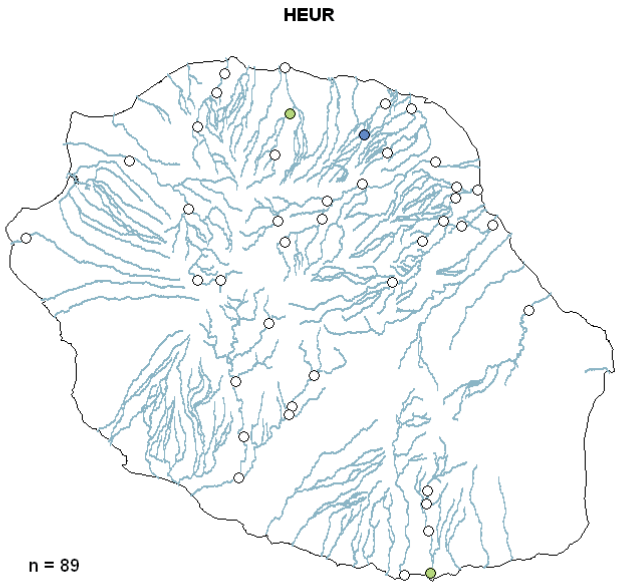


2009

2010



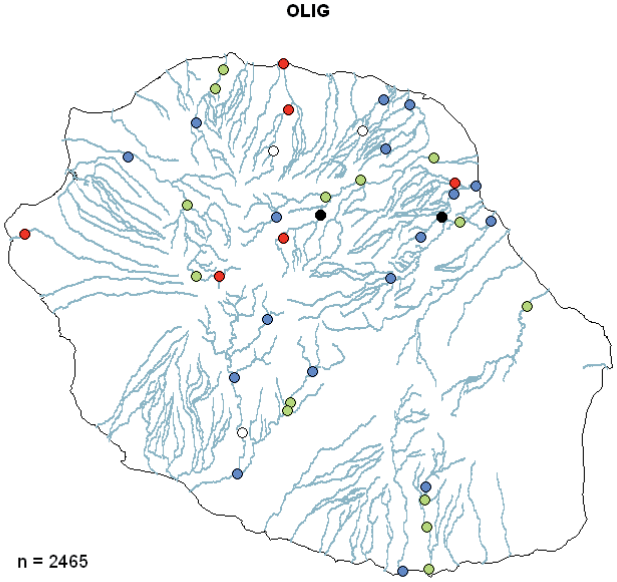
Total



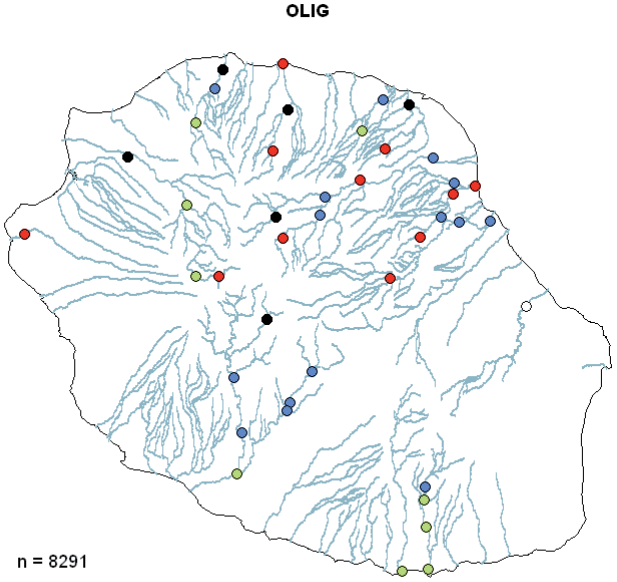
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Oligochaeta

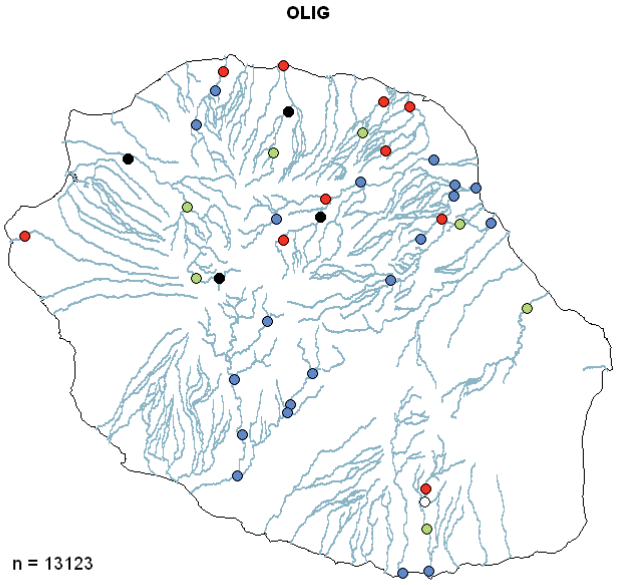
2008



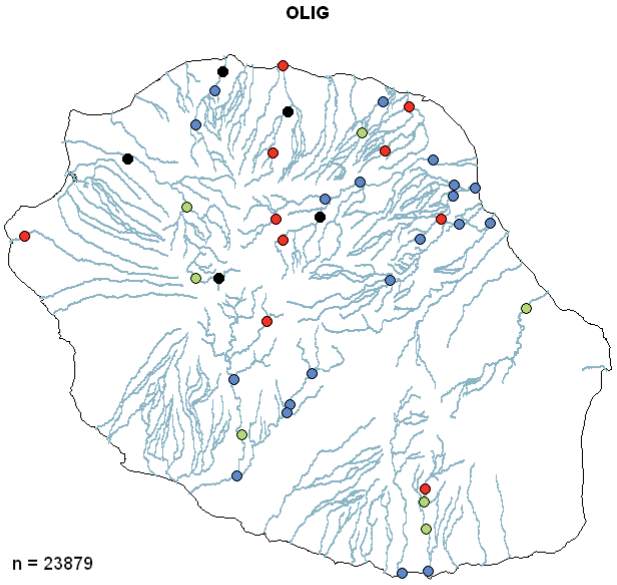
2009



2010



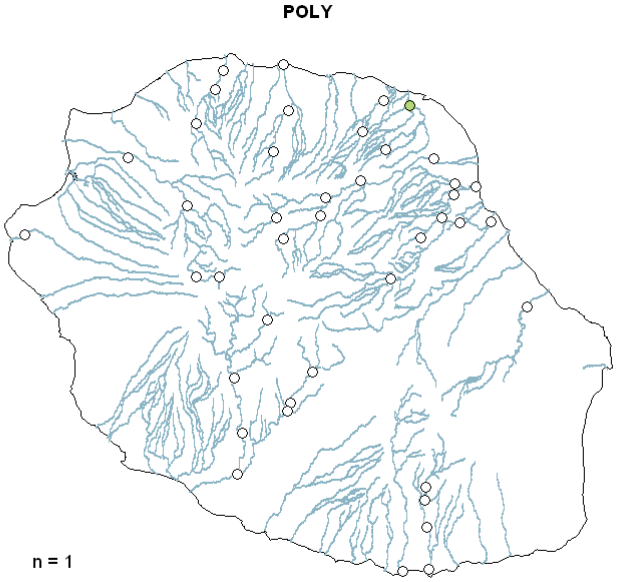
Total



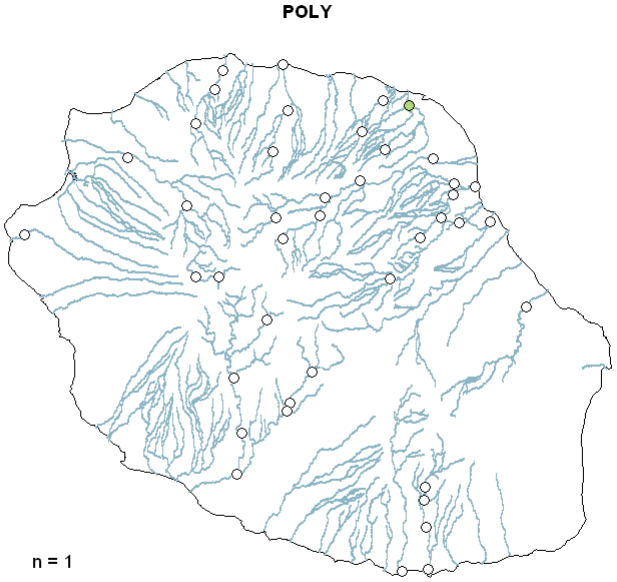
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Polychaeta

2008

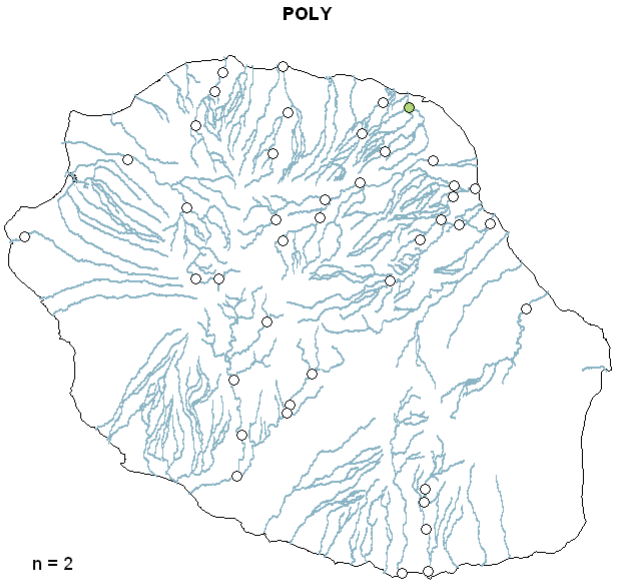


2009



2010

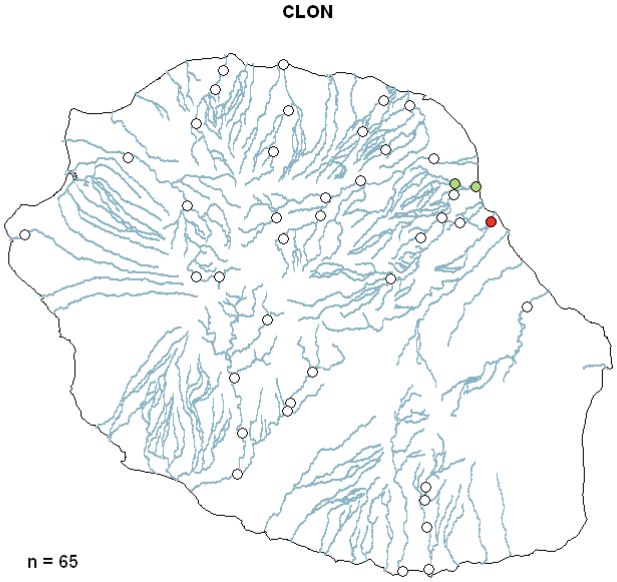
Total



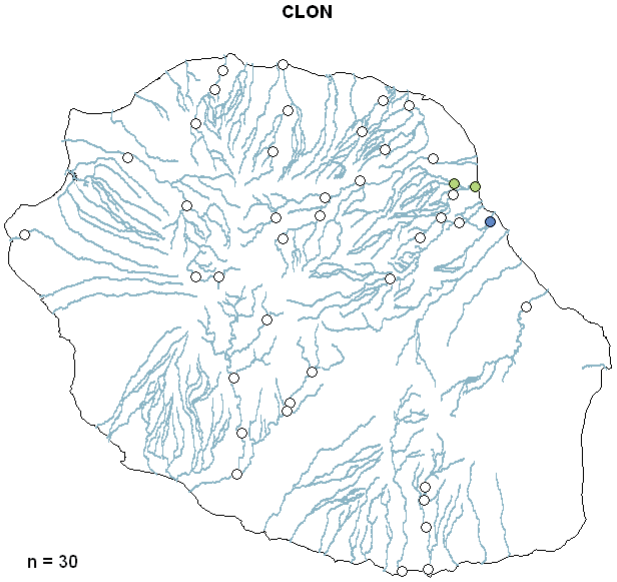
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Clithon longispina

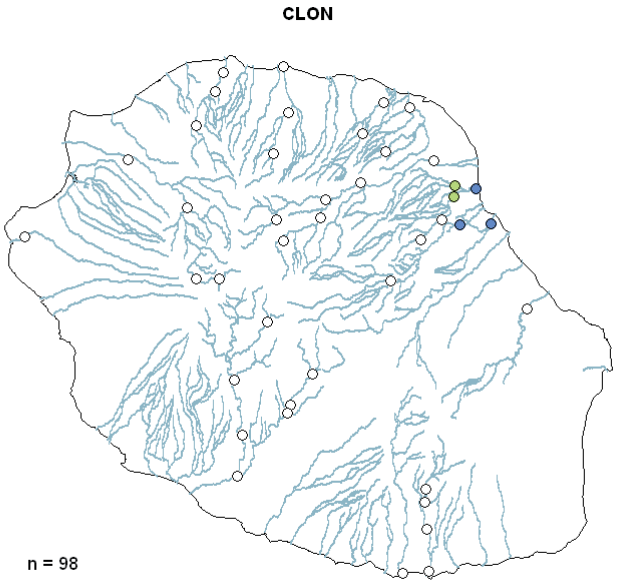
2008



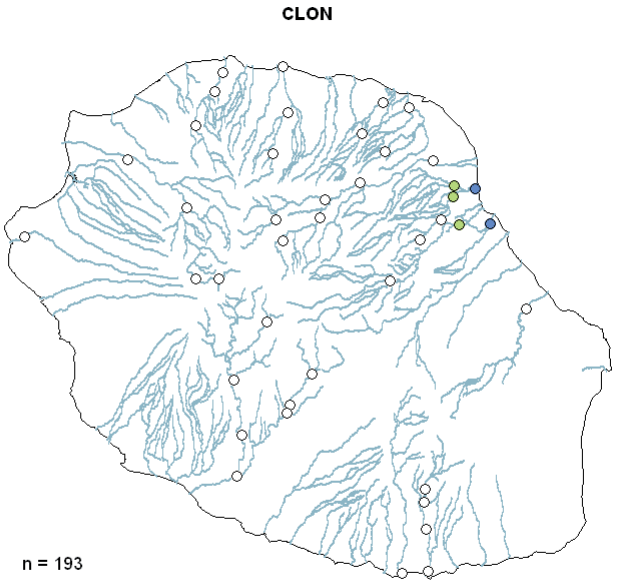
2009



2010



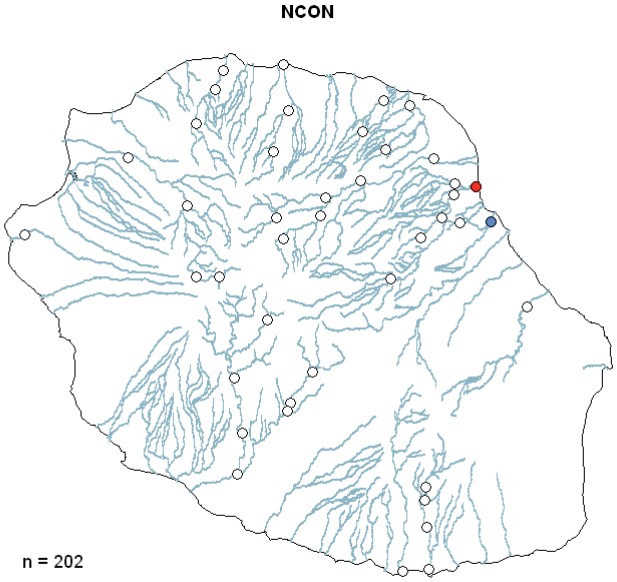
Total



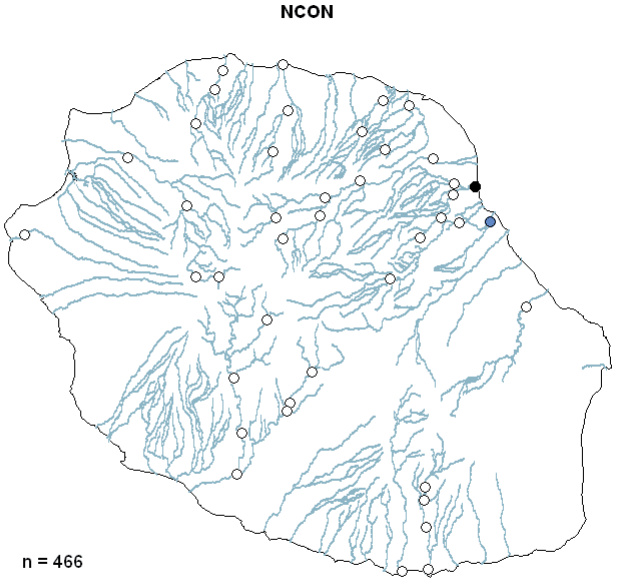
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Neritilia consimilis

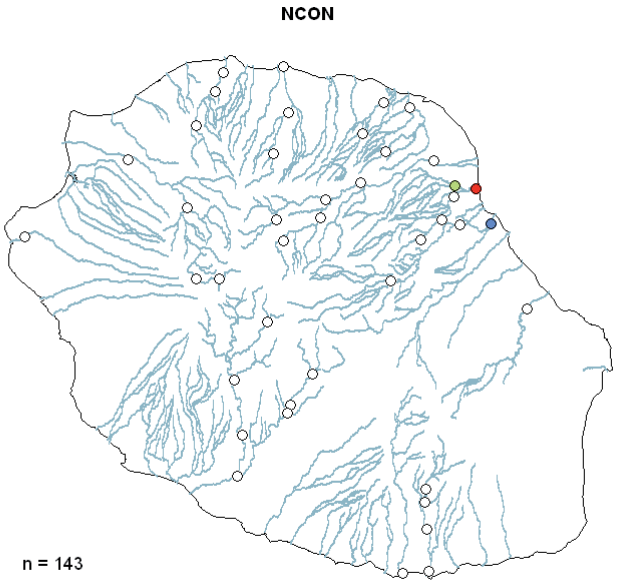
2008



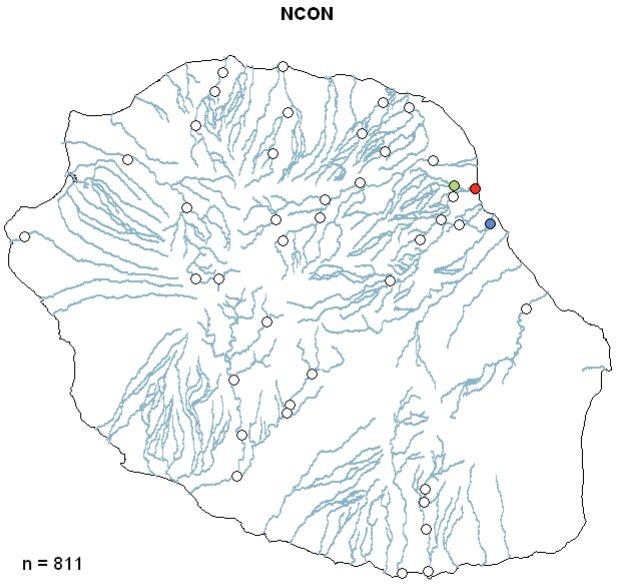
2009



2010



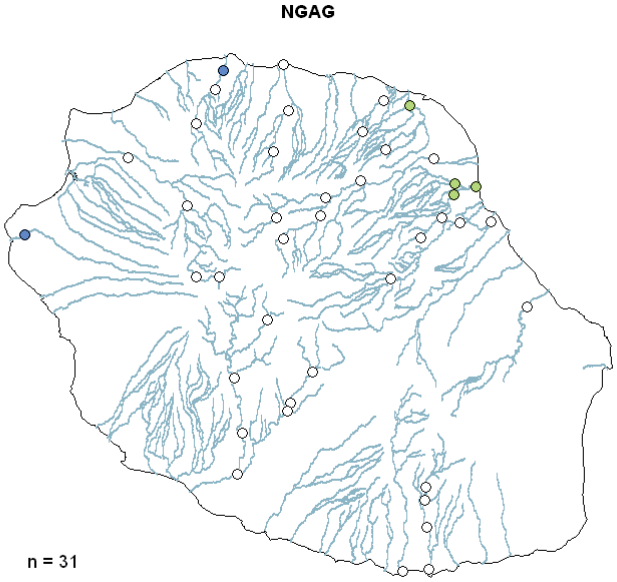
Total



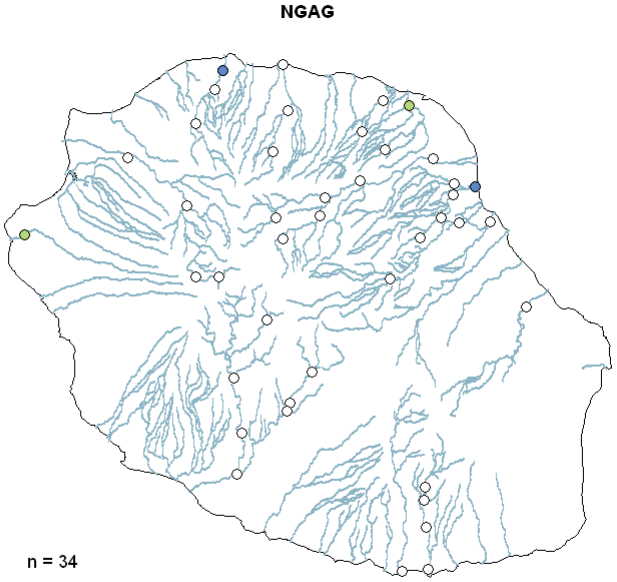
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Neritina gagates

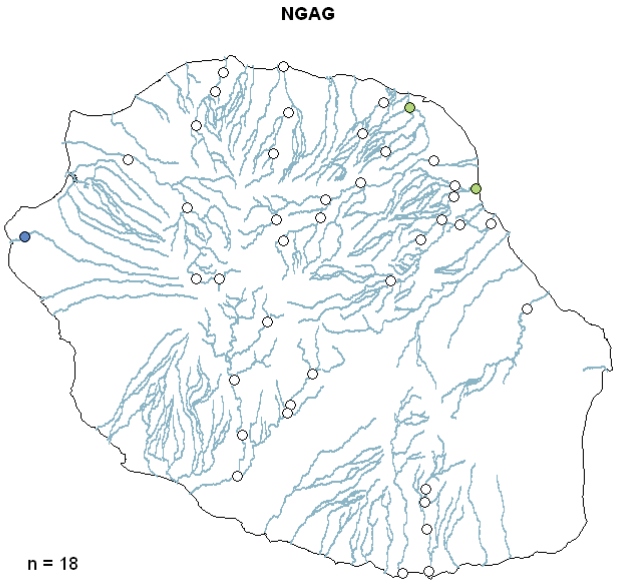
2008



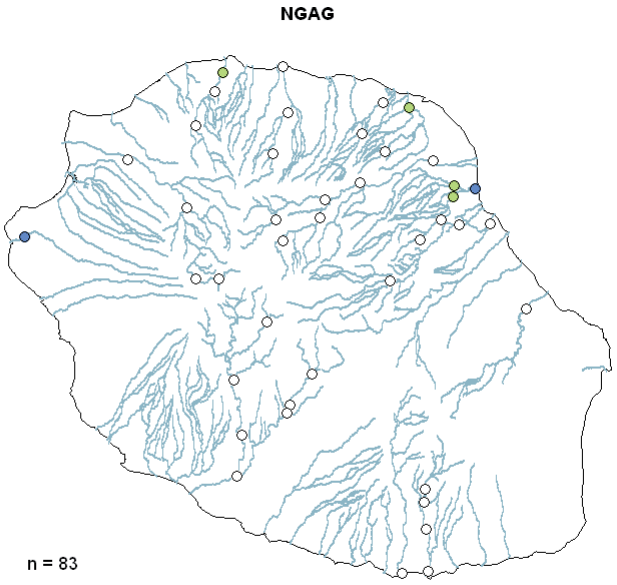
2009



2010



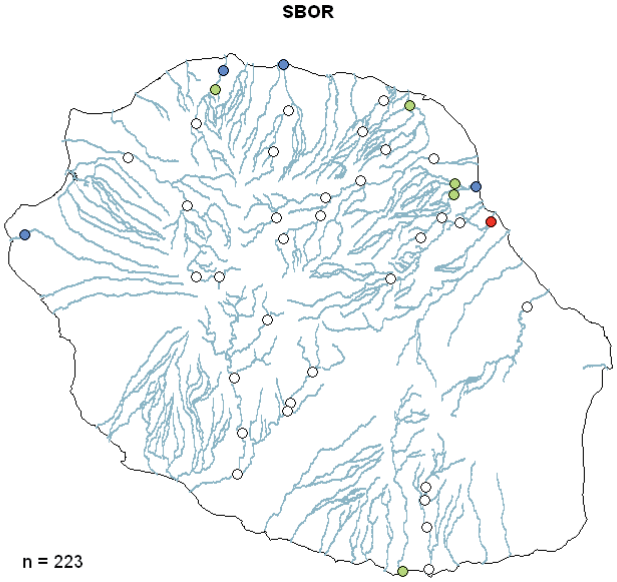
Total



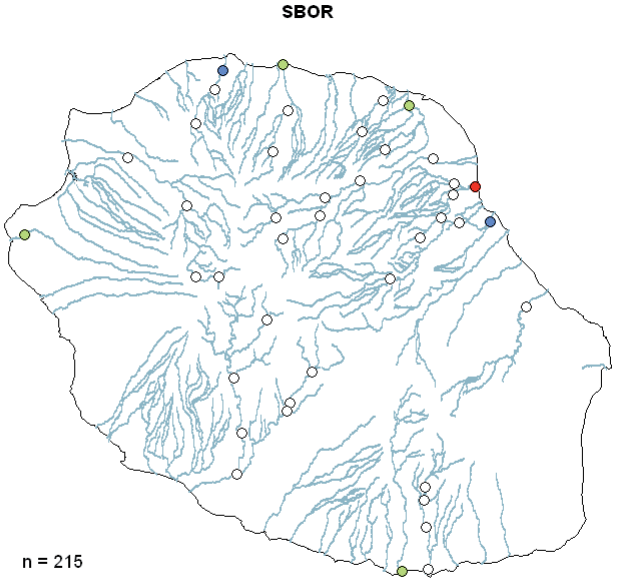
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Septaria borbonica

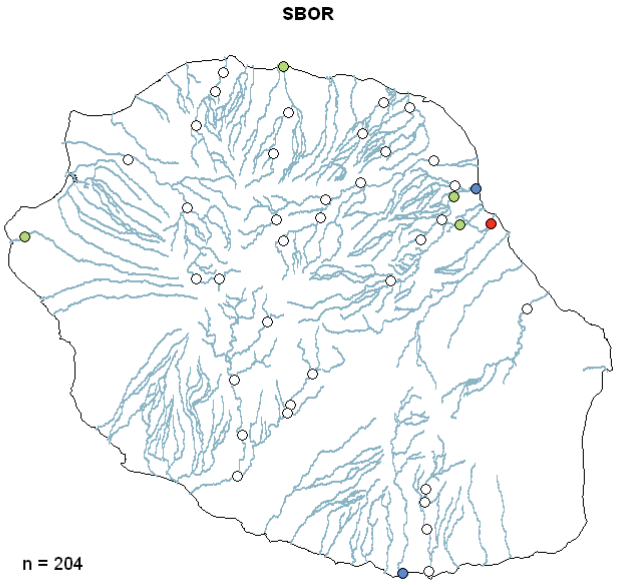
2008



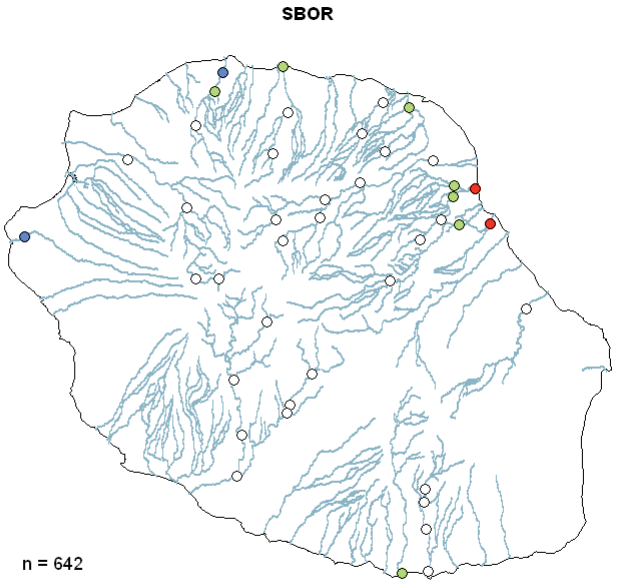
2009



2010



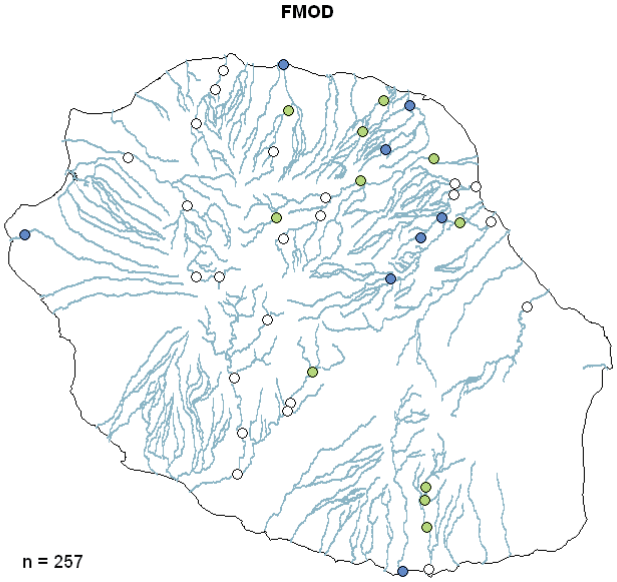
Total



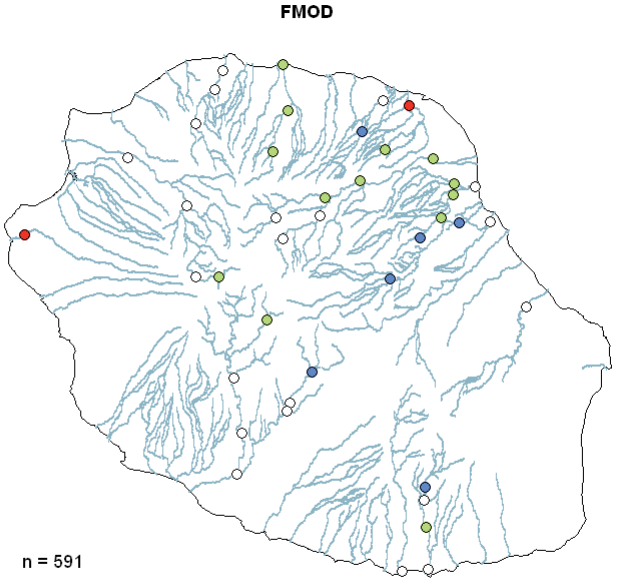
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Ferrissia modesta

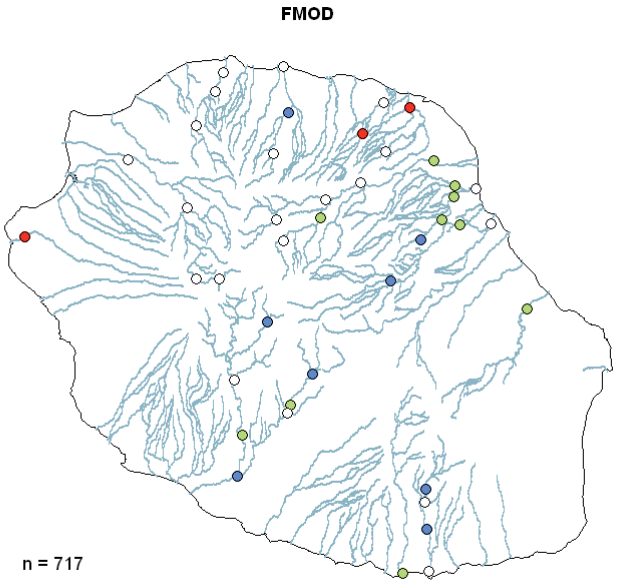
2008



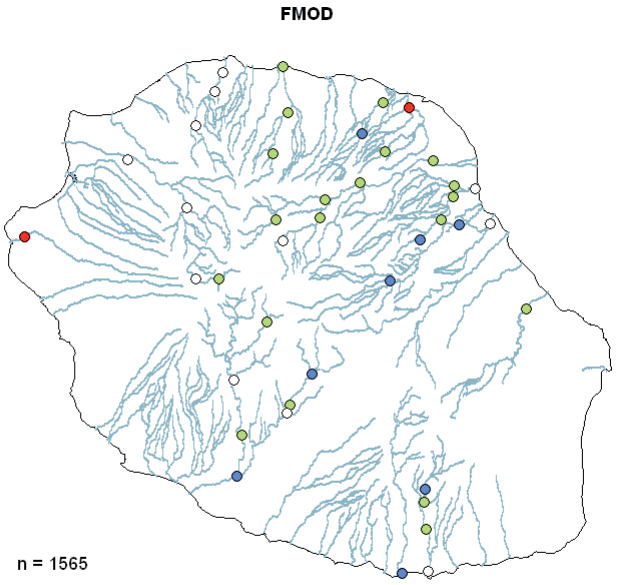
2009



2010



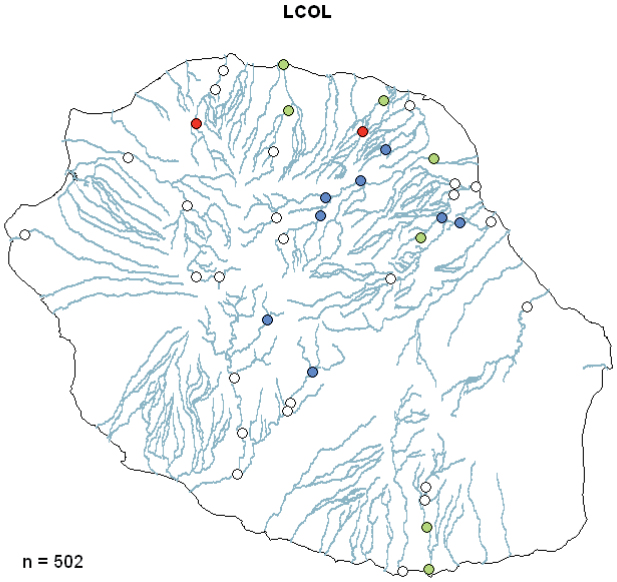
Total



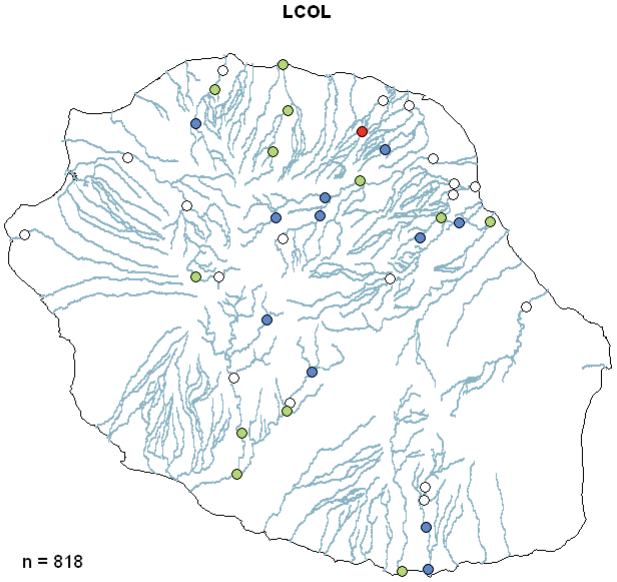
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Lymnaea columella

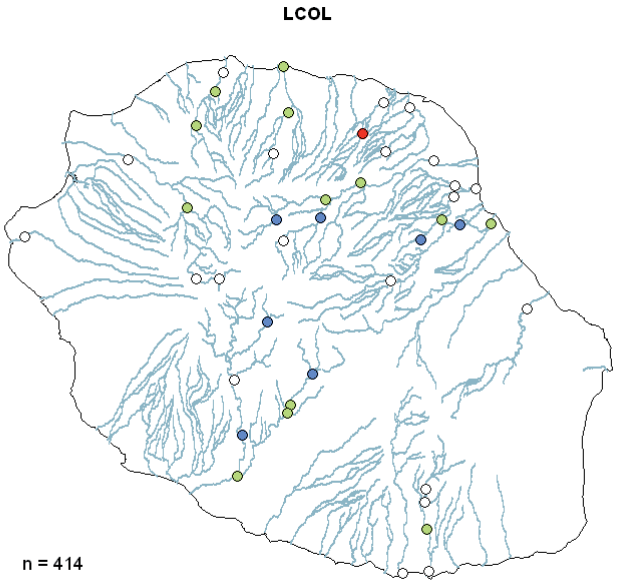
2008



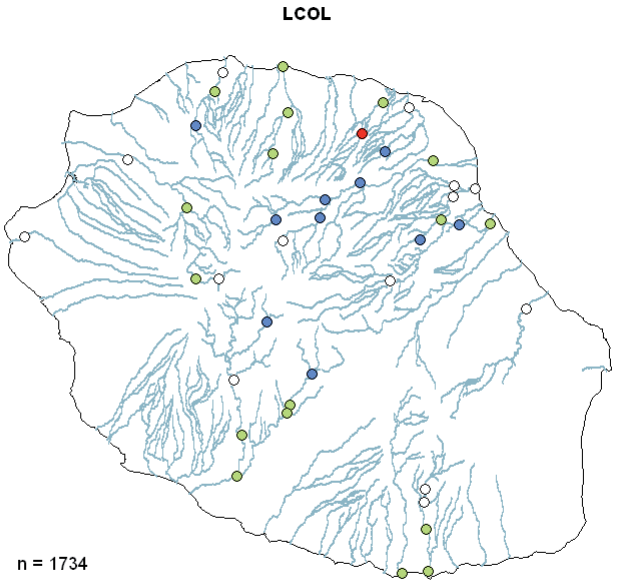
2009



2010



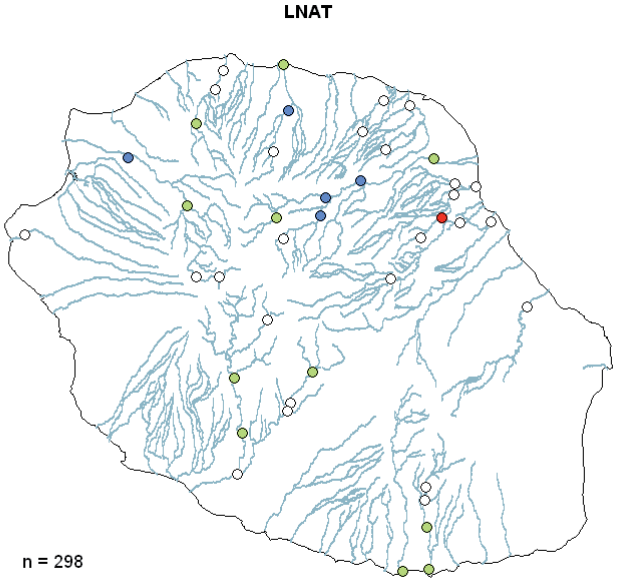
Total



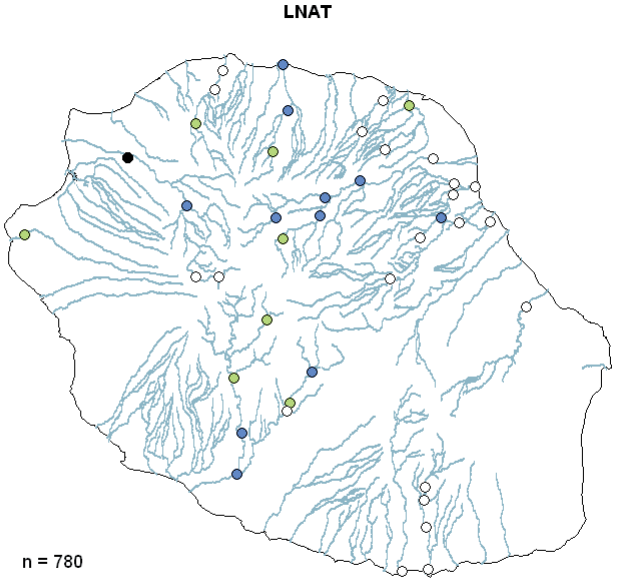
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Lymnaea natalensis

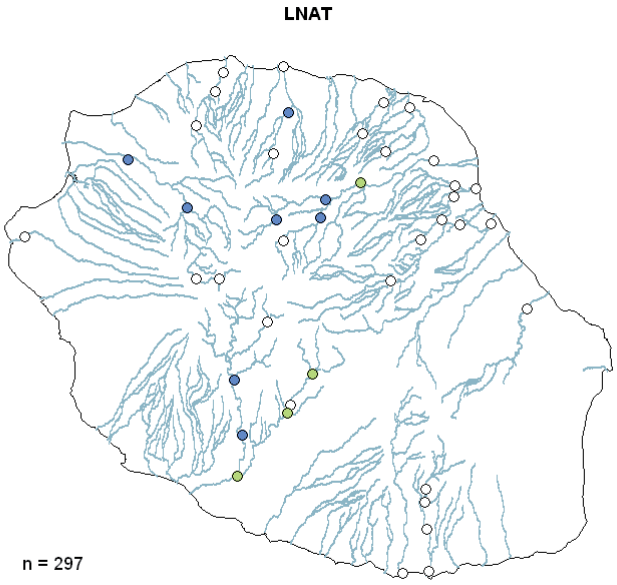
2008



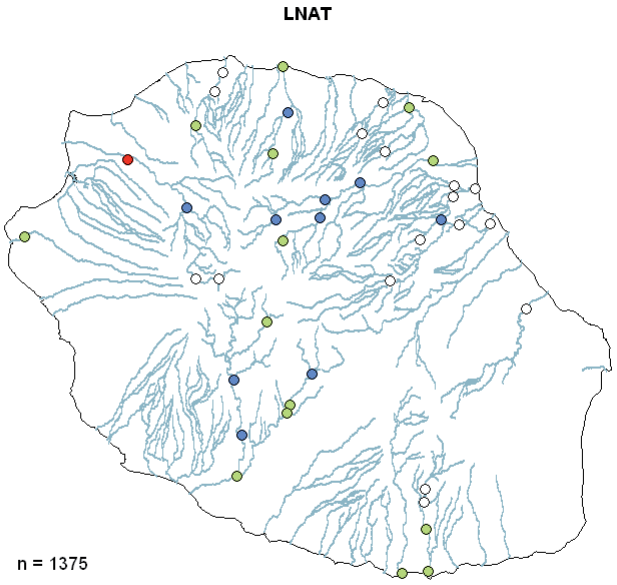
2009



2010



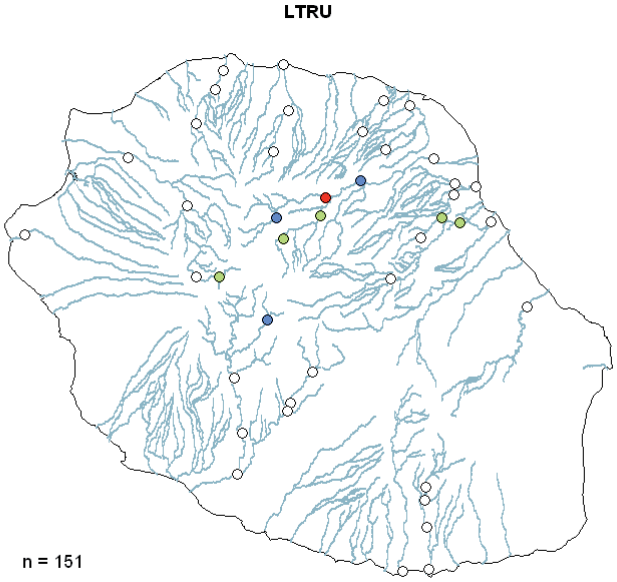
Total



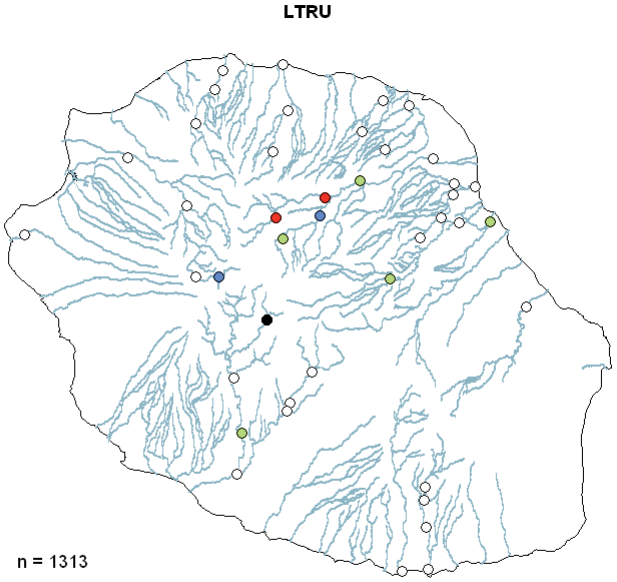
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Lymnaea truncatula

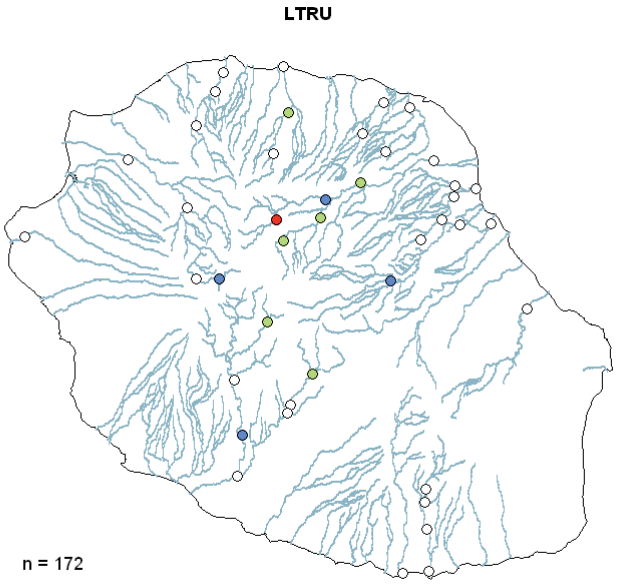
2008



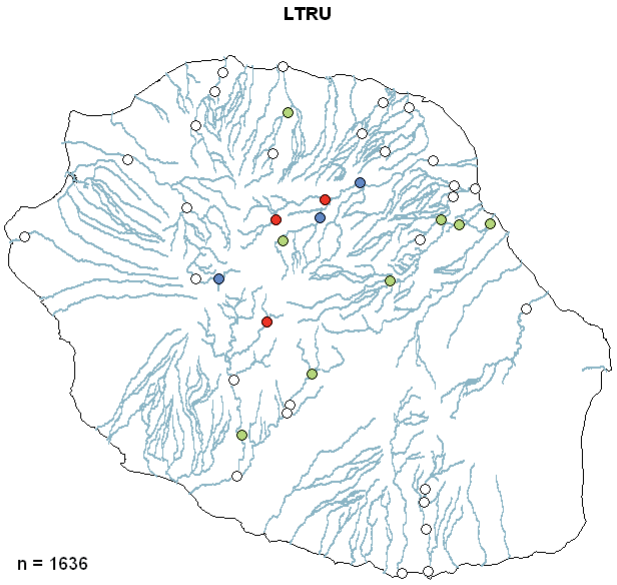
2009



2010



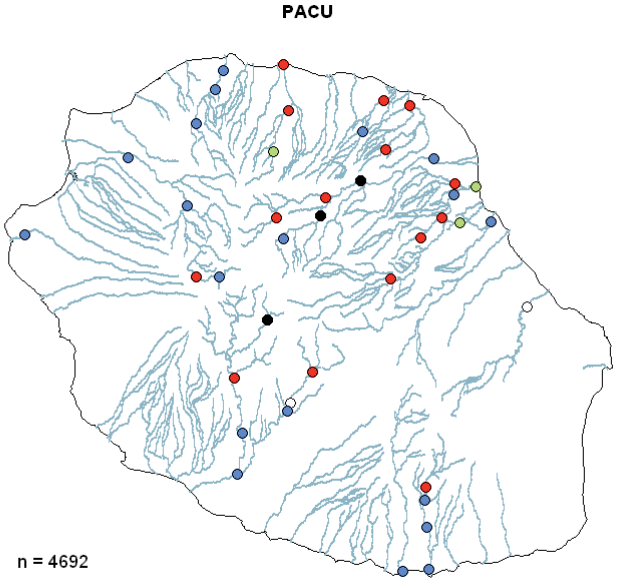
Total



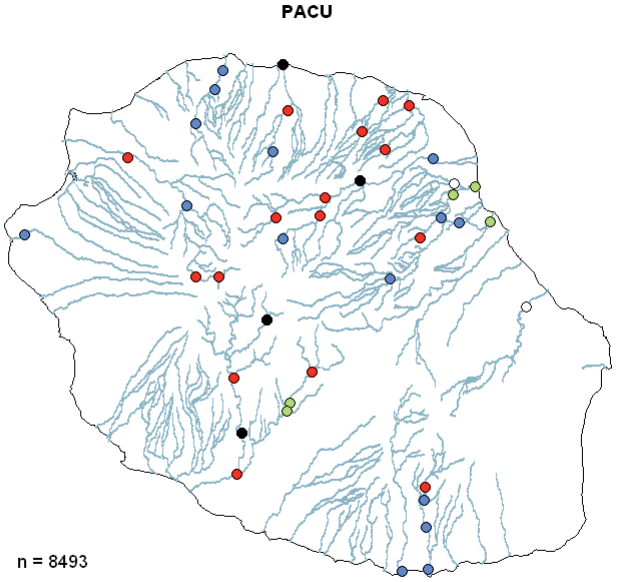
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Physella acuta

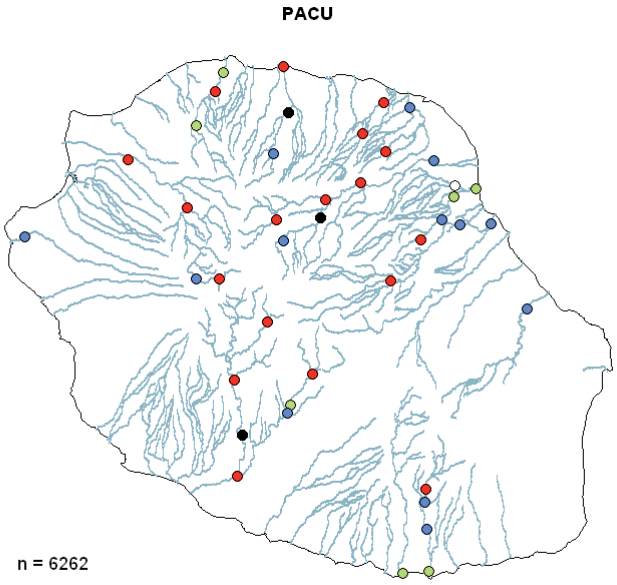
2008



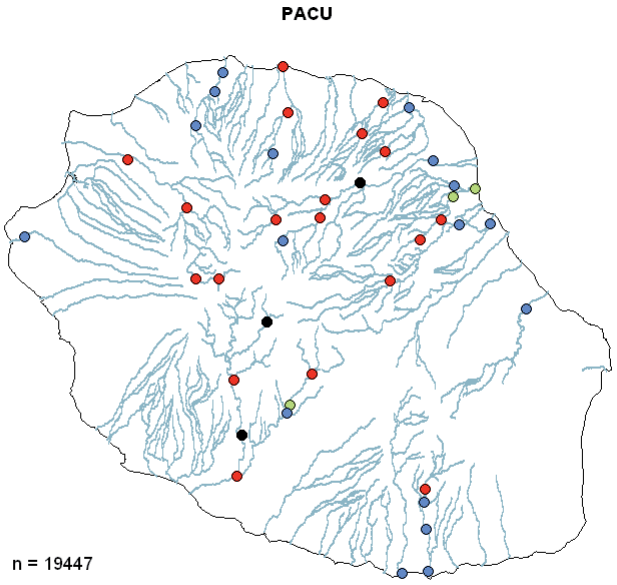
2009



2010



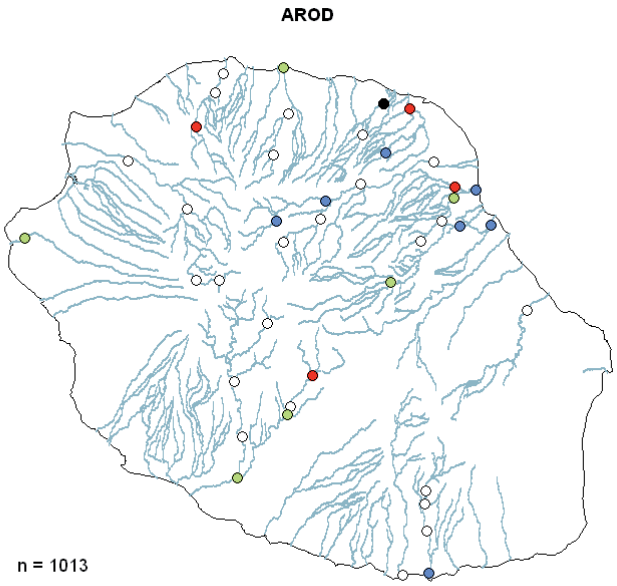
Total



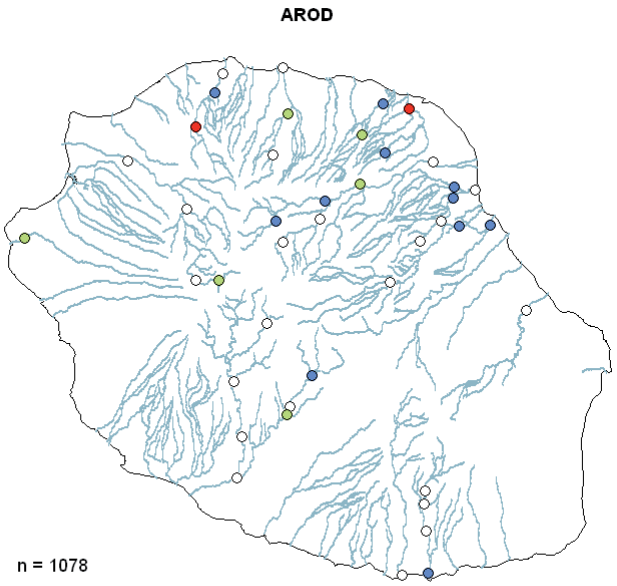
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Afrogyrus rodriguezensis

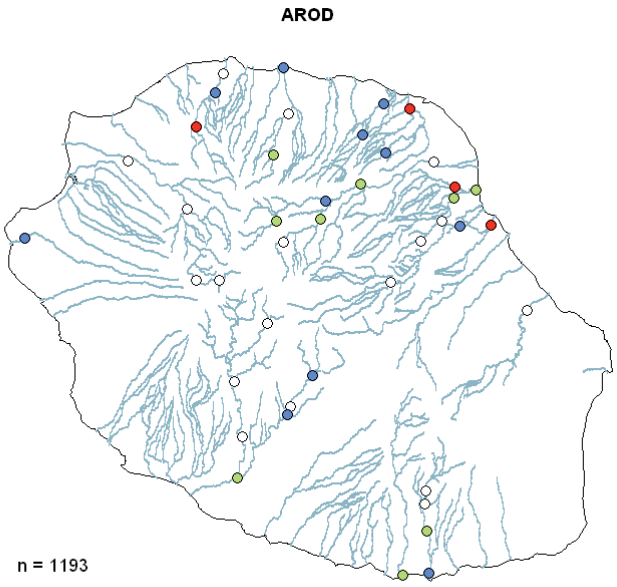
2008



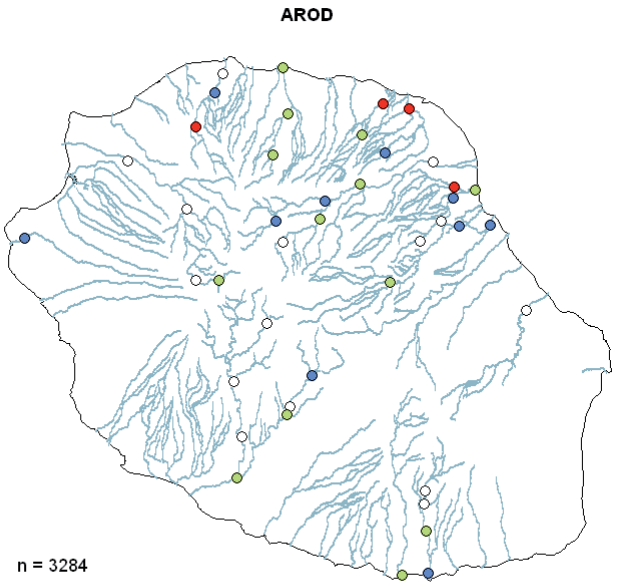
2009



2010



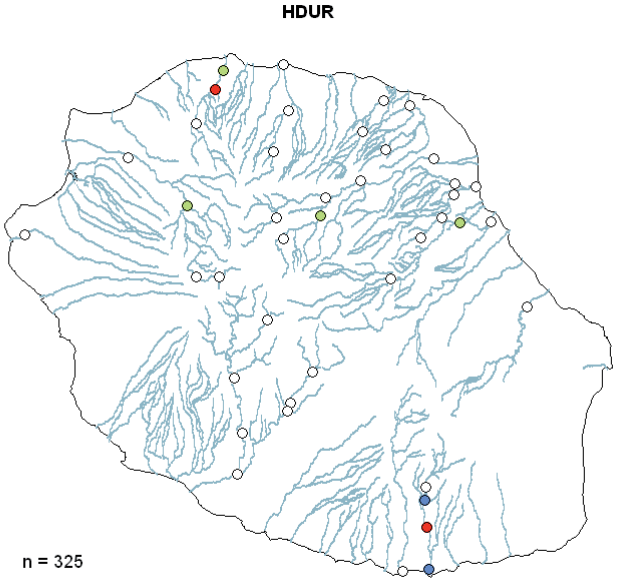
Total



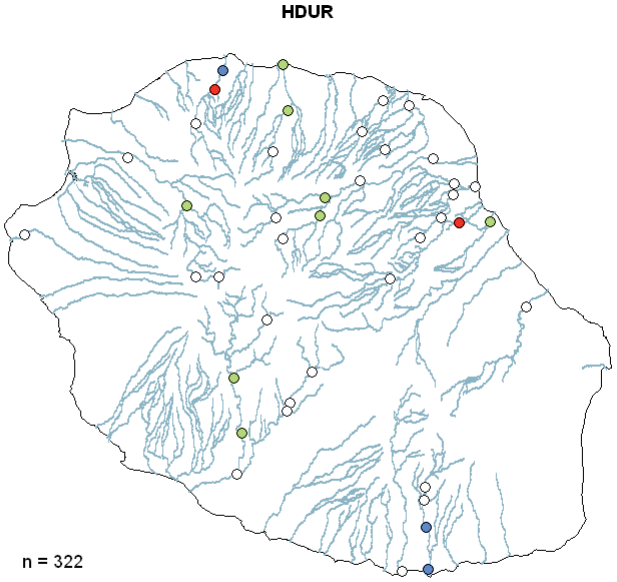
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Helisoma duryi

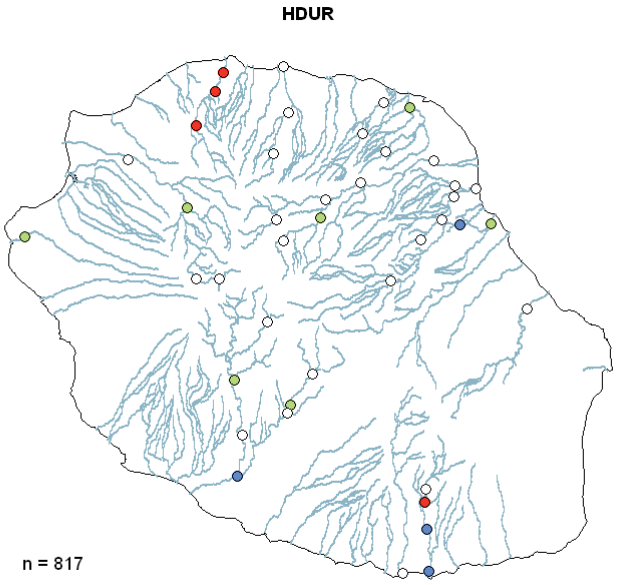
2008



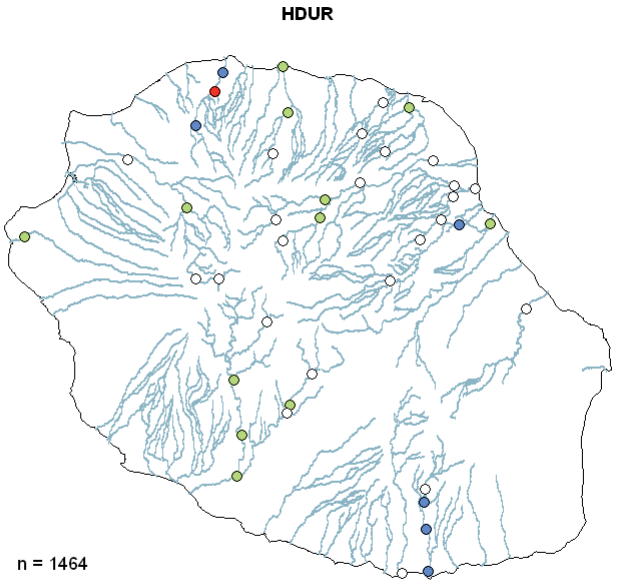
2009



2010



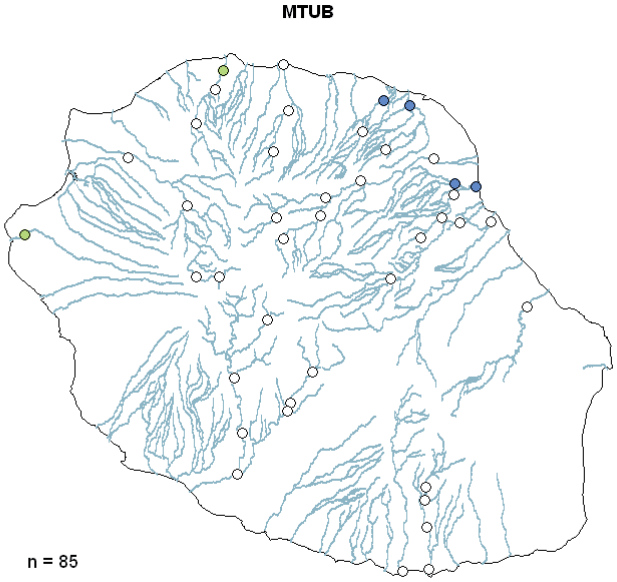
Total



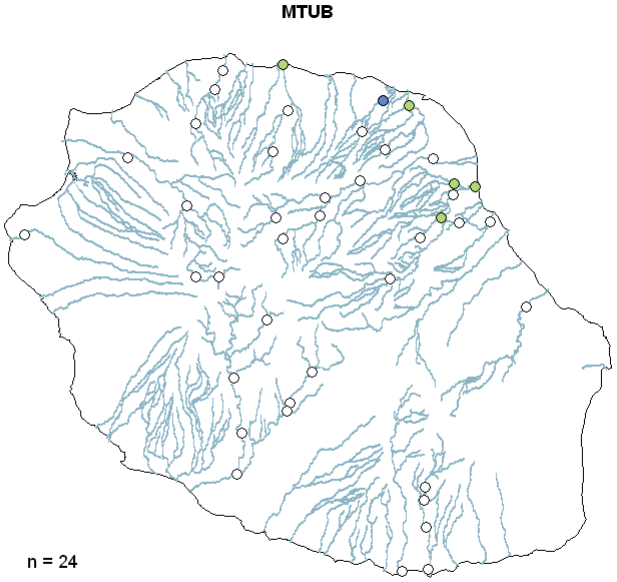
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Melanoides tuberculata

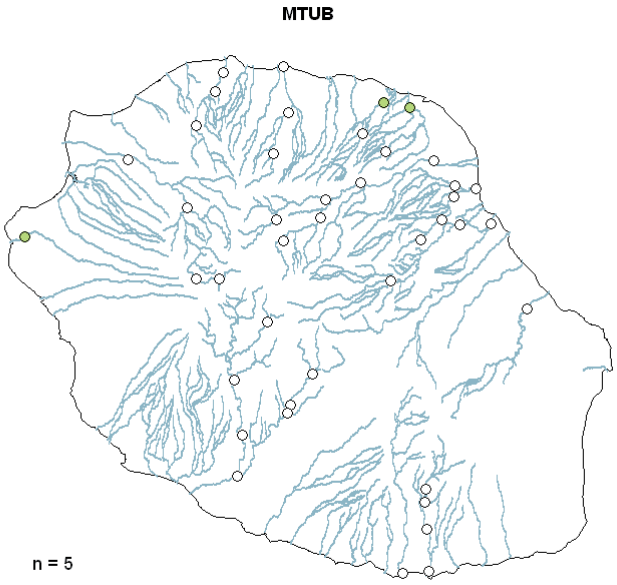
2008



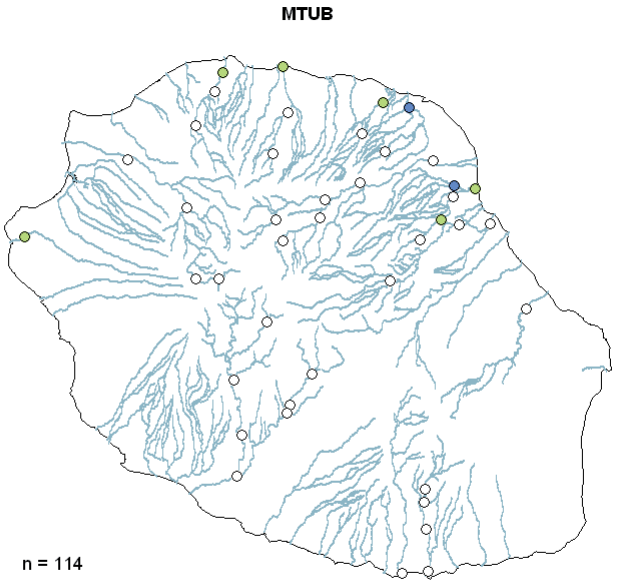
2009



2010



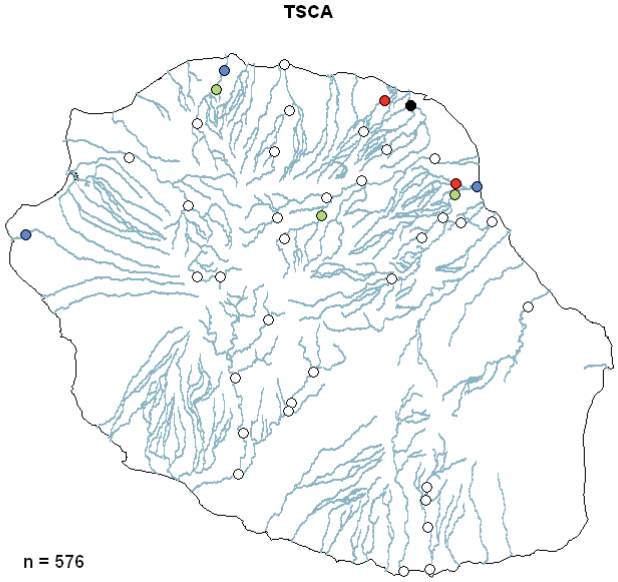
Total



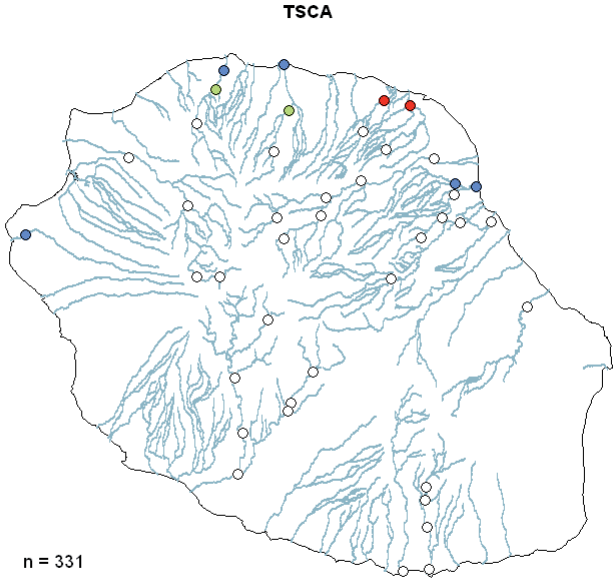
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Thiara scabra

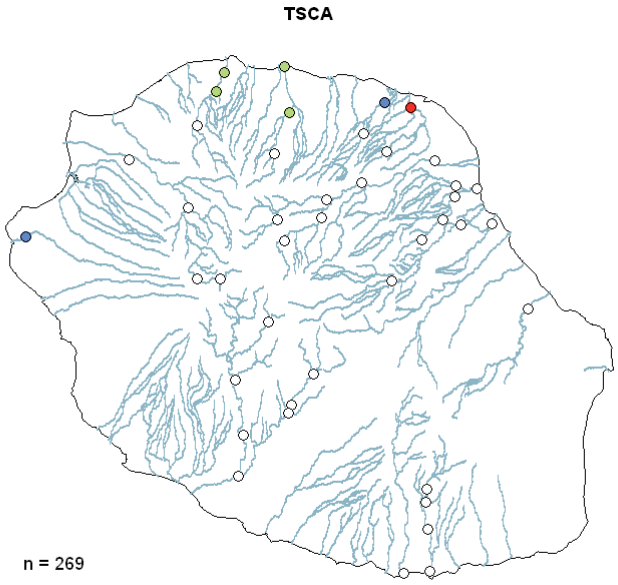
2008



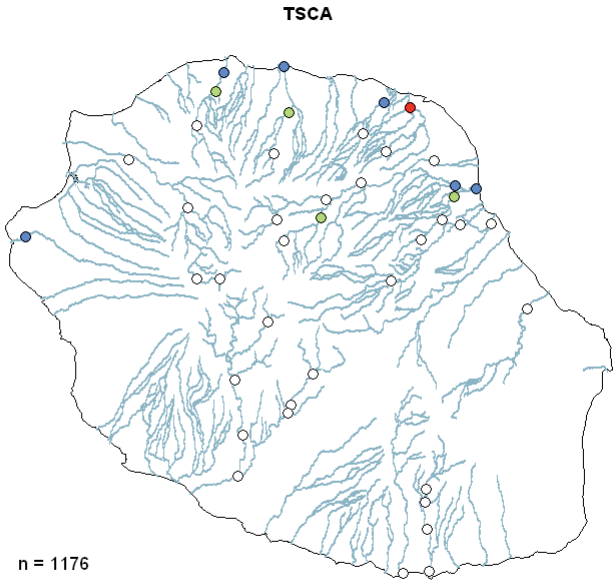
2009



2010



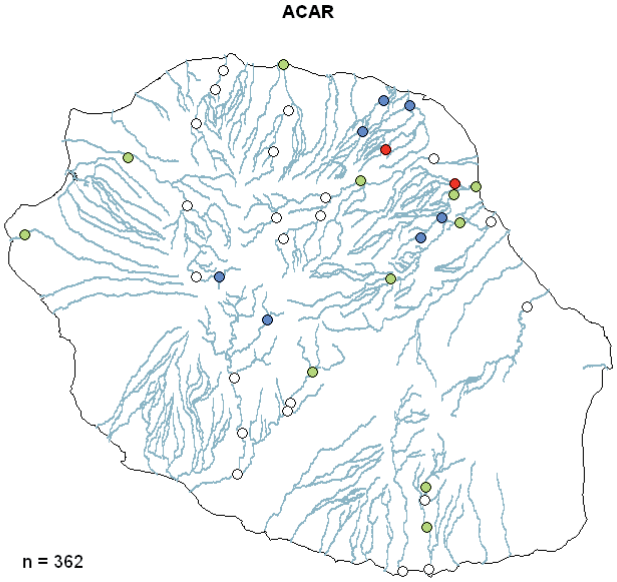
Total



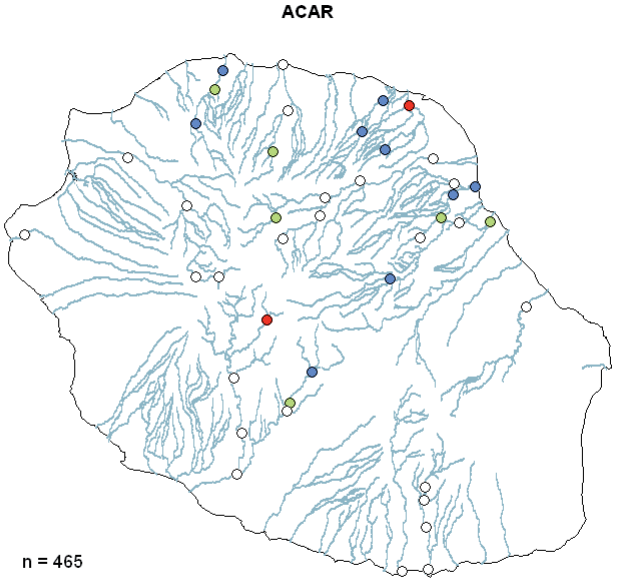
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Hydracarina

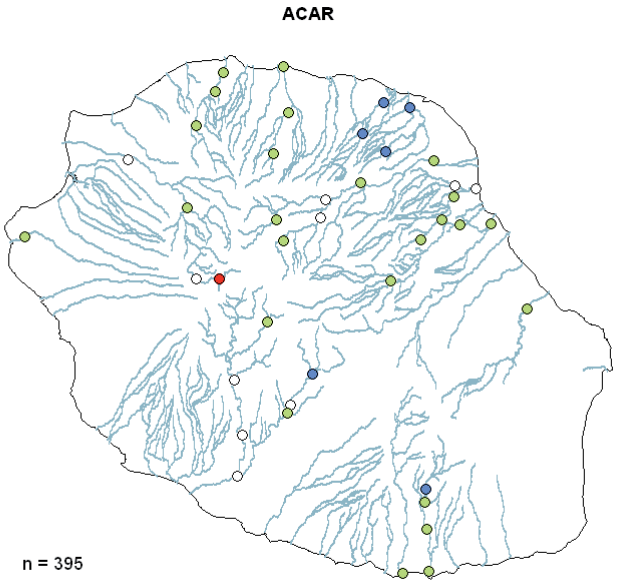
2008



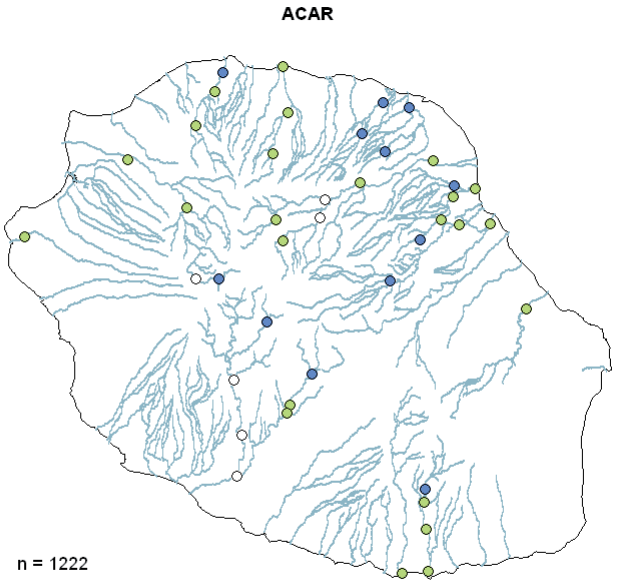
2009



2010



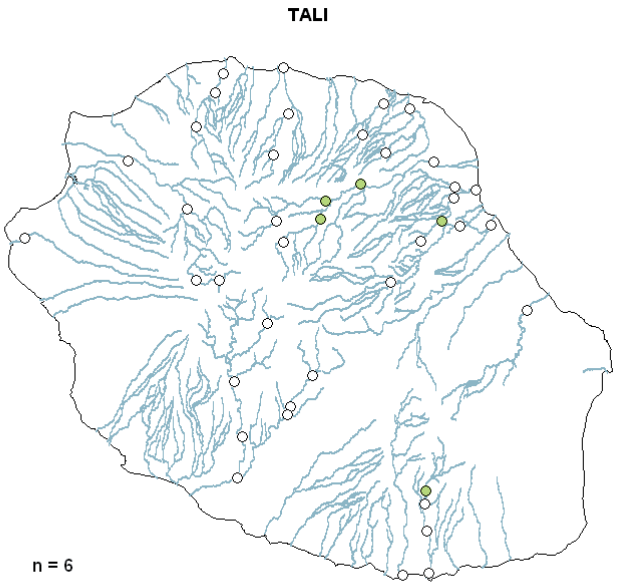
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

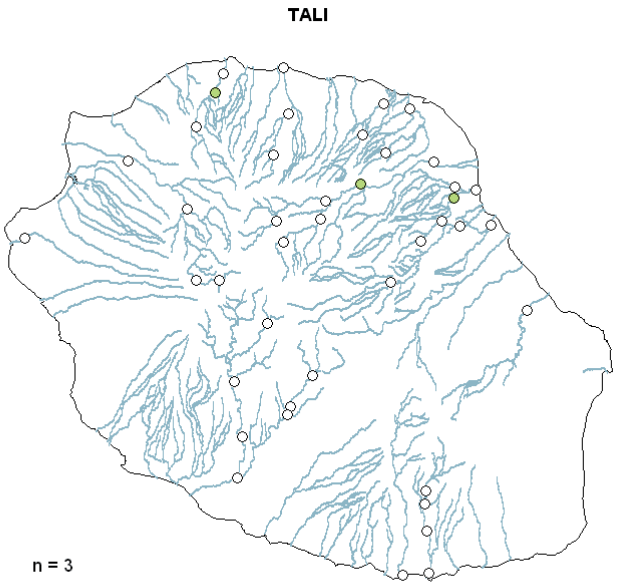
Talitridae

2008

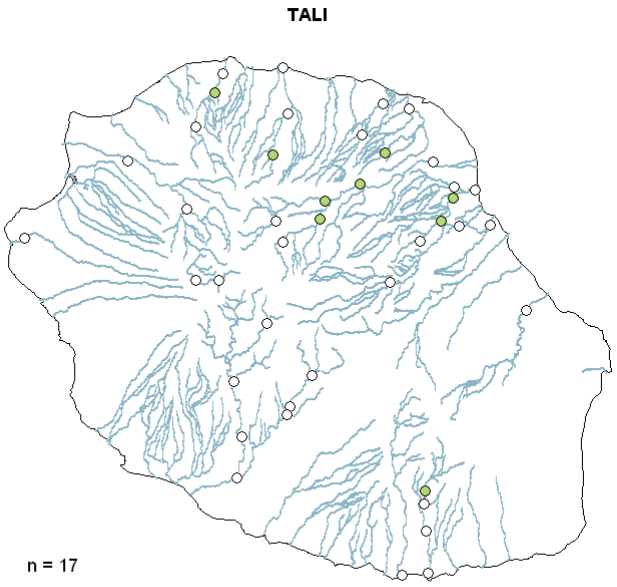


2009

2010



Total

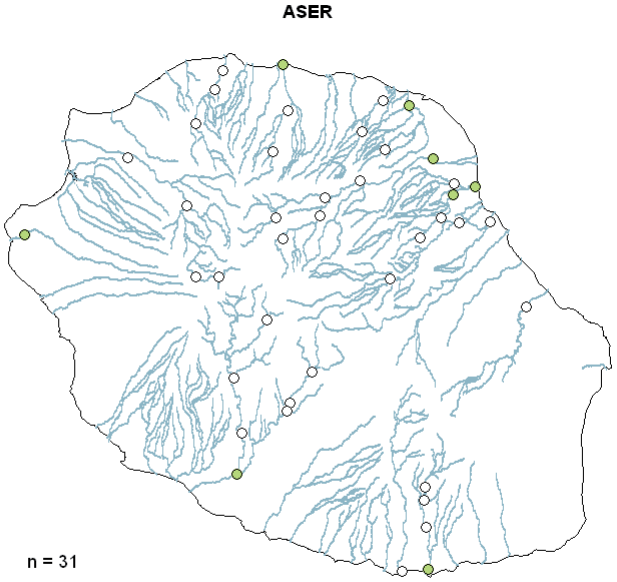


○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Atyoida serrata

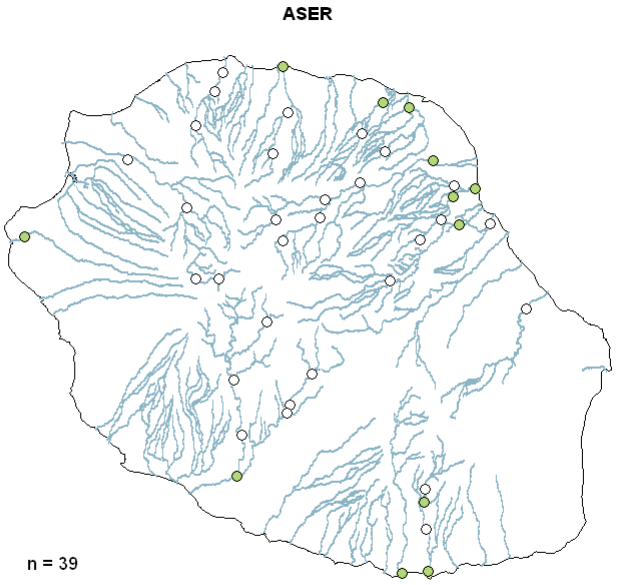
2008

2009



2010

Total

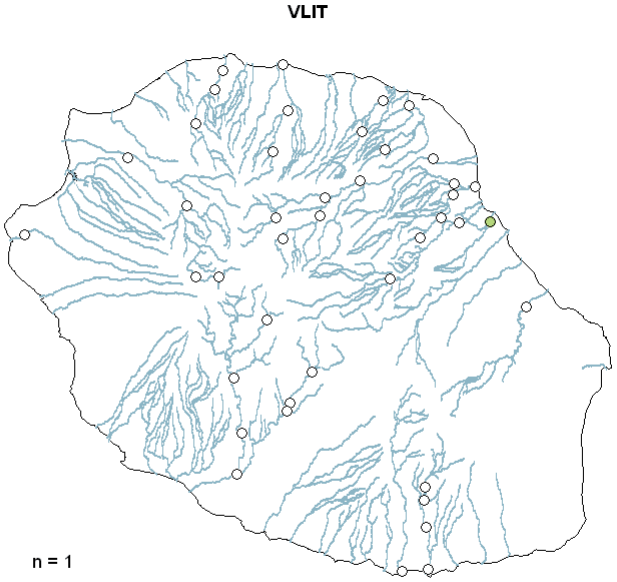


○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Varuna litterata

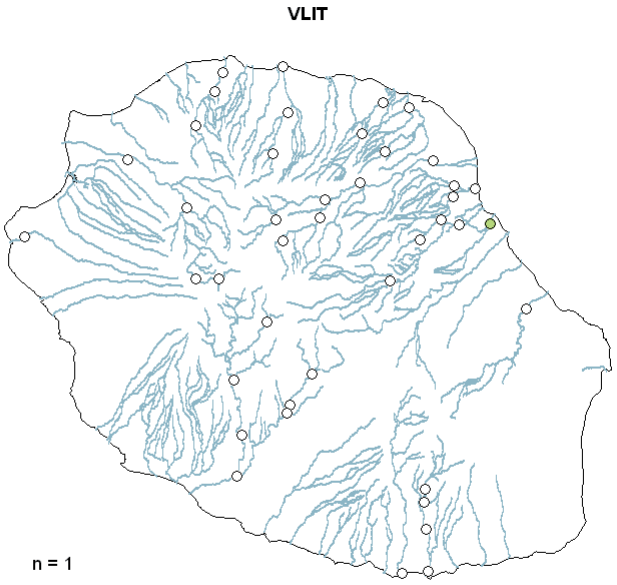
2008

2009



2010

Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

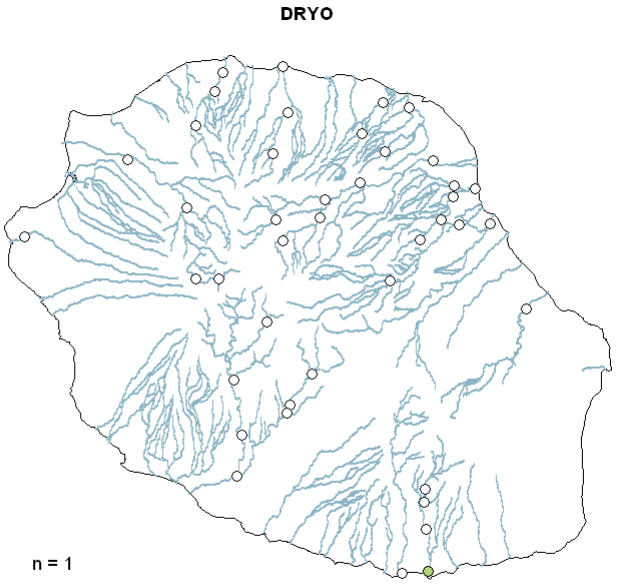
Dryopidae (Larve)

2008

2009

2010

Total



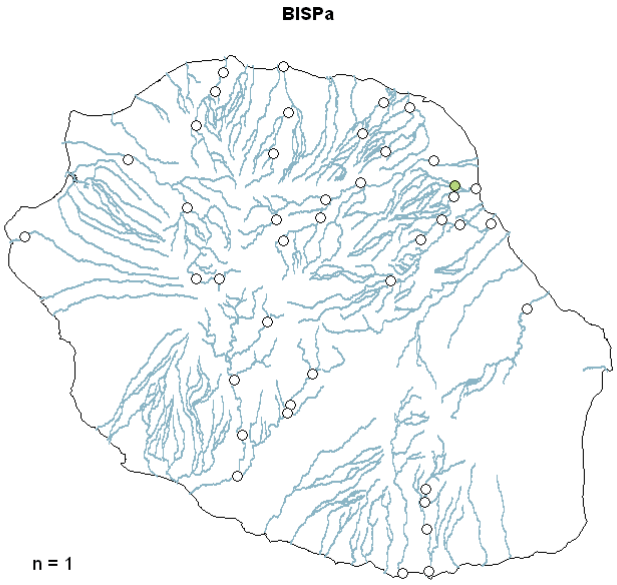
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Bidessus sp. (Adulte)

2008

2009

2010

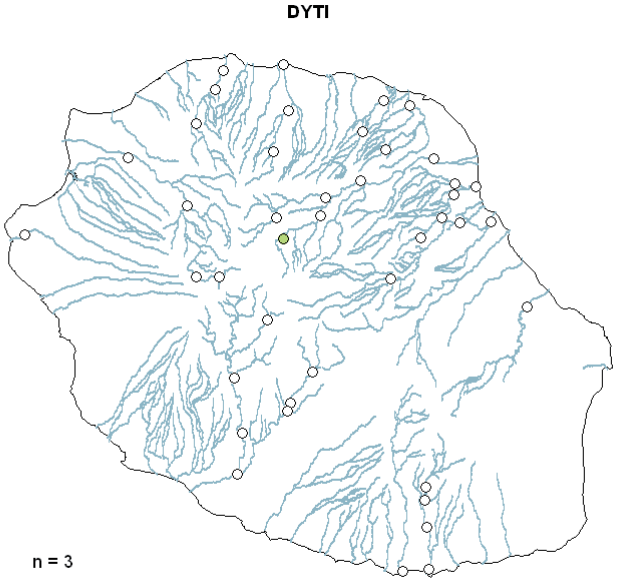


Total

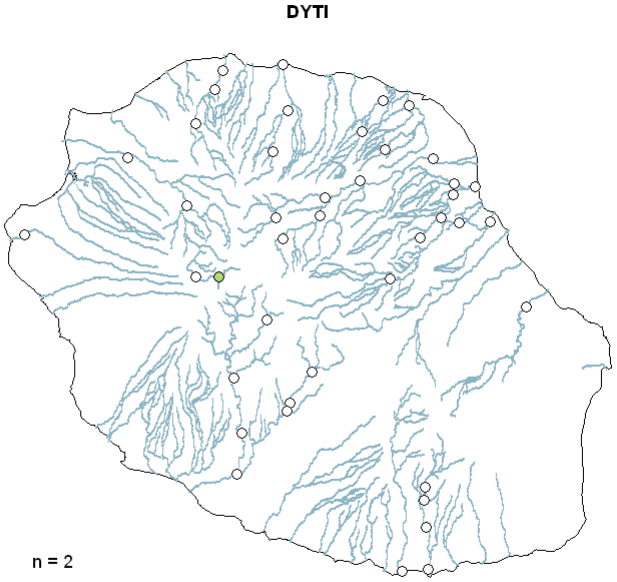
0]0-10[[10-100[[100-500[≥ 500

Dytiscidae (Larve)

2008

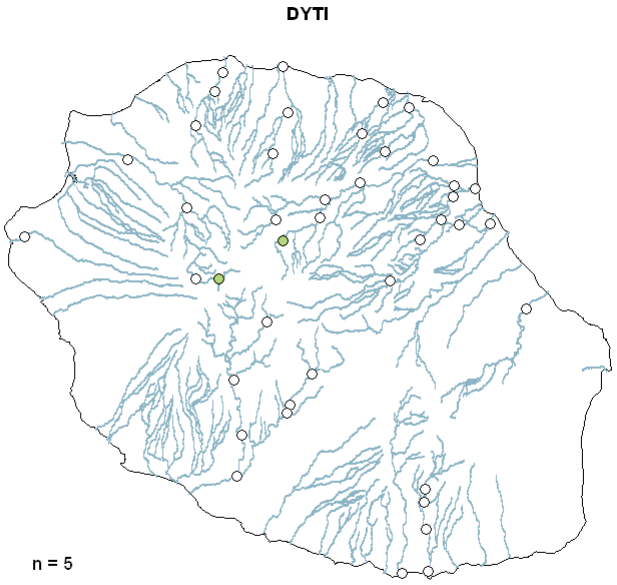


2009



2010

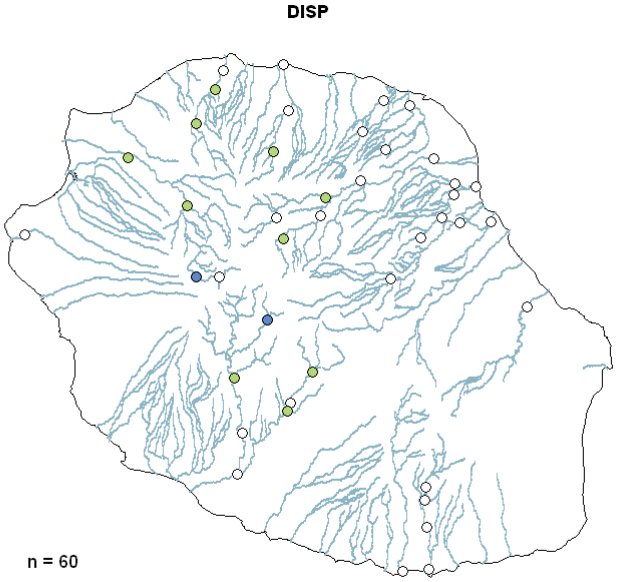
Total



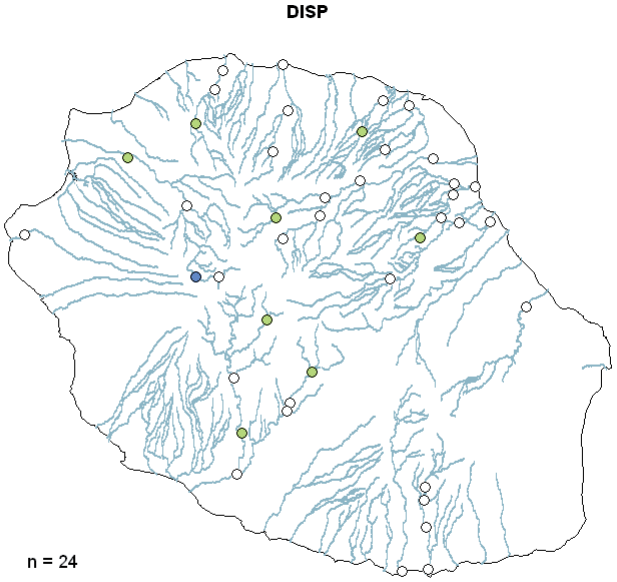
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Dineutus sp. (Larve)

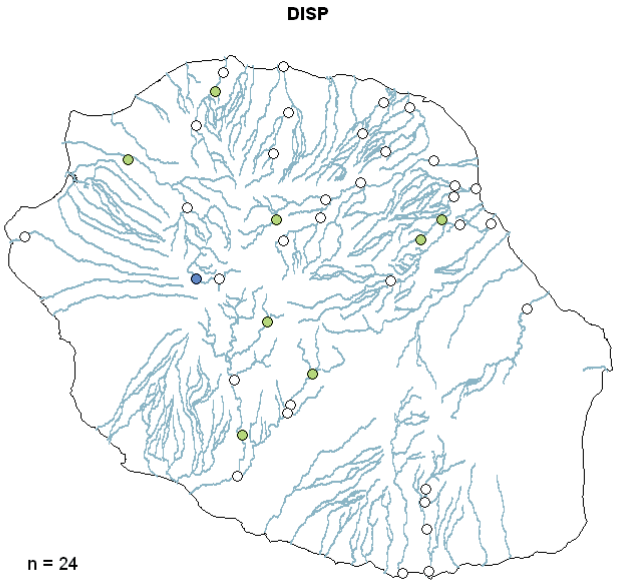
2008



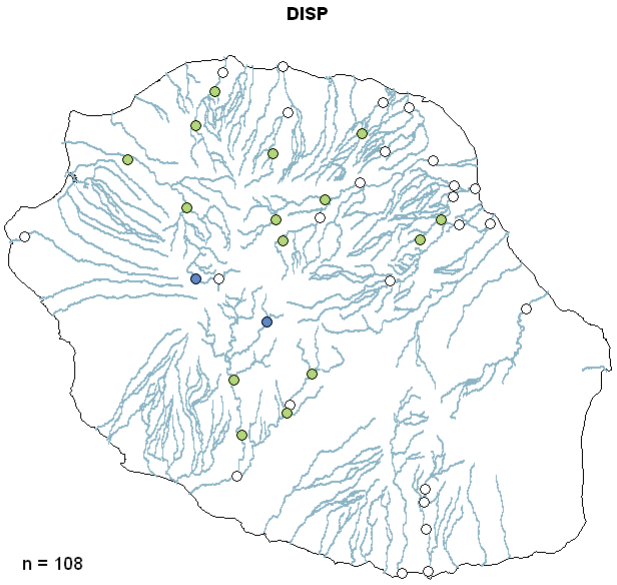
2009



2010



Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

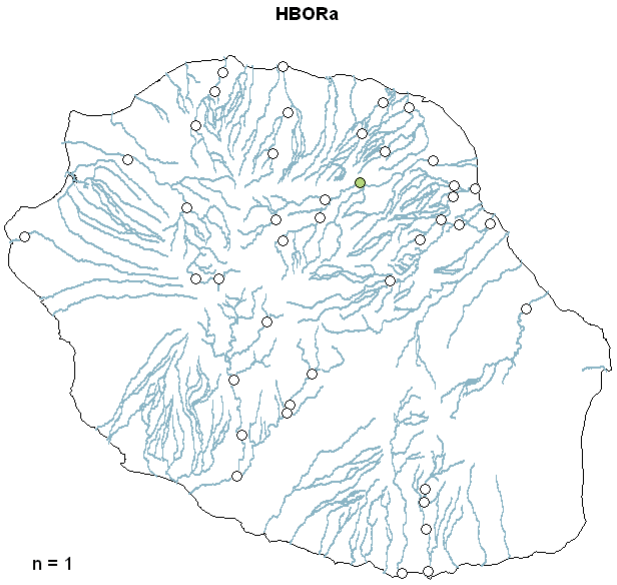
Hydraena borbonica

2008

2009

2010

Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Sicilicula borbonica

2008

2009

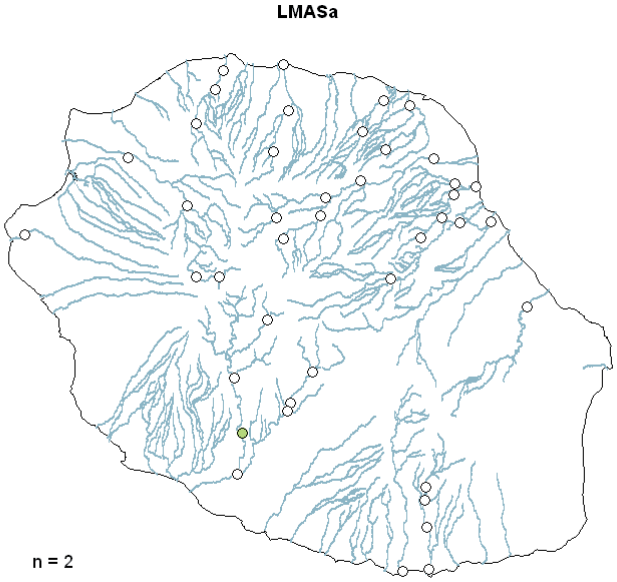
2010

Total

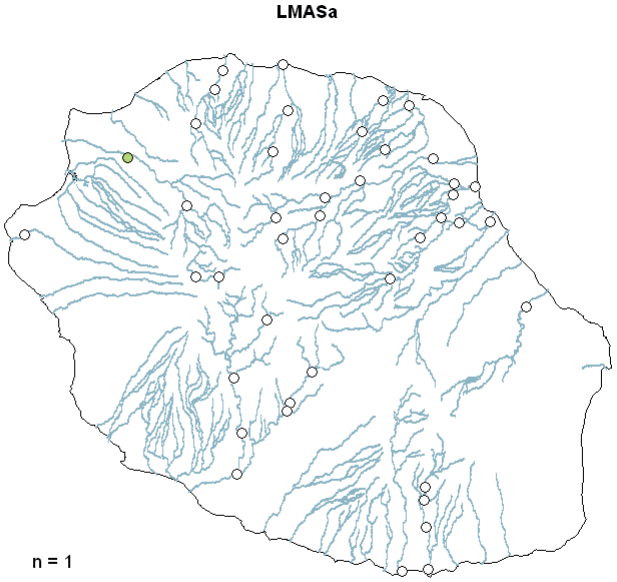
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Laccobius mascarensis

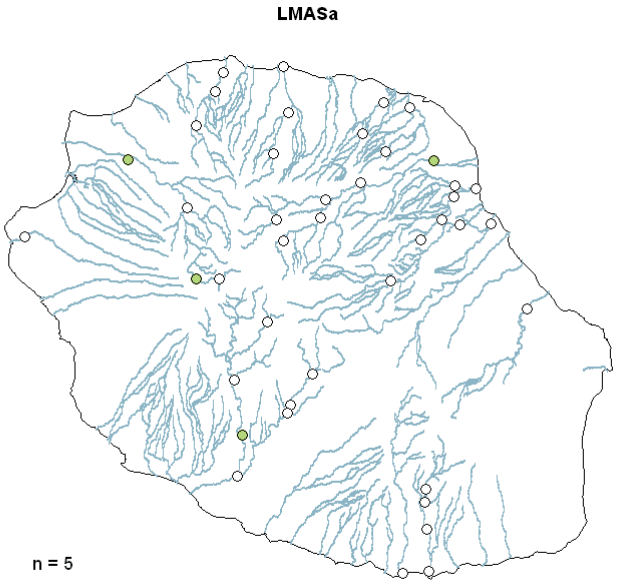
2008



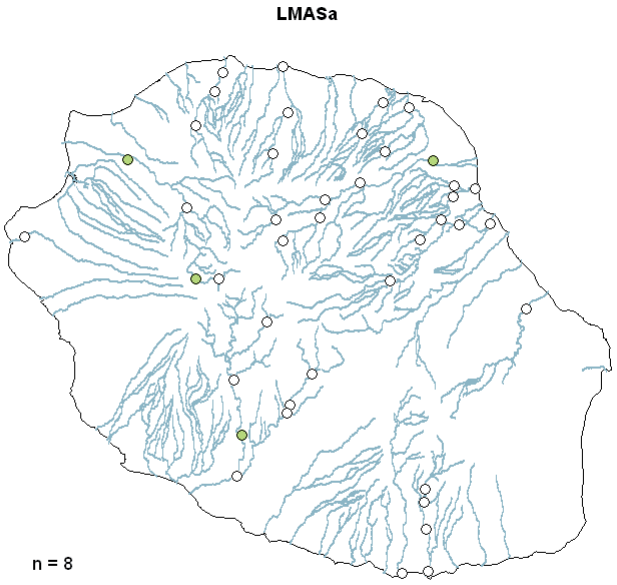
2009



2010



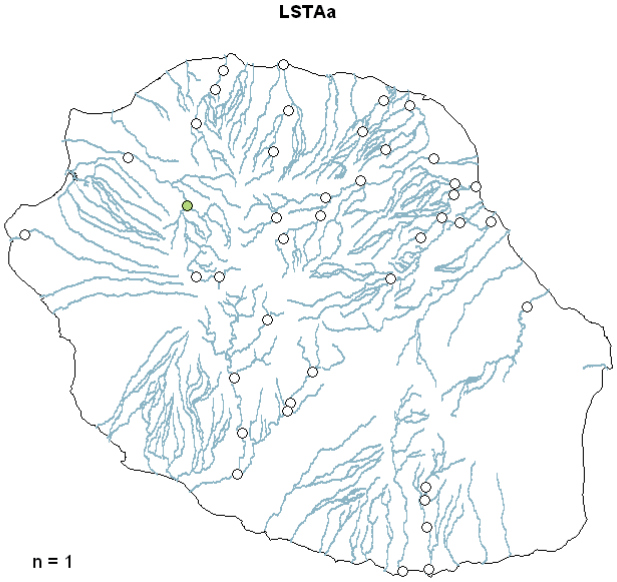
Total



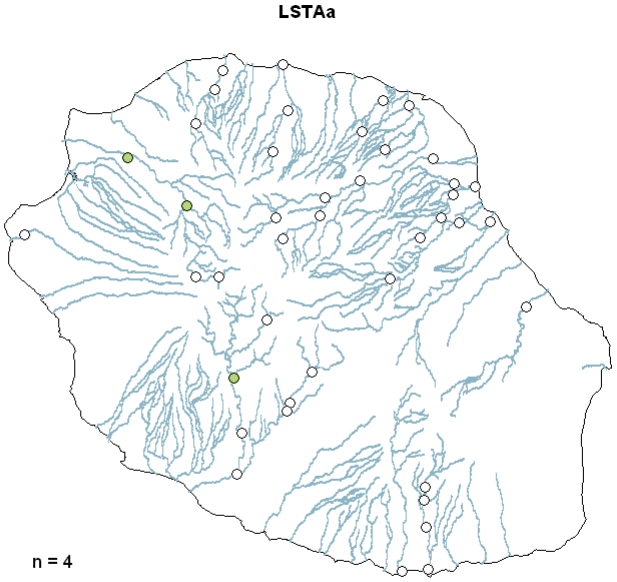
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Laccobius starmüehlneri

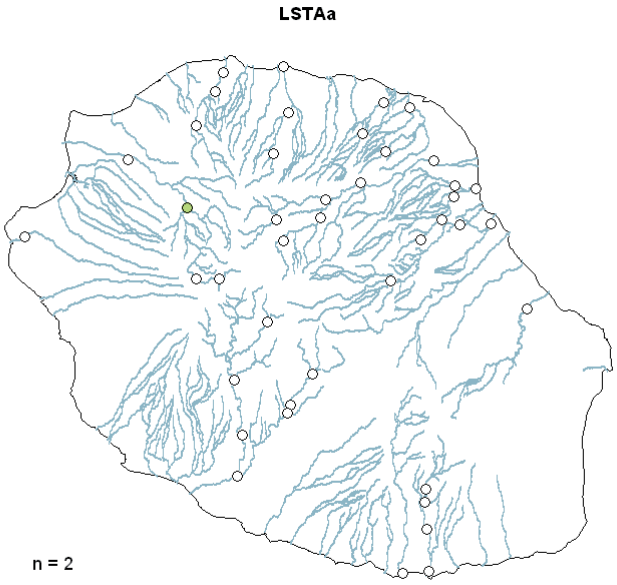
2008



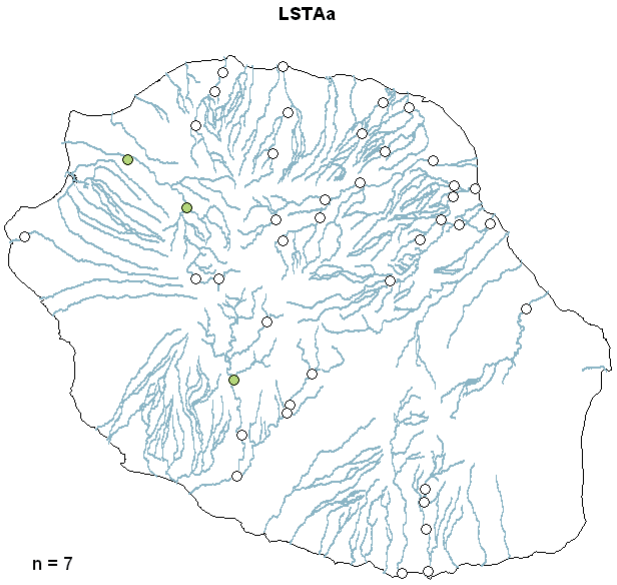
2009



2010



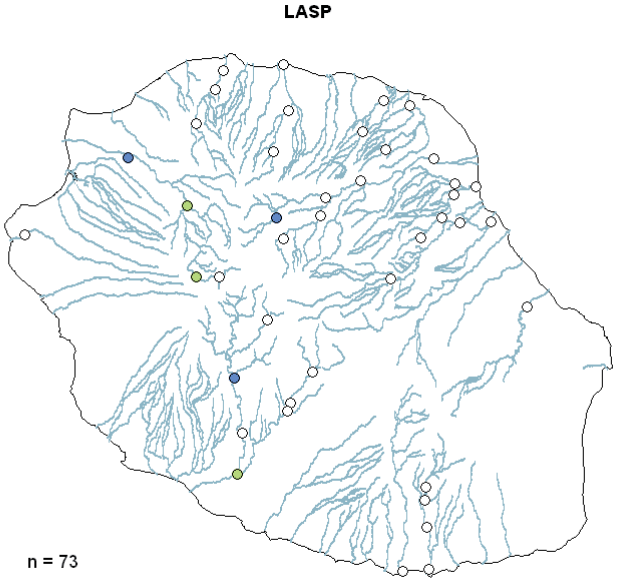
Total



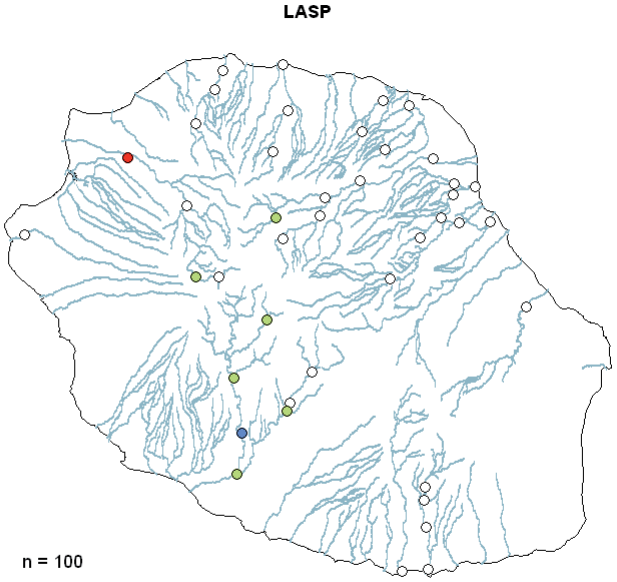
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Laccobius spp. (Larve)

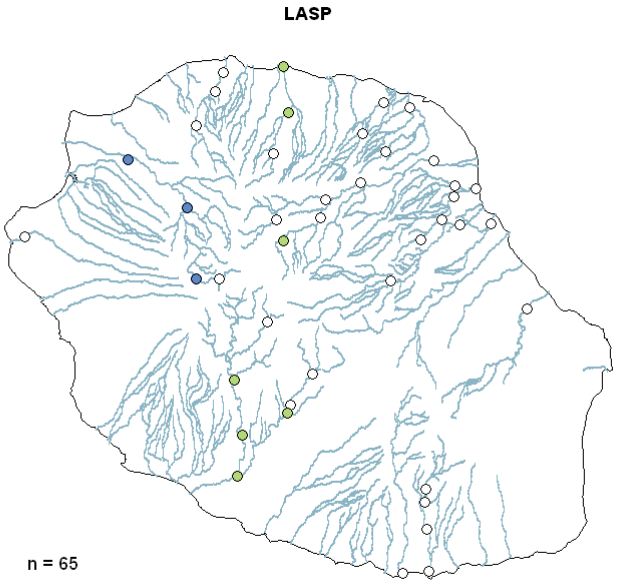
2008



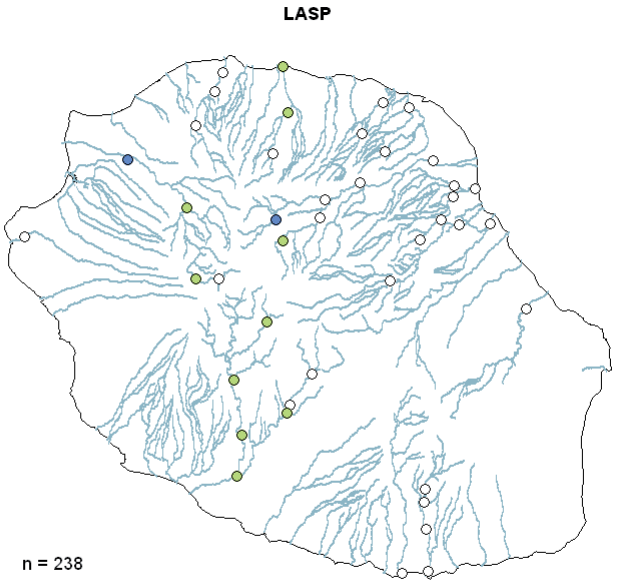
2009



2010



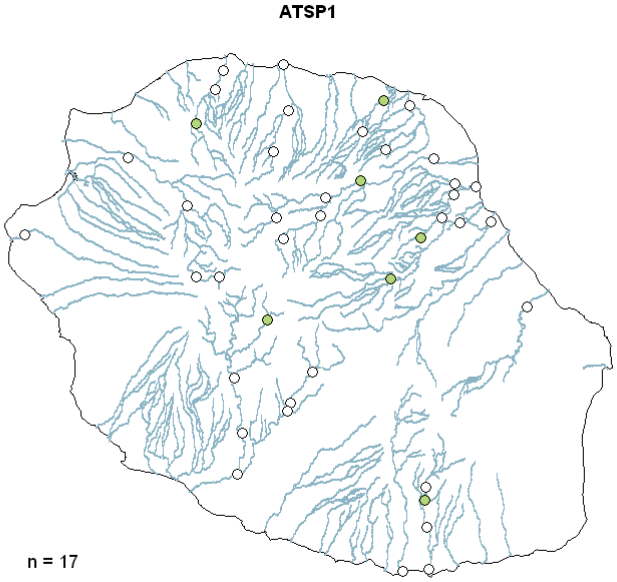
Total



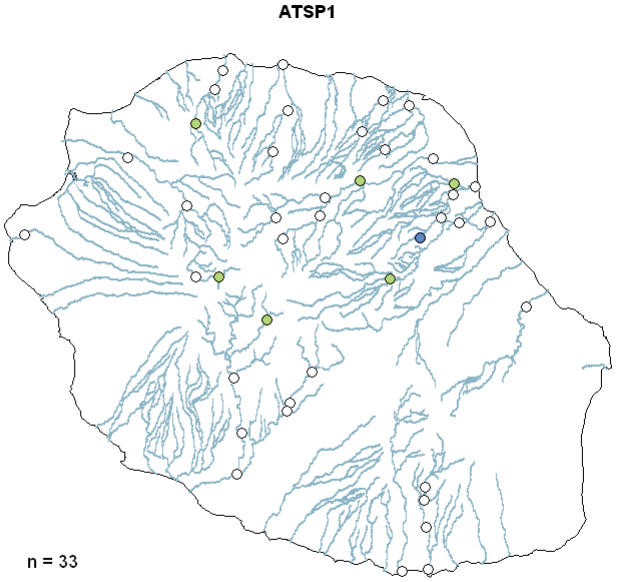
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Atrichopogon sp. 1

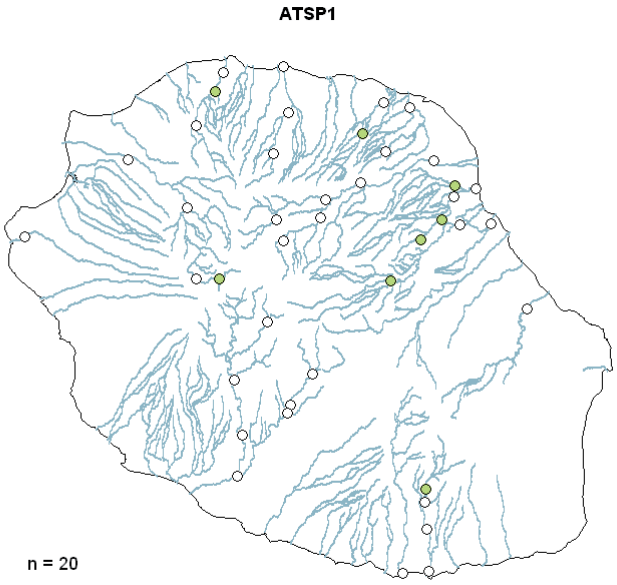
2008



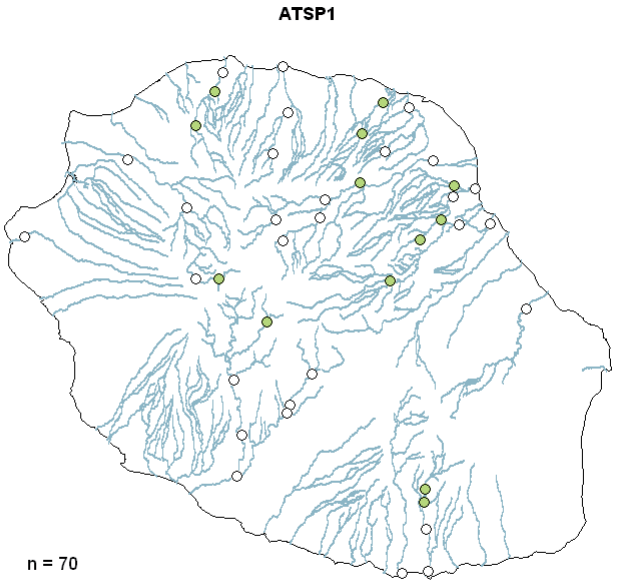
2009



2010



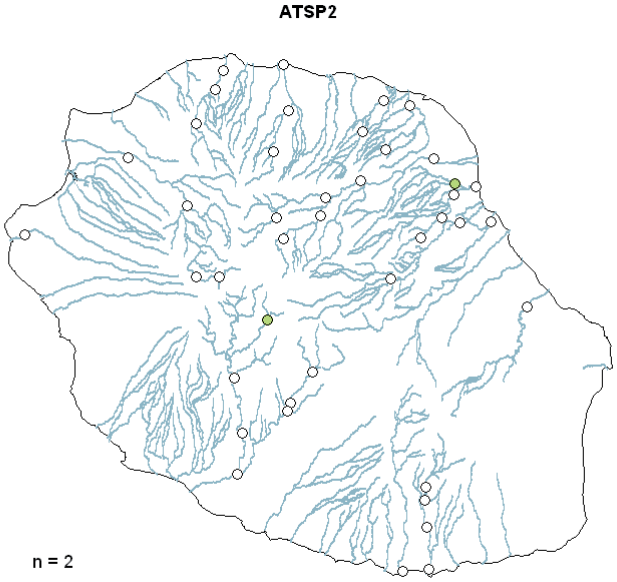
Total



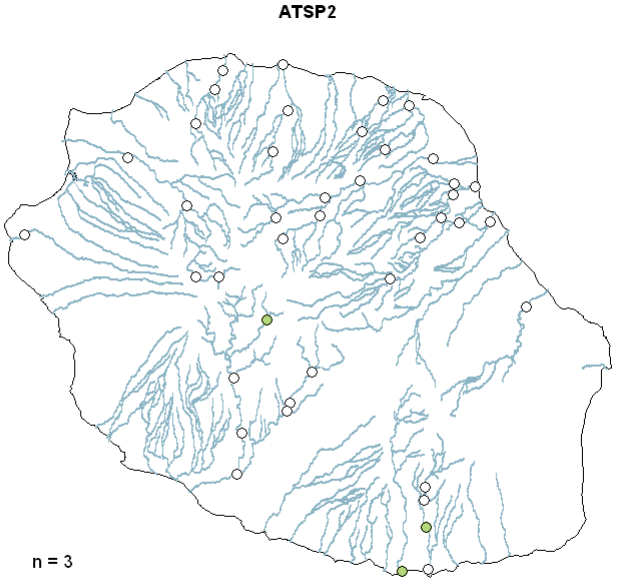
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Atrichopogon sp. 2

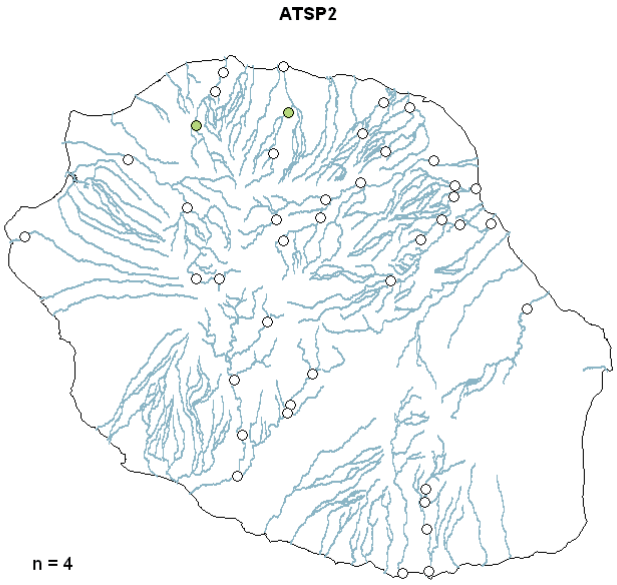
2008



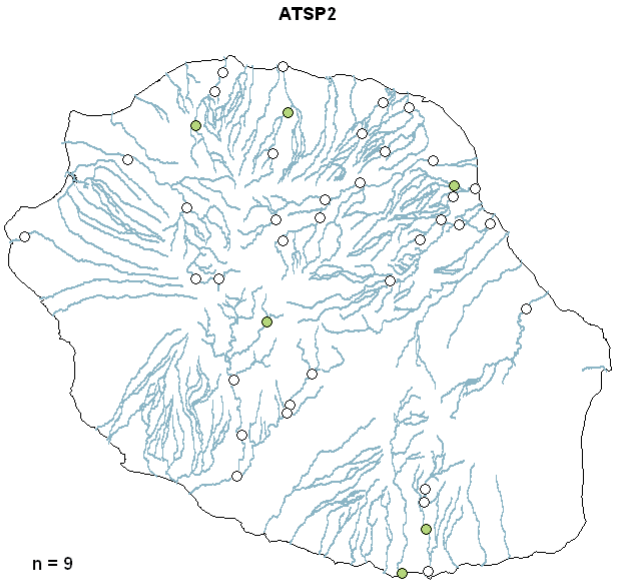
2009



2010



Total

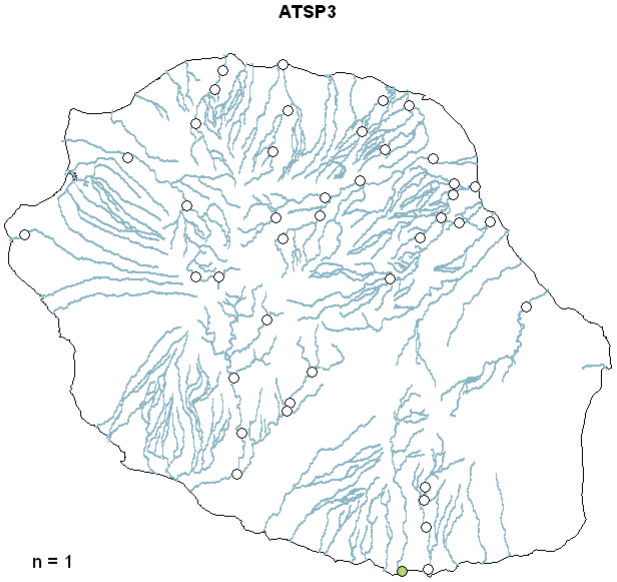


○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

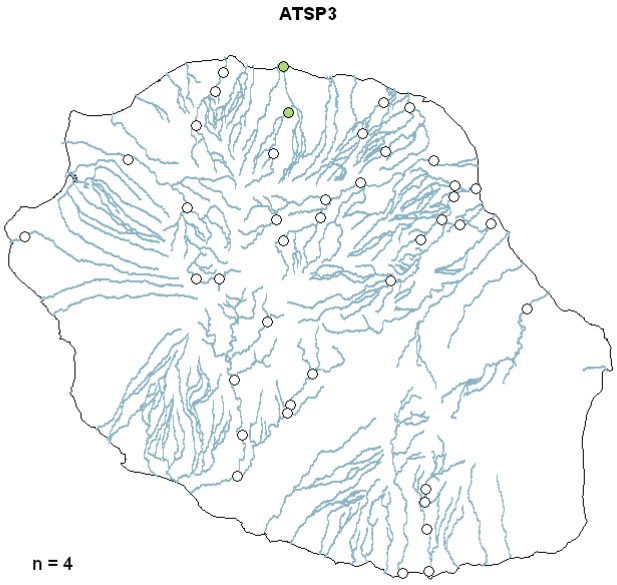
Atrichopogon sp. 3

2008

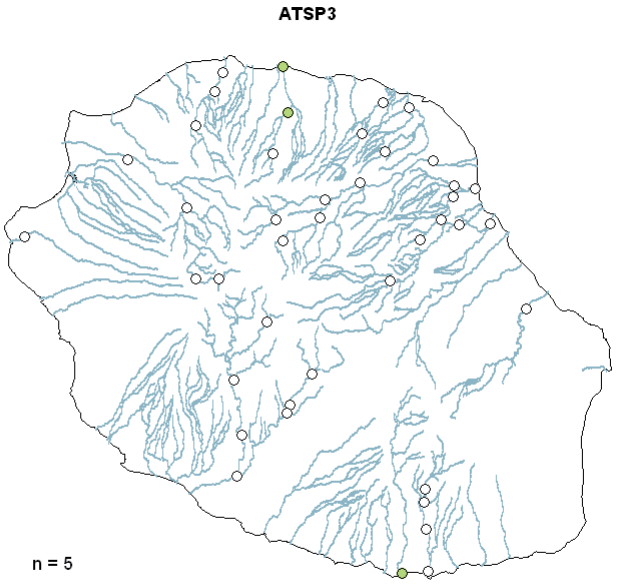
2009



2010



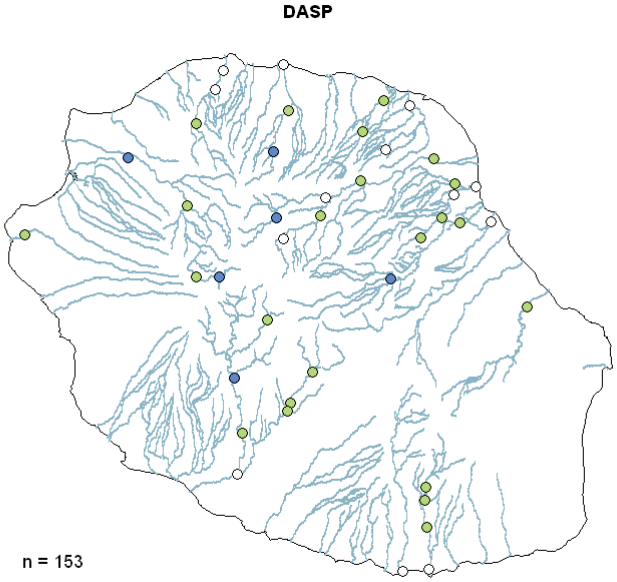
Total



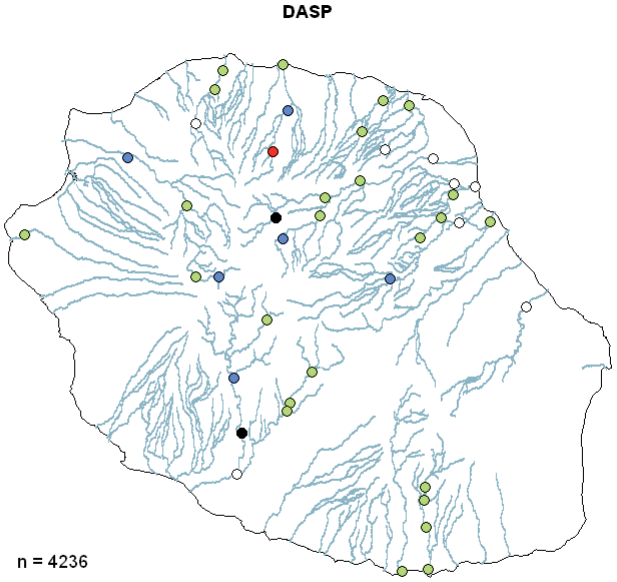
0]0-10[[10-100[[100-500[≥ 500

Dasyhelea sp.

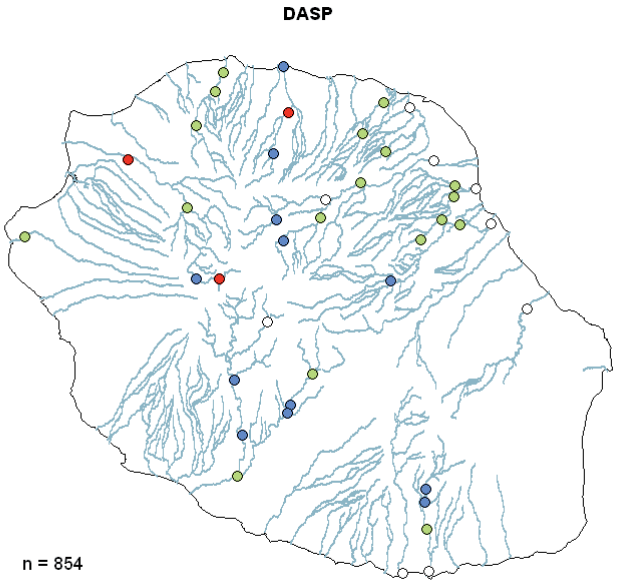
2008



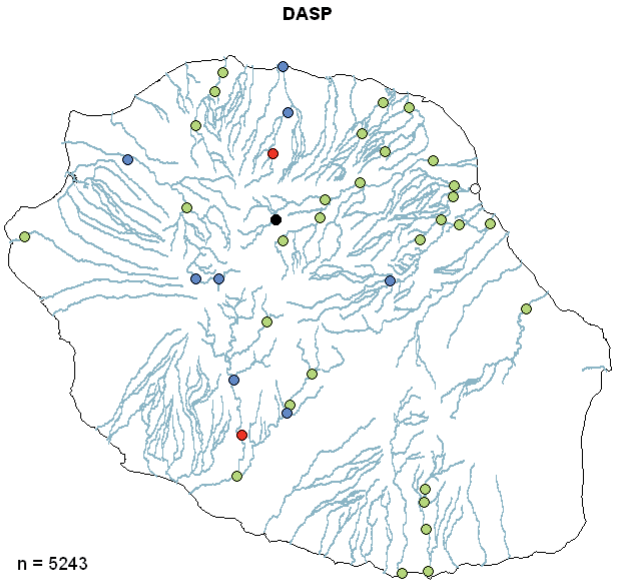
2009



2010



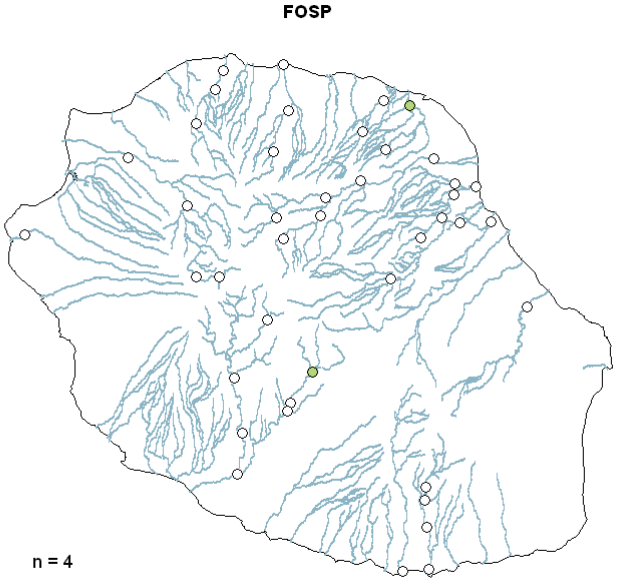
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Forcipomya sp.

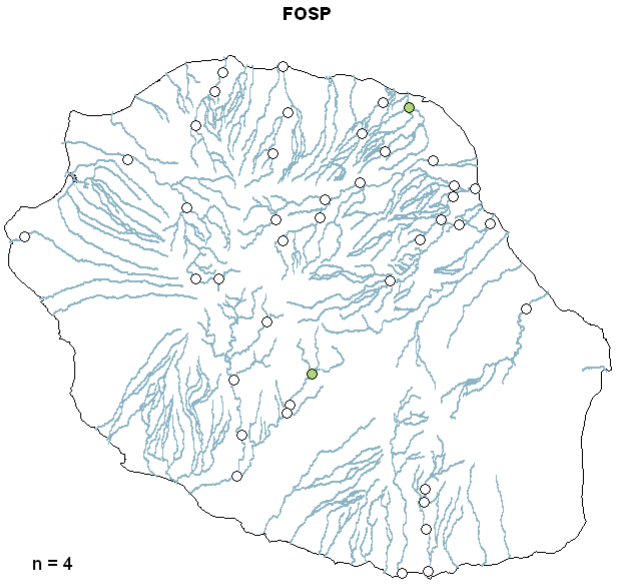
2008



2009

2010

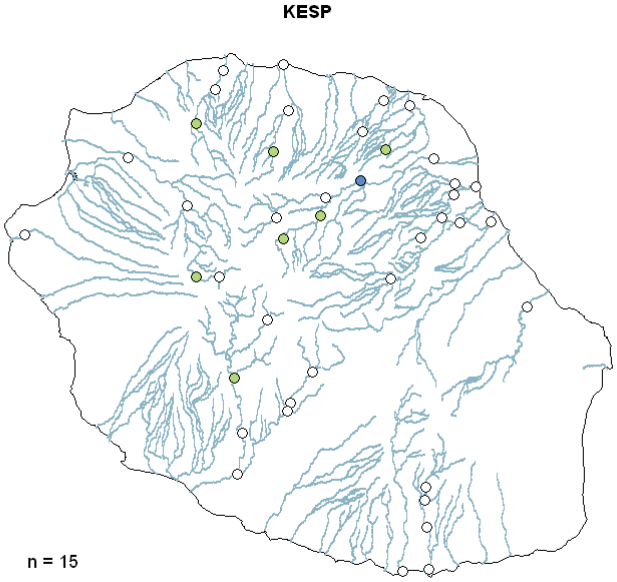
Total



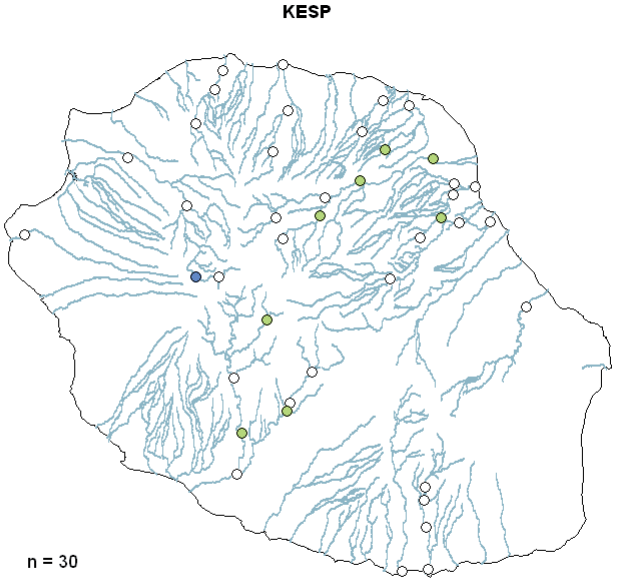
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Kempia sp.

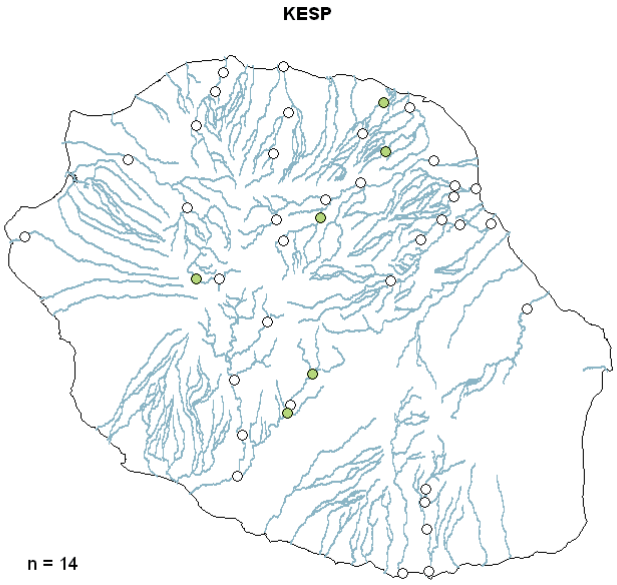
2008



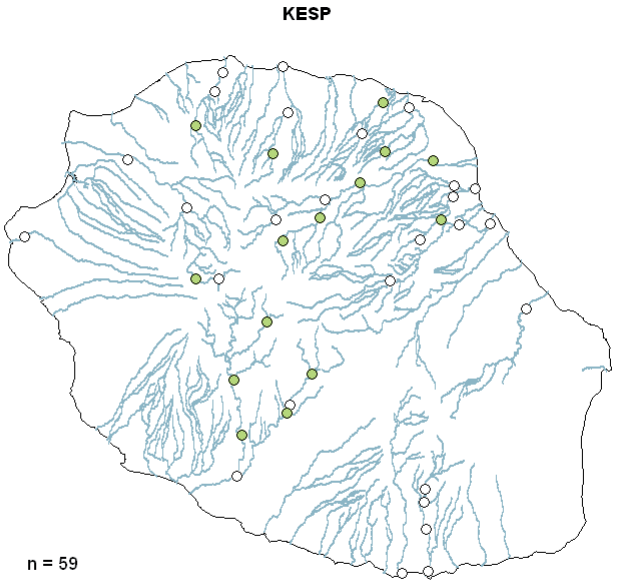
2009



2010



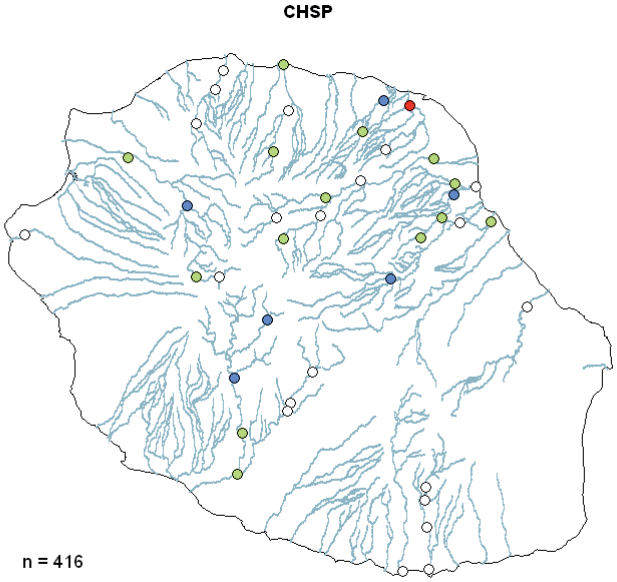
Total



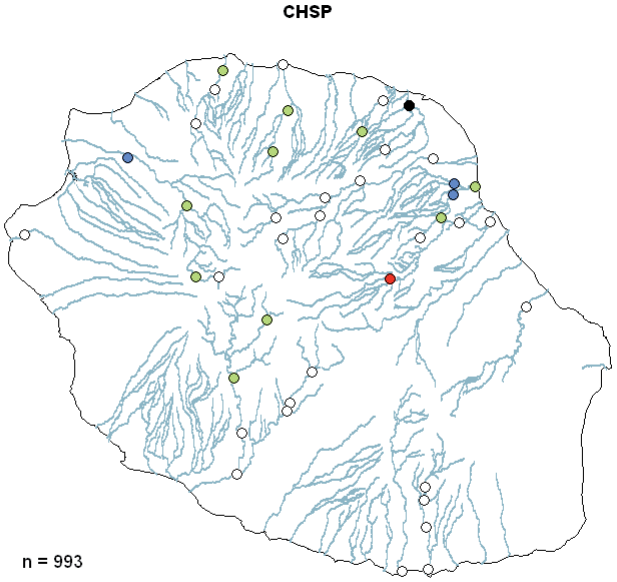
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Chironomini

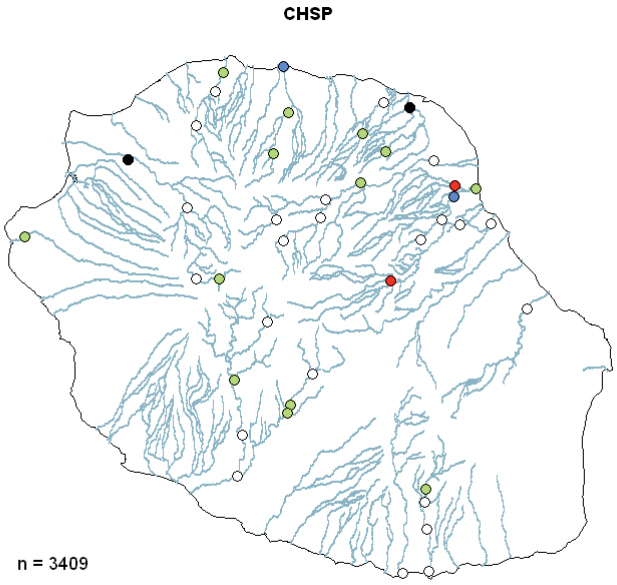
2008



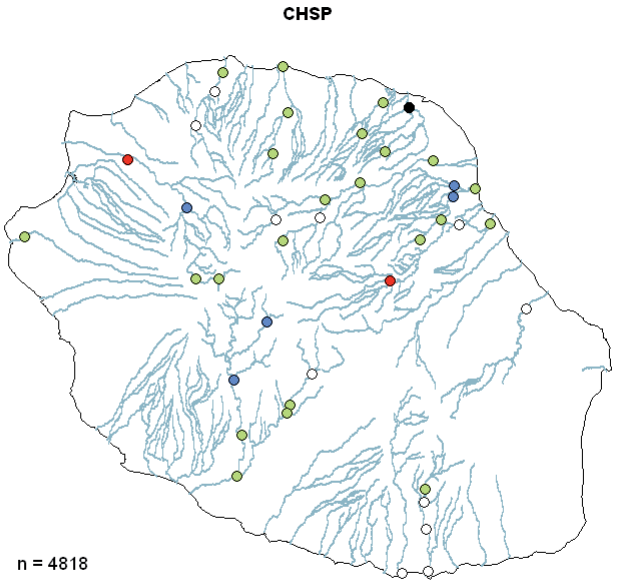
2009



2010



Total

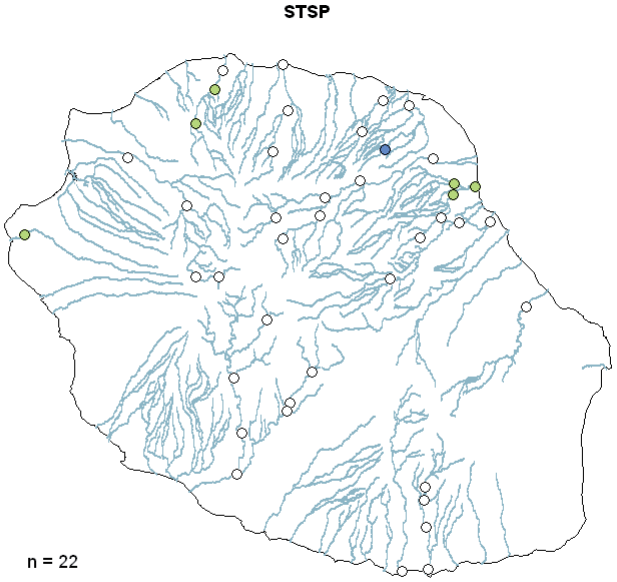


○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

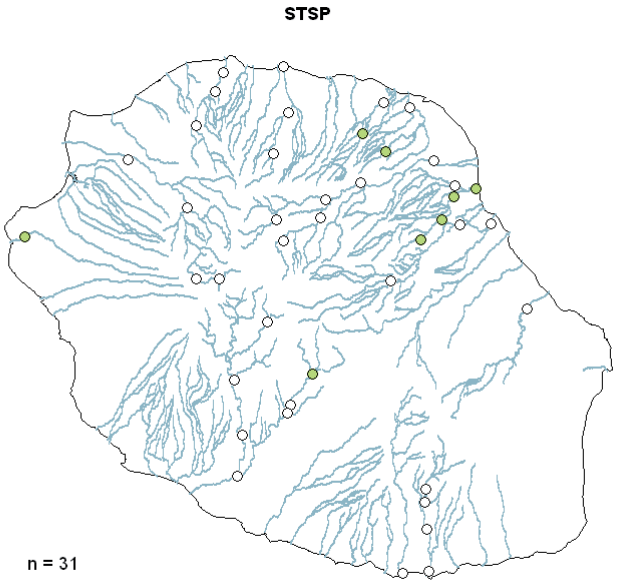
Stenochironomus spp.

2008

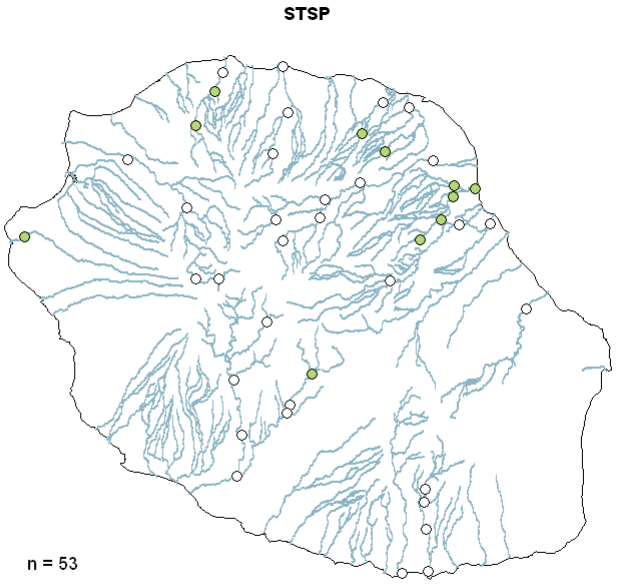
2009



2010



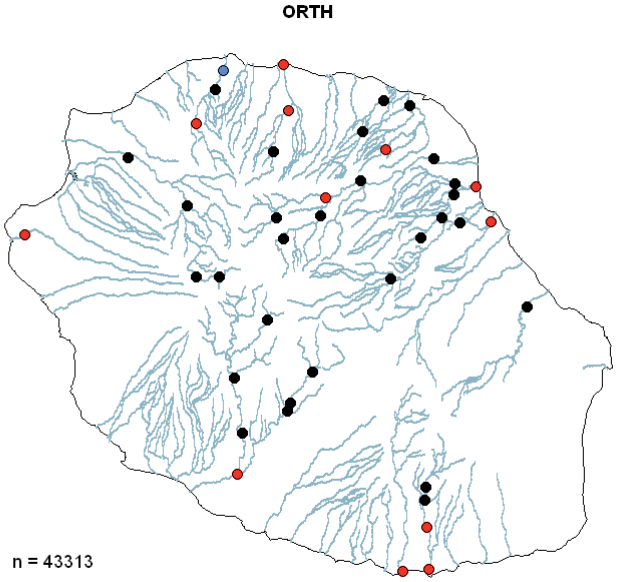
Total



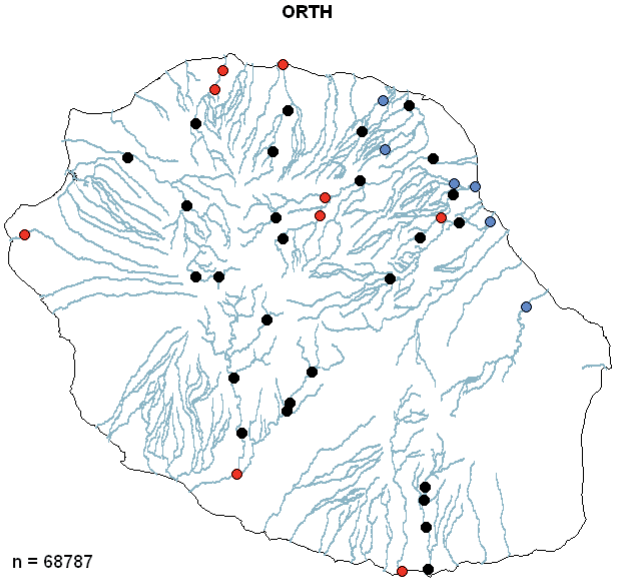
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Orthocladiinae

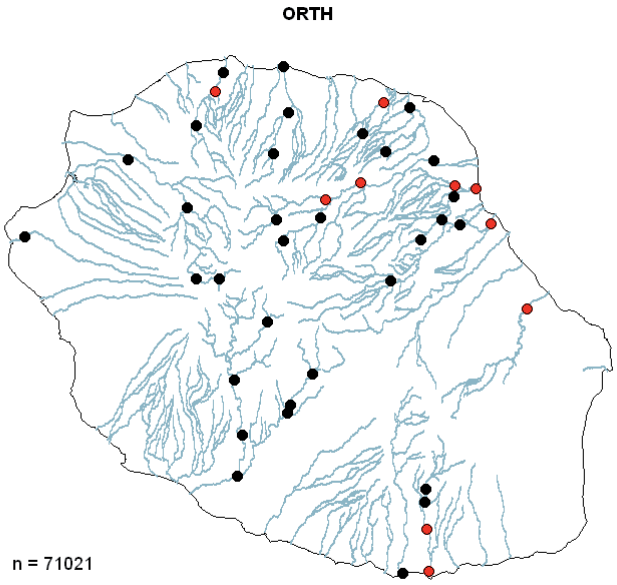
2008



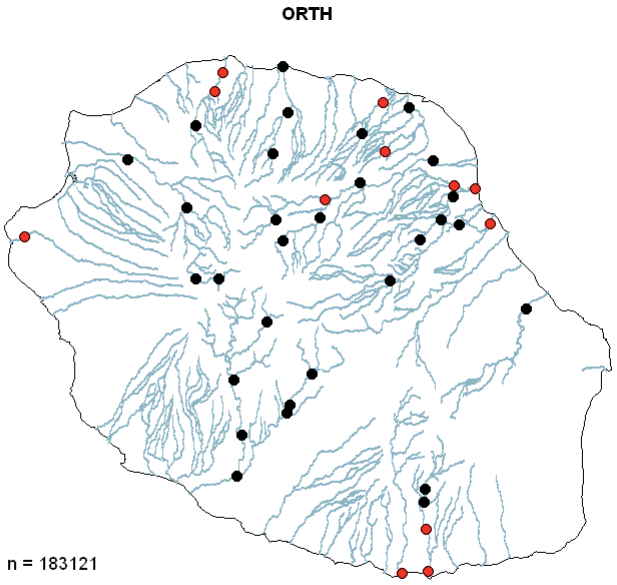
2009



2010



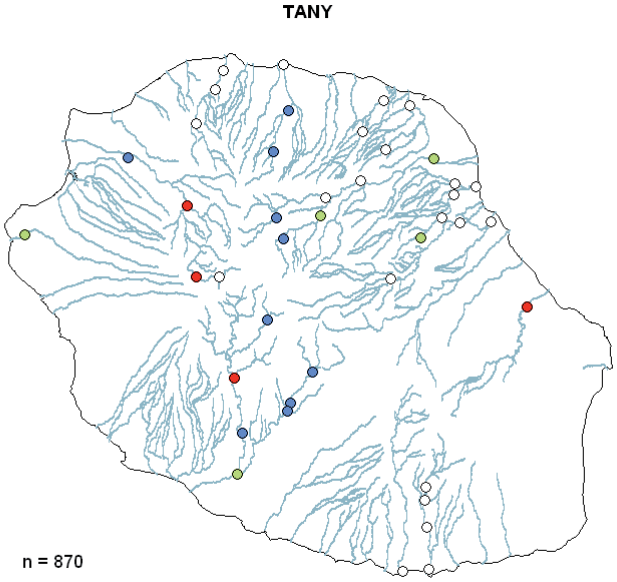
Total



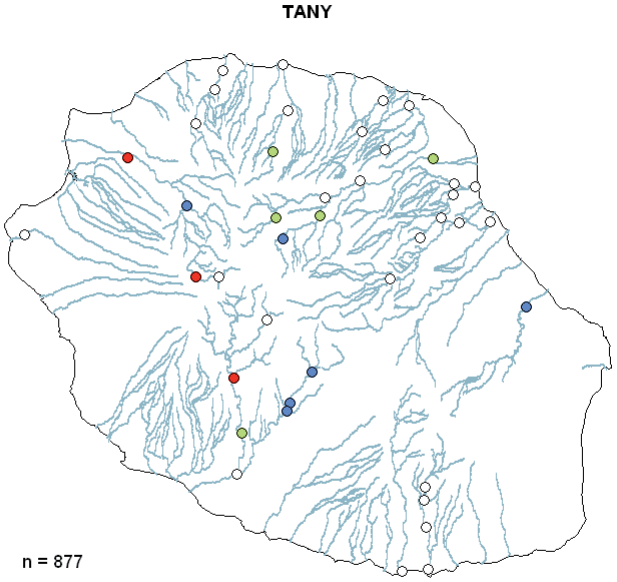
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Tanypodinae

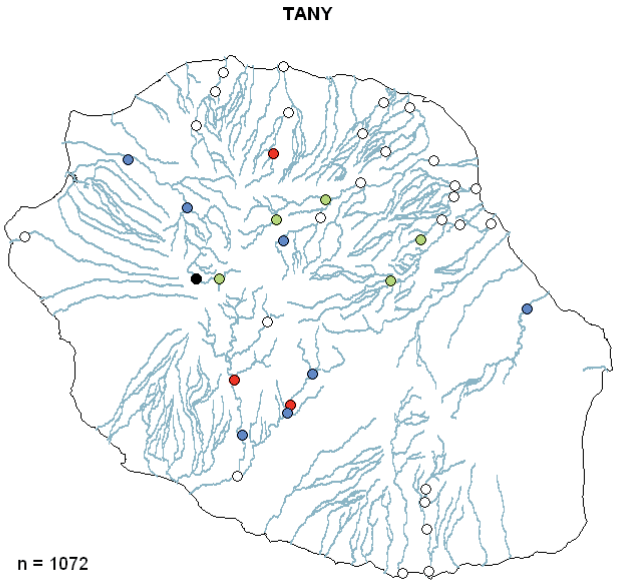
2008



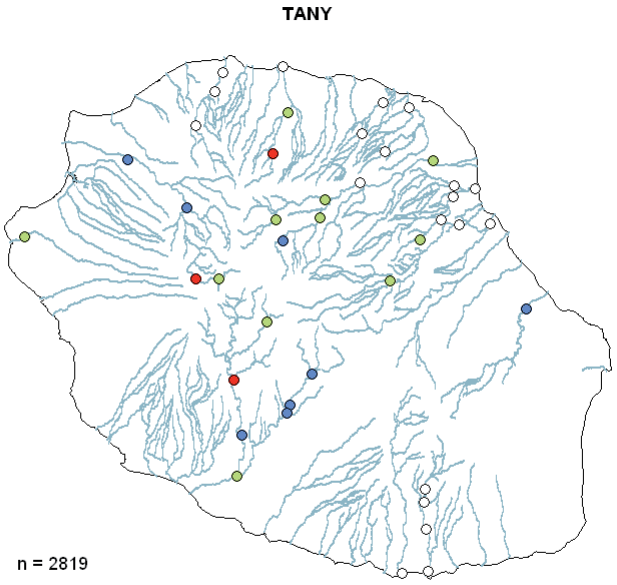
2009



2010



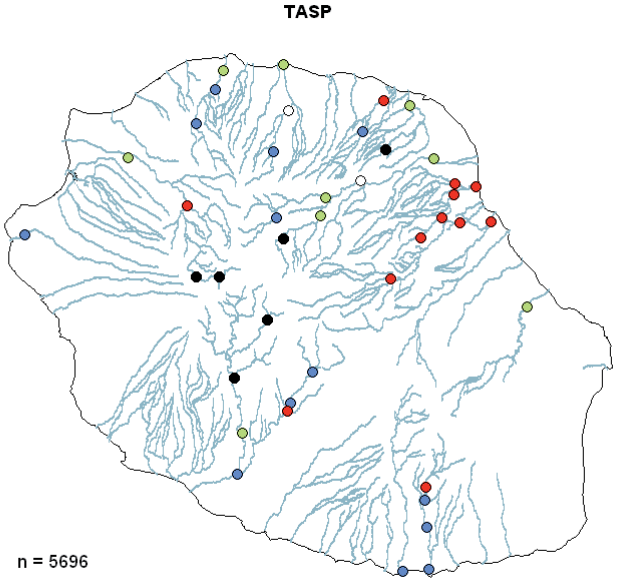
Total



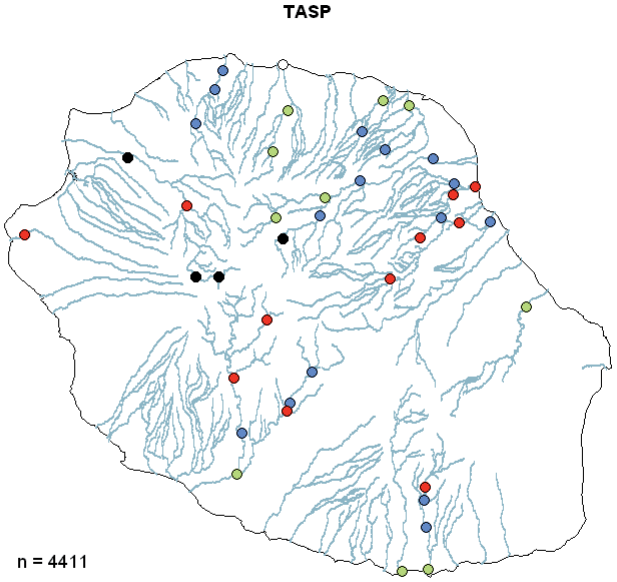
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Tanytarsini

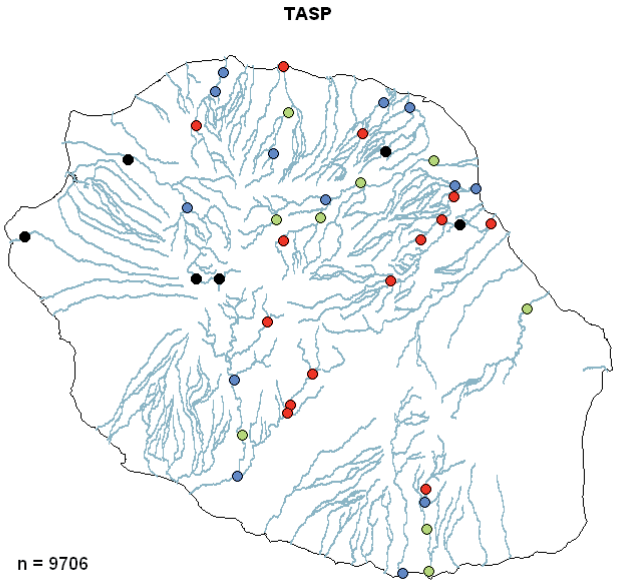
2008



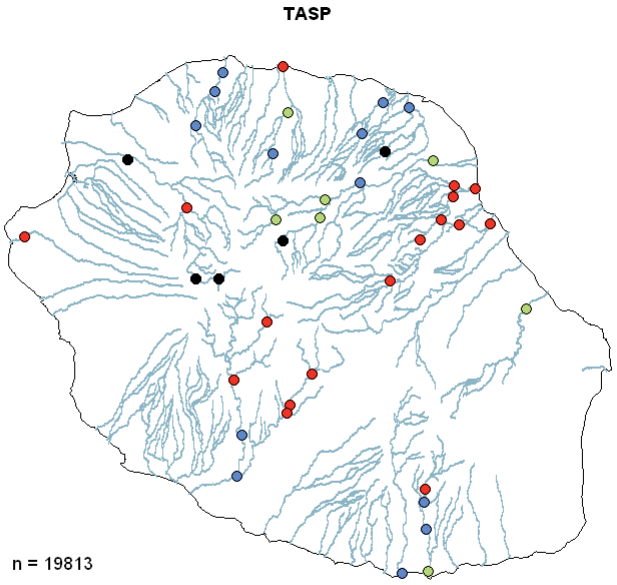
2009



2010



Total



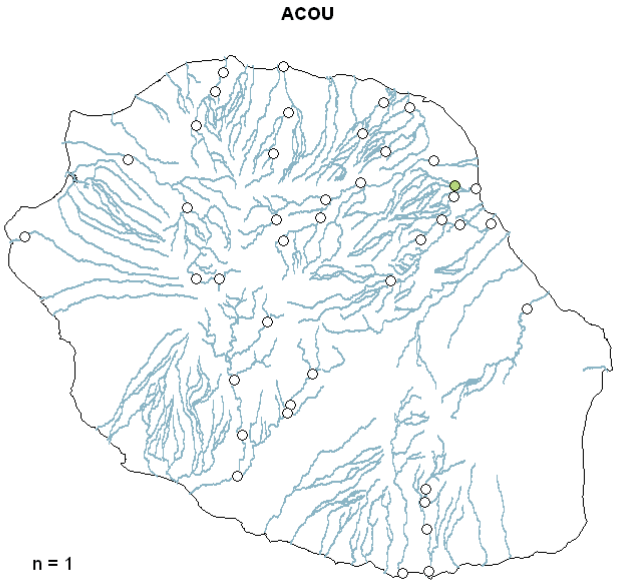
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Anopheles coustani

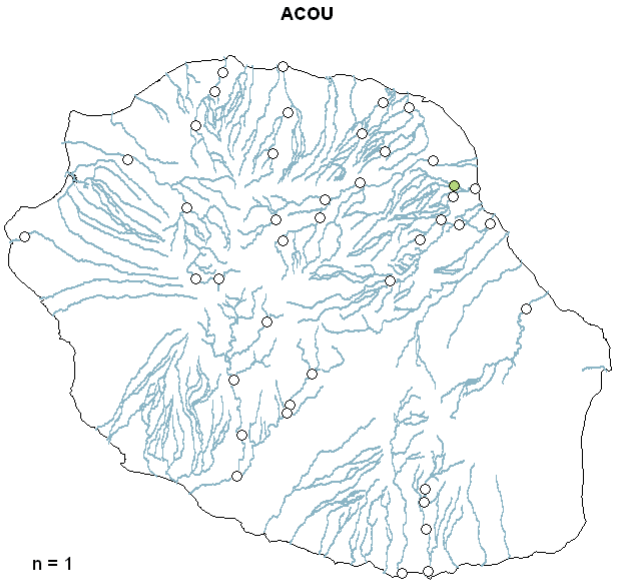
2008

2009

2010



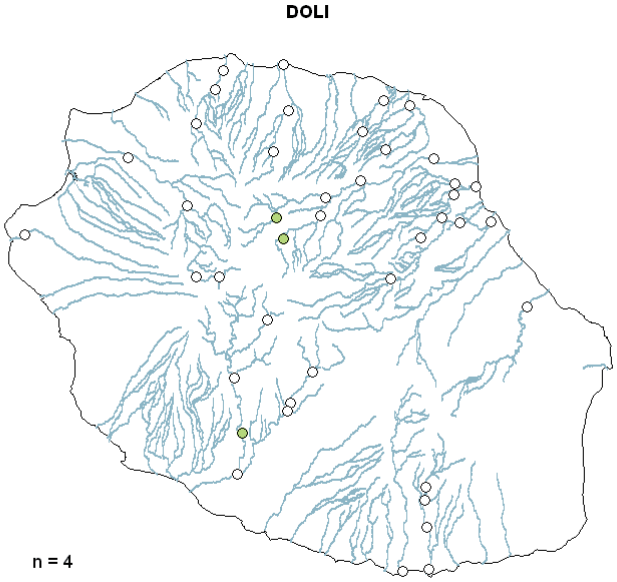
Total



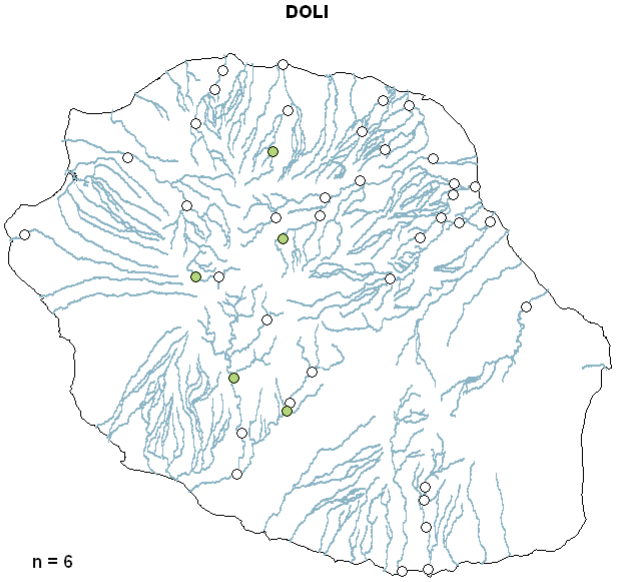
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Dolichopodidae

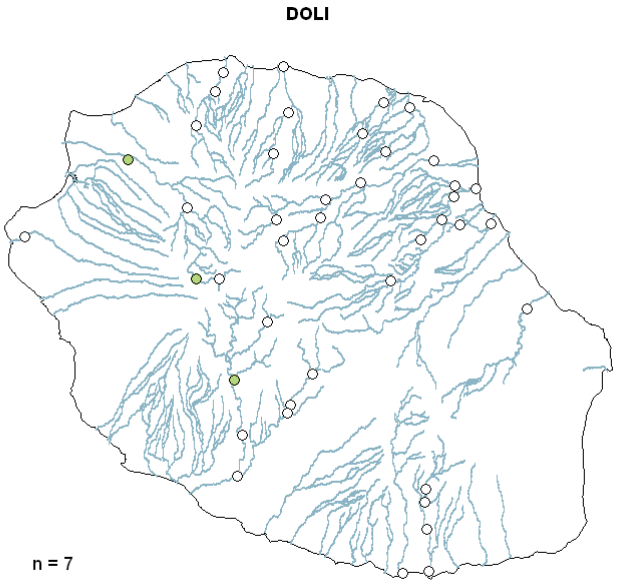
2008



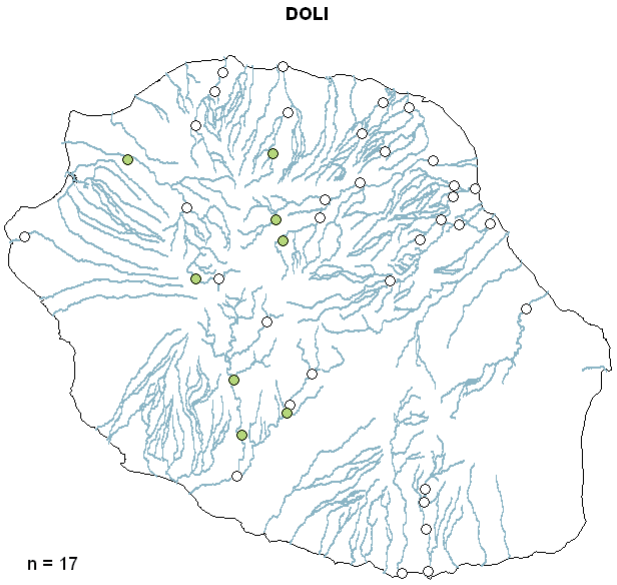
2009



2010



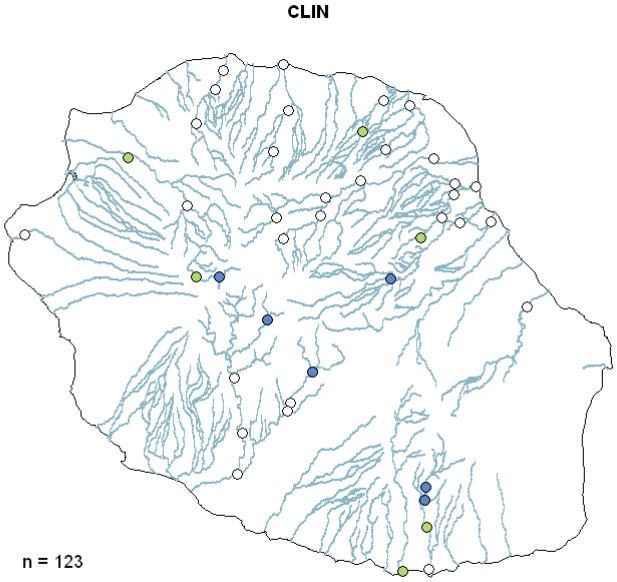
Total



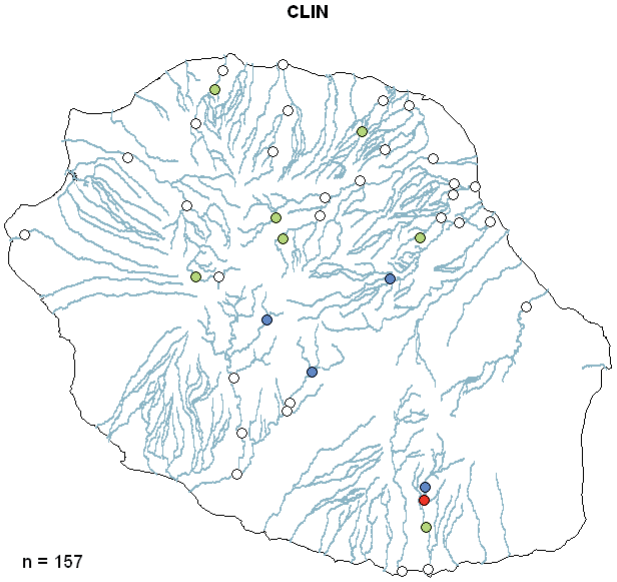
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Clinocerinae

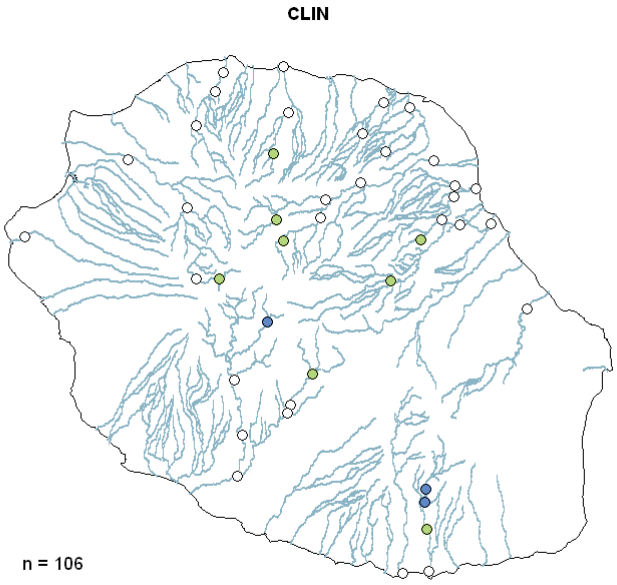
2008



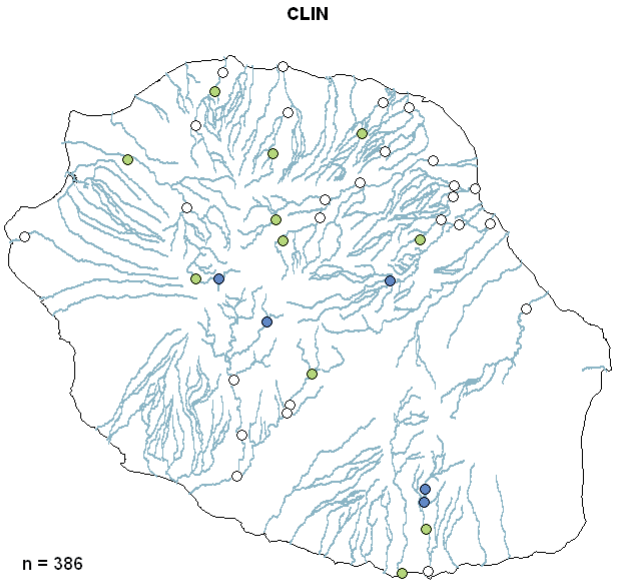
2009



2010



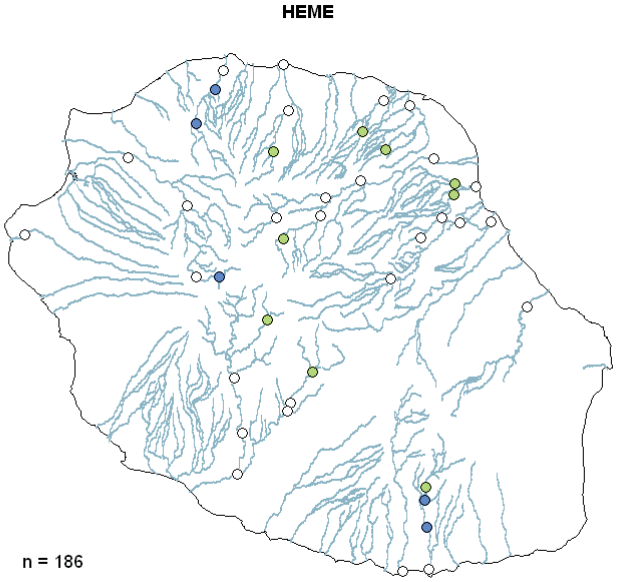
Total



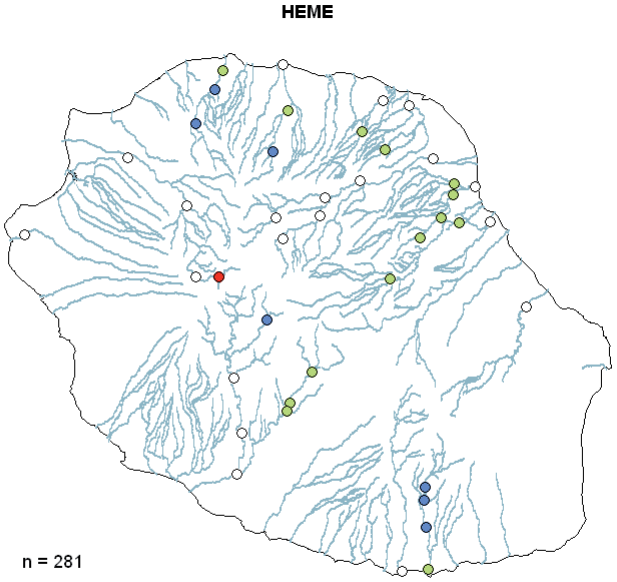
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Hemerodromiinae

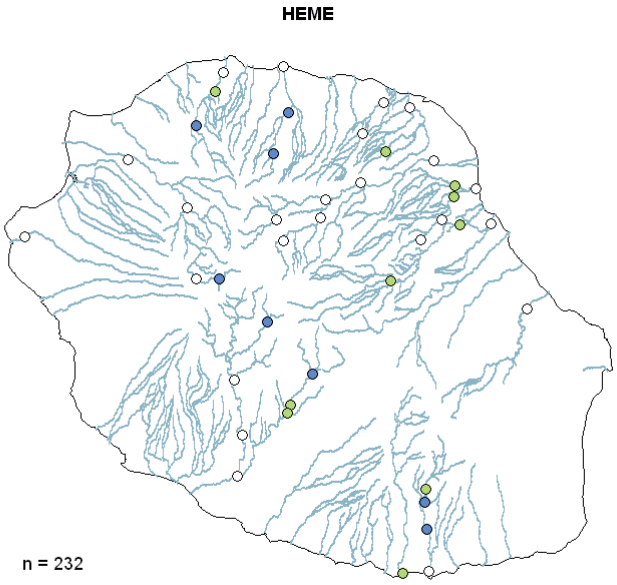
2008



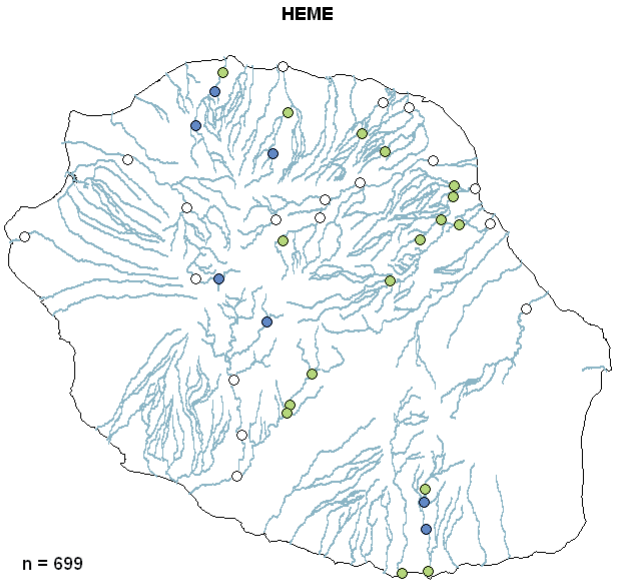
2009



2010



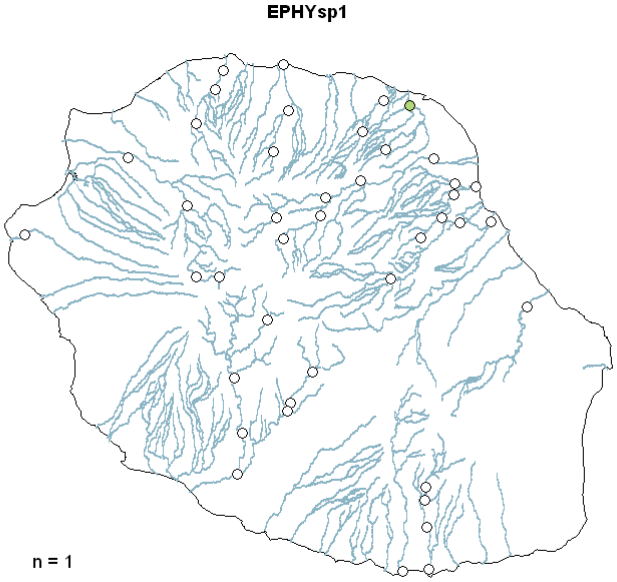
Total



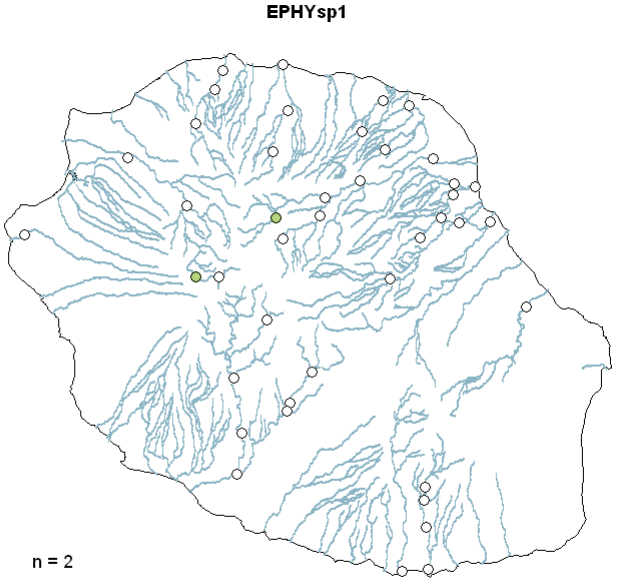
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Ephydridae sp. 1

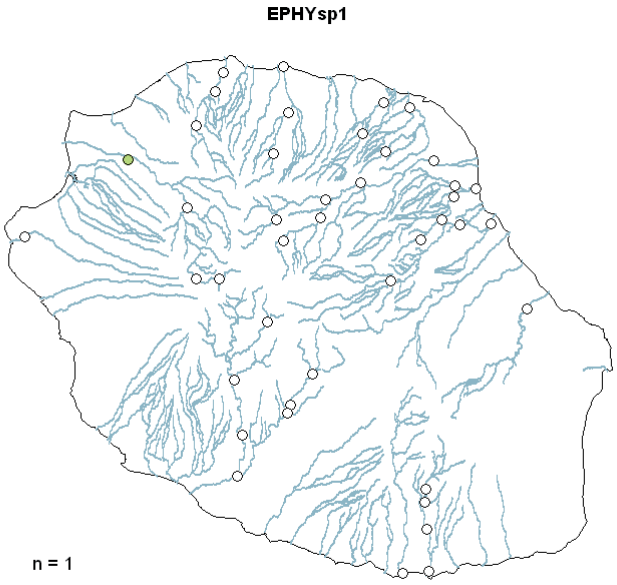
2008



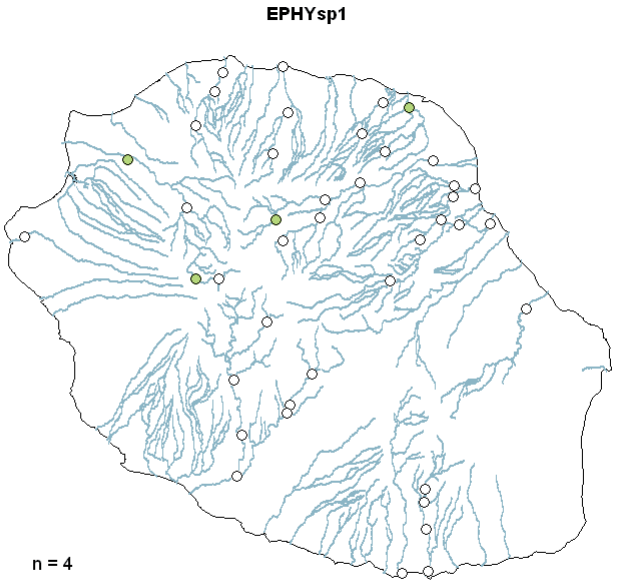
2009



2010



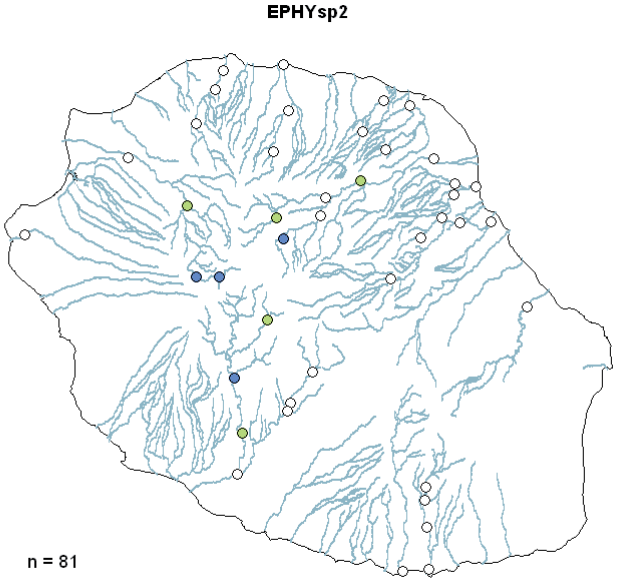
Total



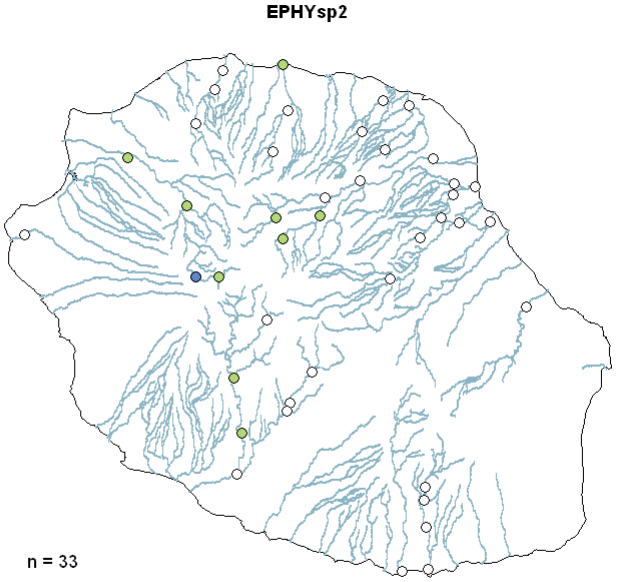
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Ephydridae sp. 2

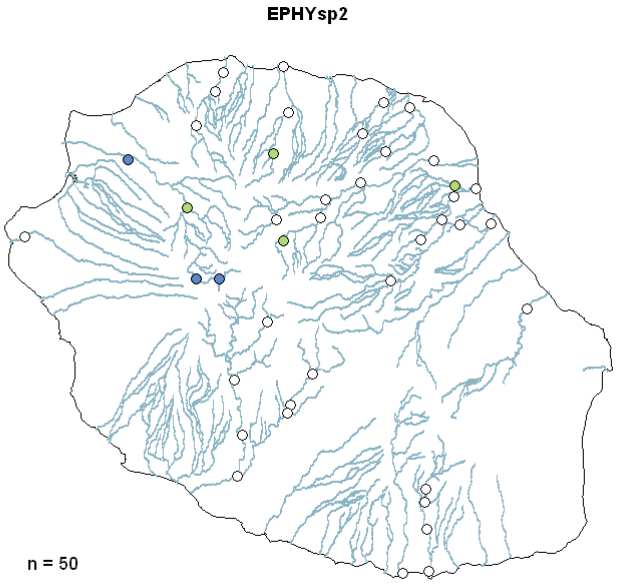
2008



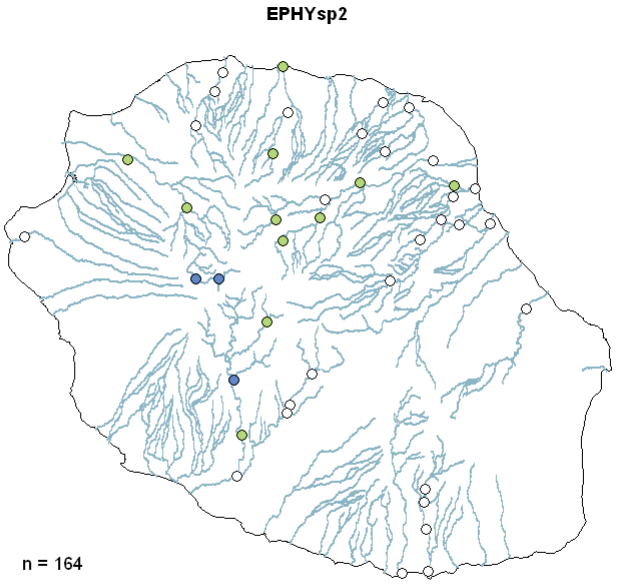
2009



2010



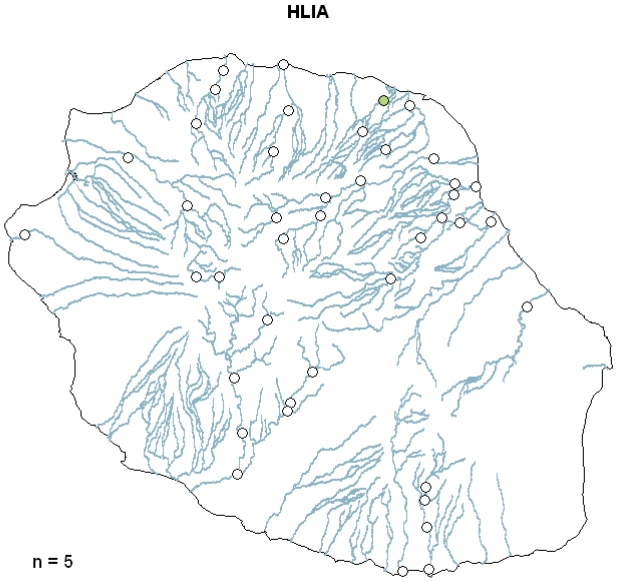
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Hydrellia spp.

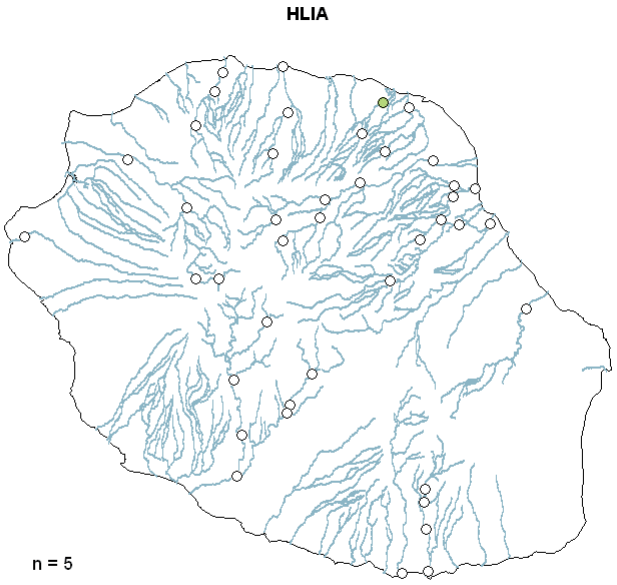
2008



2009

2010

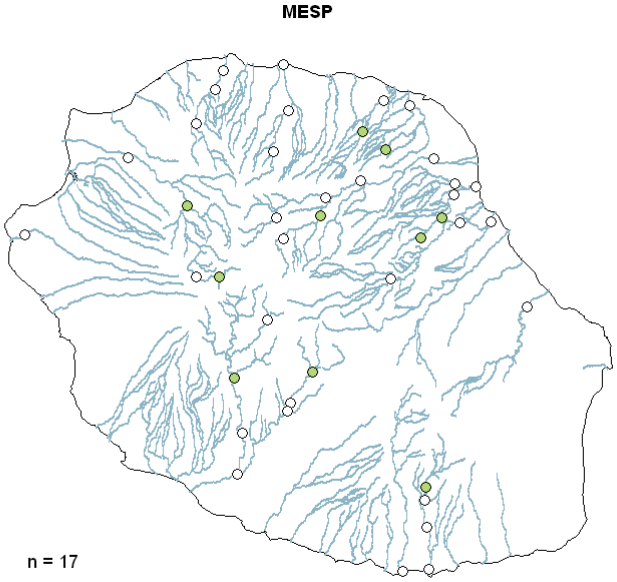
Total



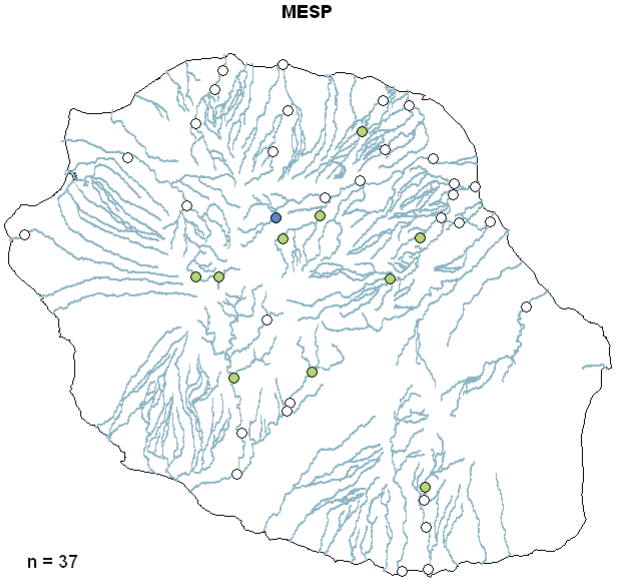
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Metalimnobia sp.

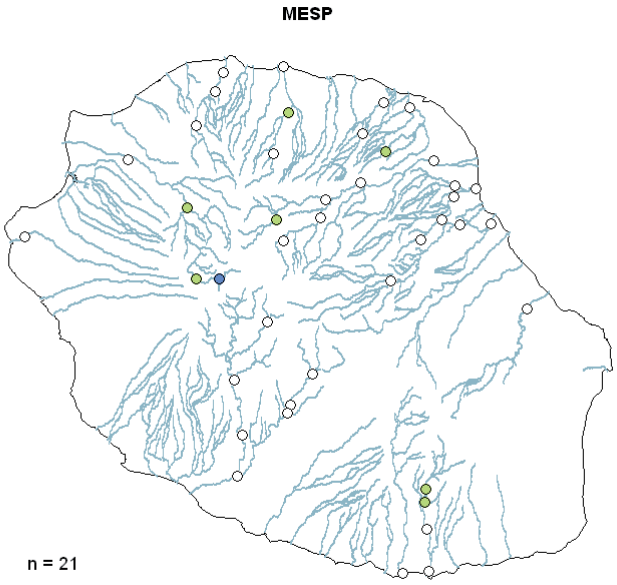
2008



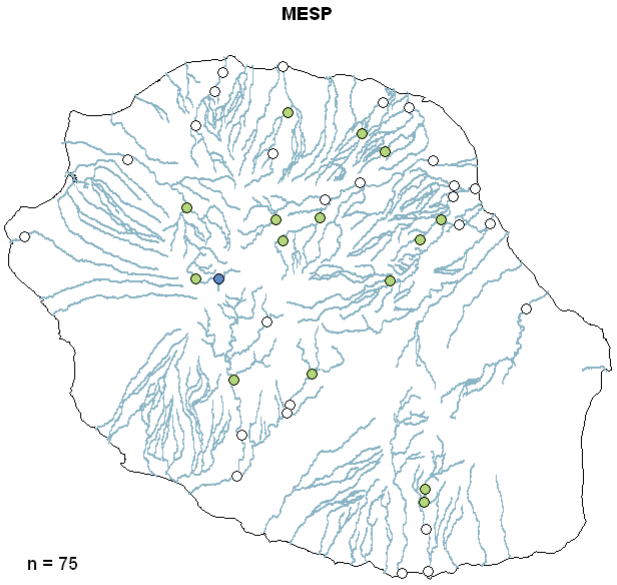
2009



2010



Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Limoniini

2008

2009

2010

Total

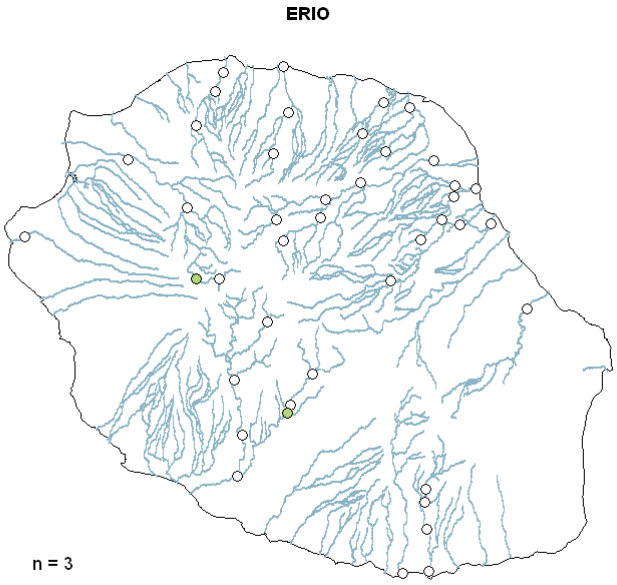
0]0-10[[10-100[[100-500[≥ 500

Eriopterini

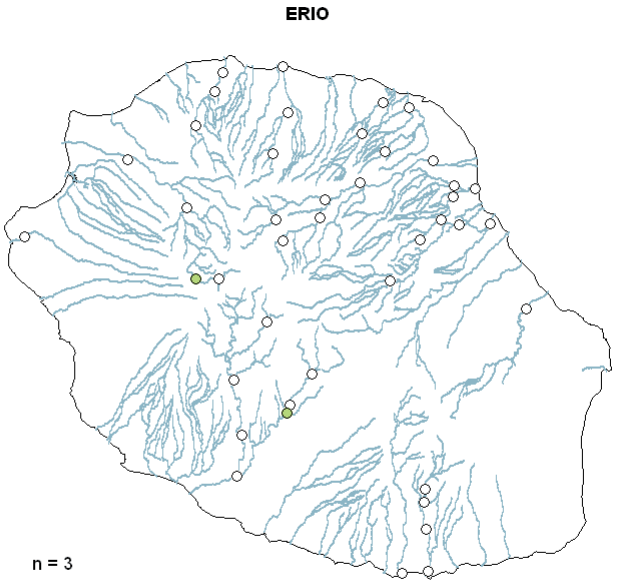
2008

2009

2010



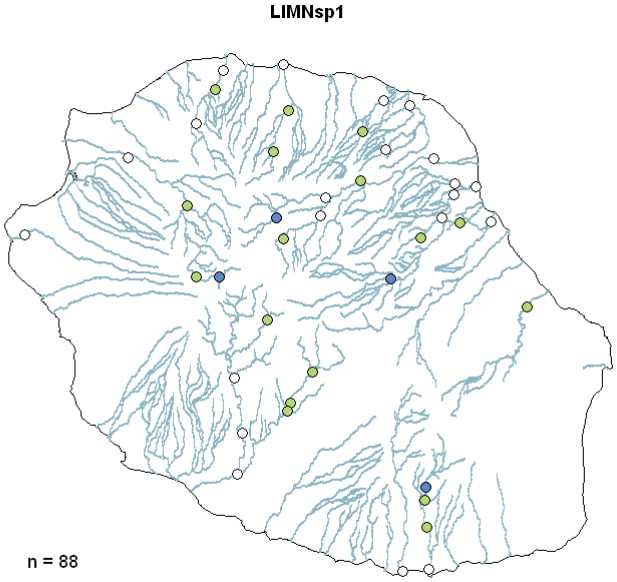
Total



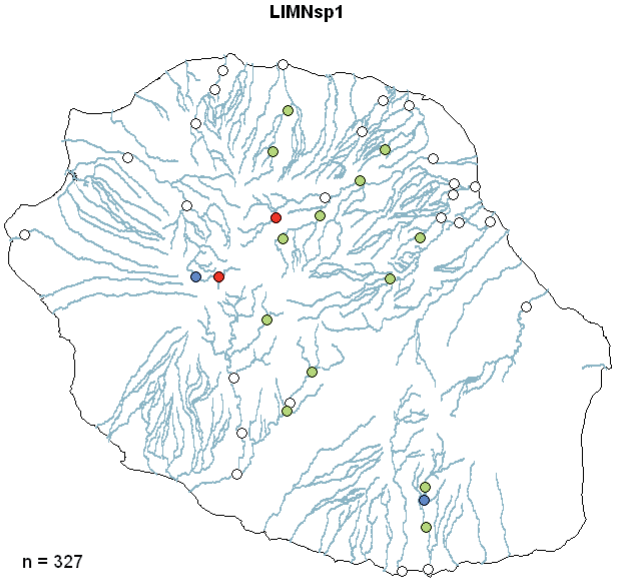
0]0-10[[10-100[[100-500[≥ 500

Limnophora sp. 1

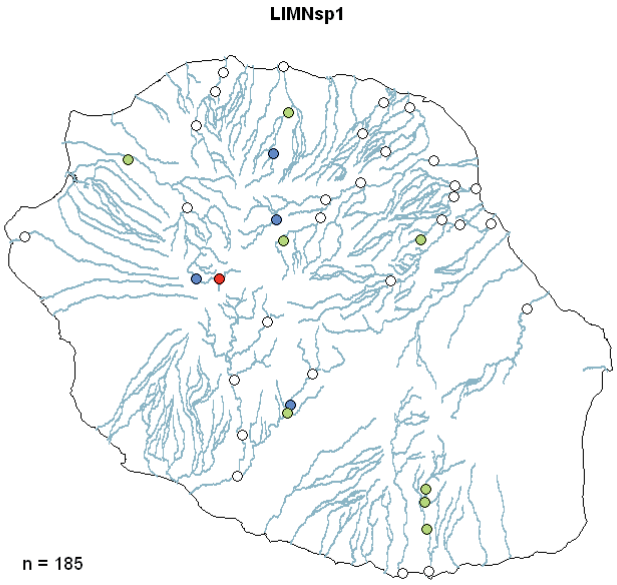
2008



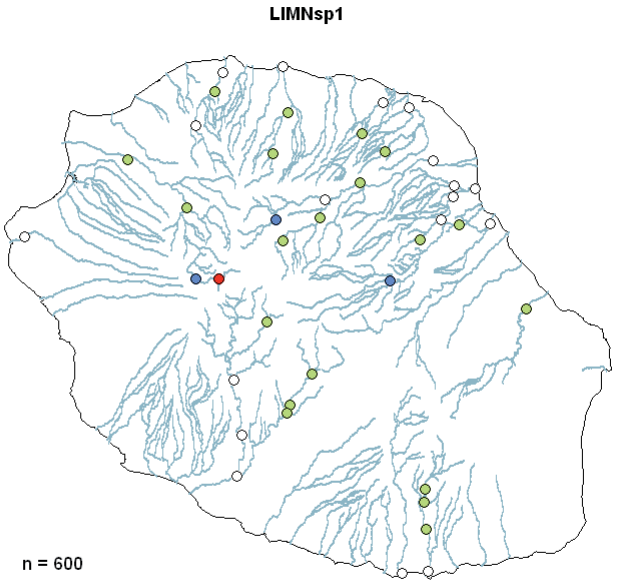
2009



2010



Total

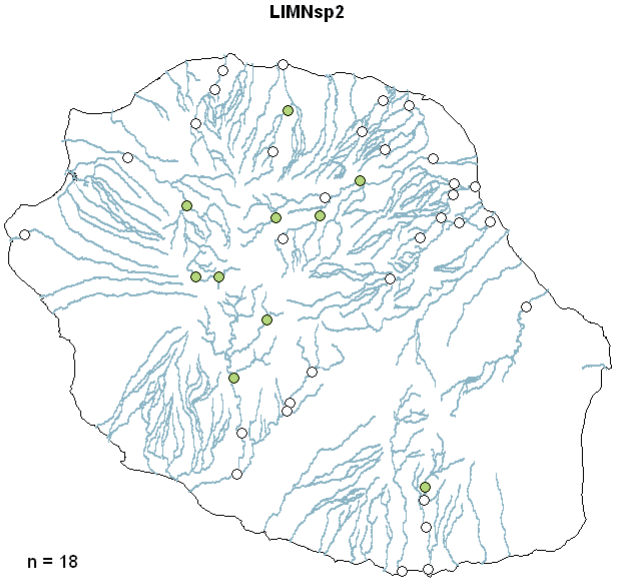


○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

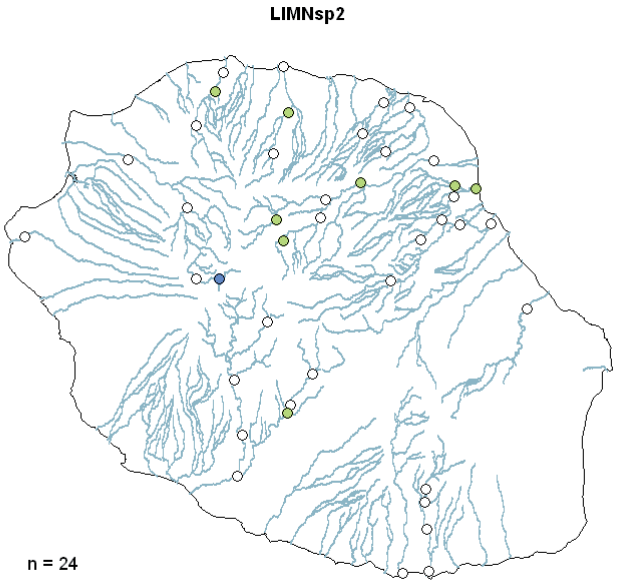
Limnophora sp. 2

2008

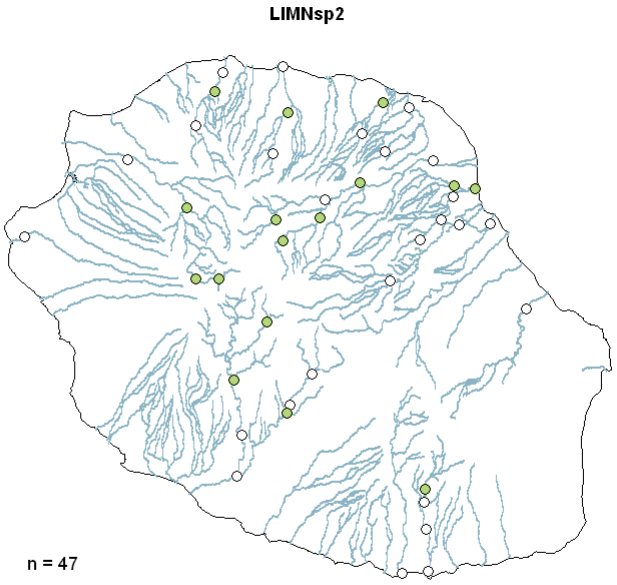
2009



2010



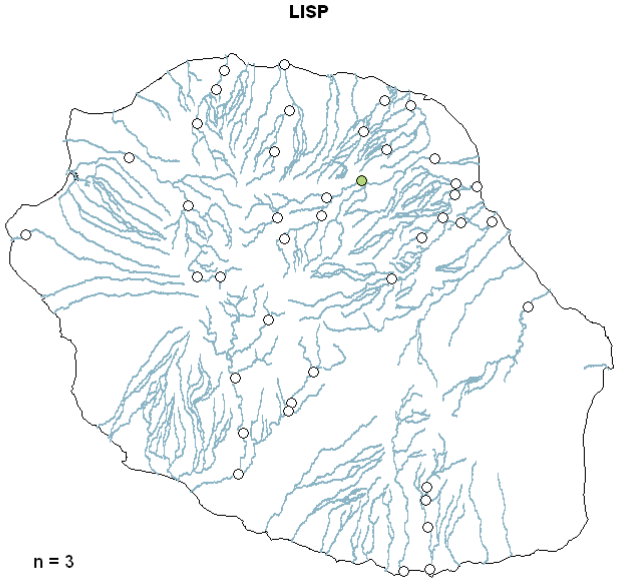
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

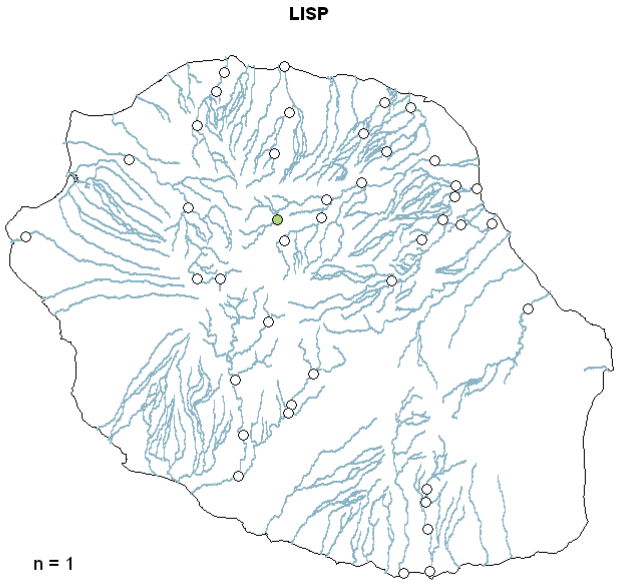
Lispe sp.

2008

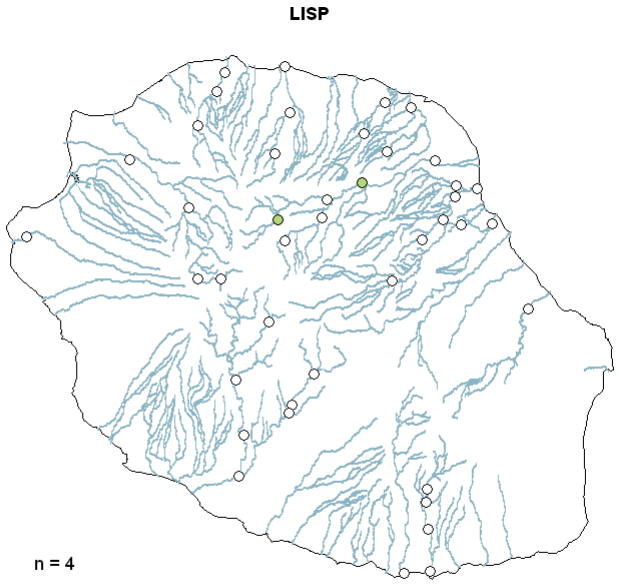


2009

2010



Total

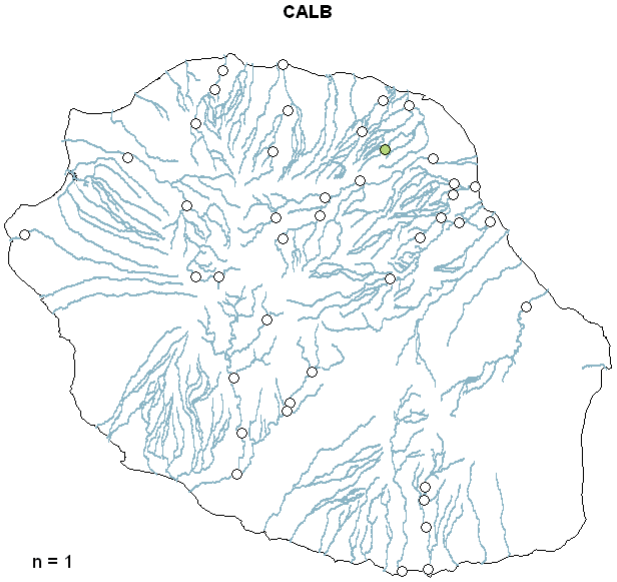


○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Clogmia albipunctata

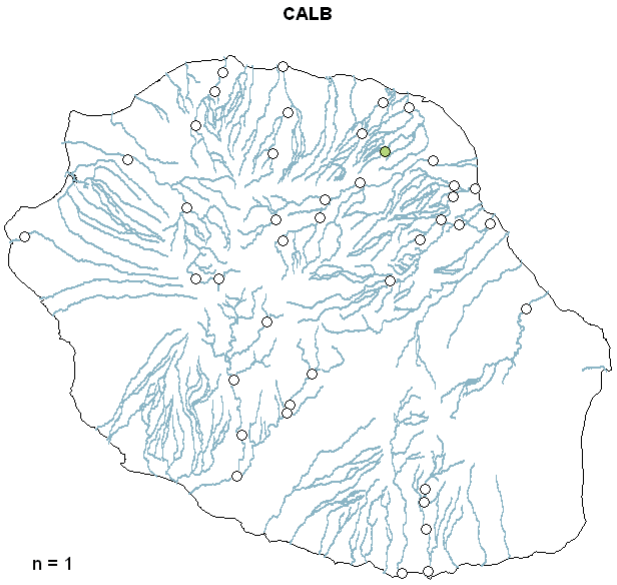
2008

2009



2010

Total



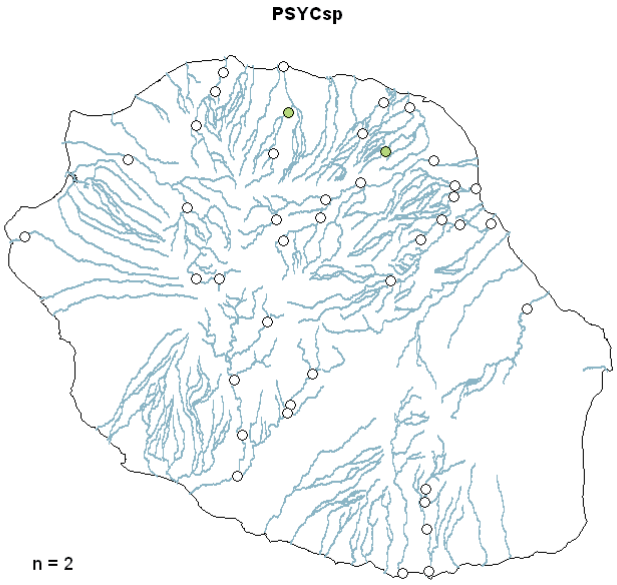
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Psychoda spp.

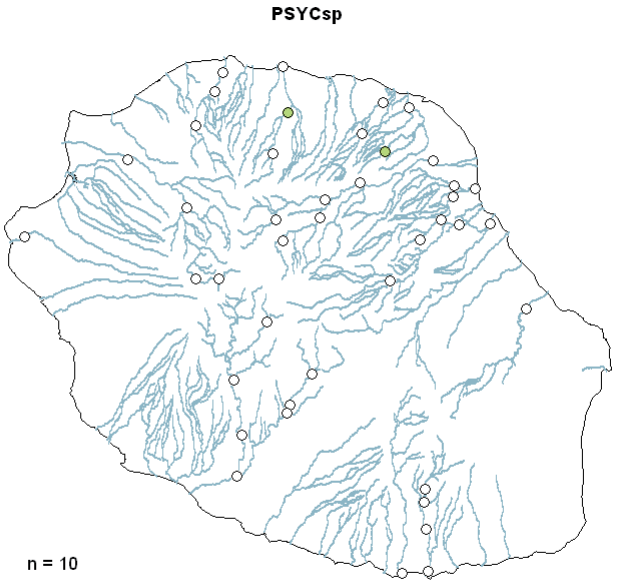
2008

2009

2010



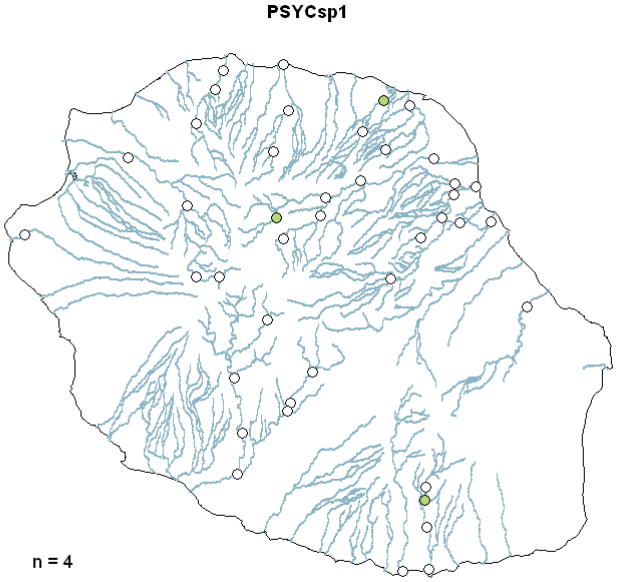
Total



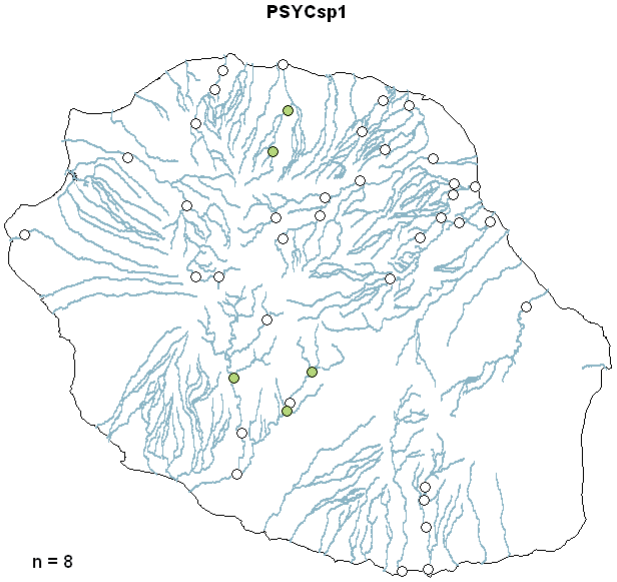
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Psychodidae sp. 1

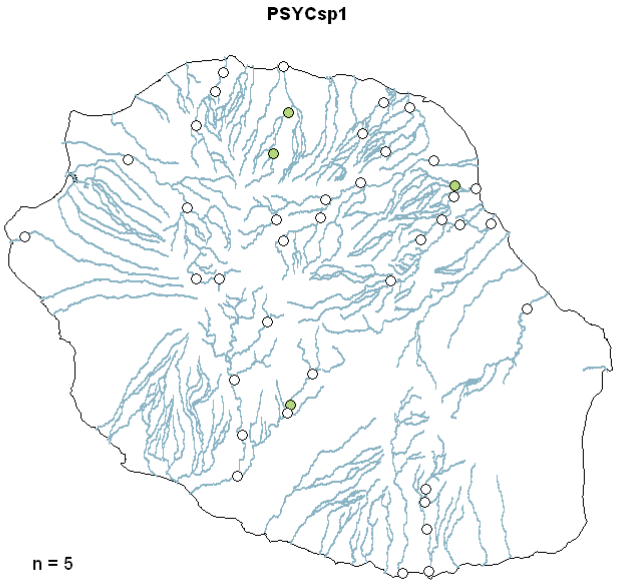
2008



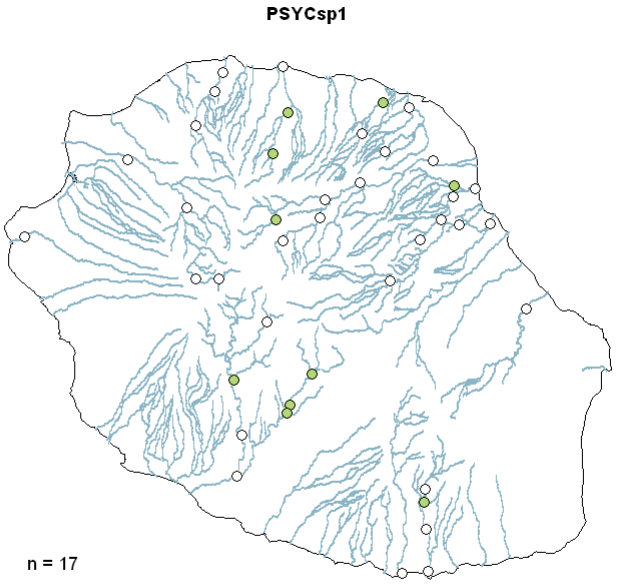
2009



2010



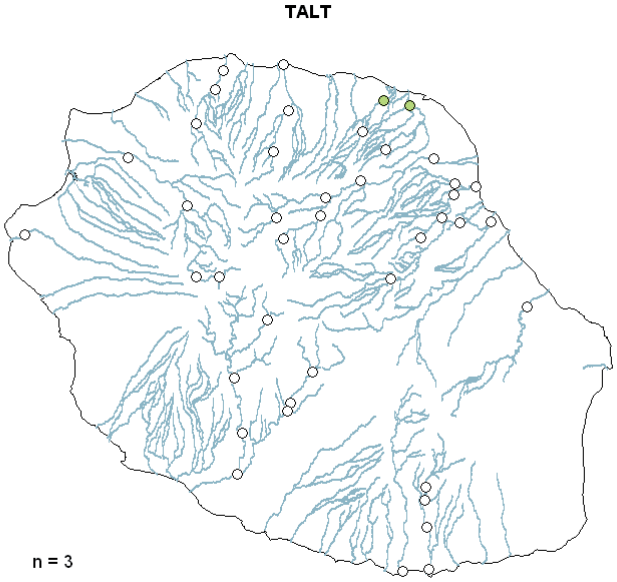
Total



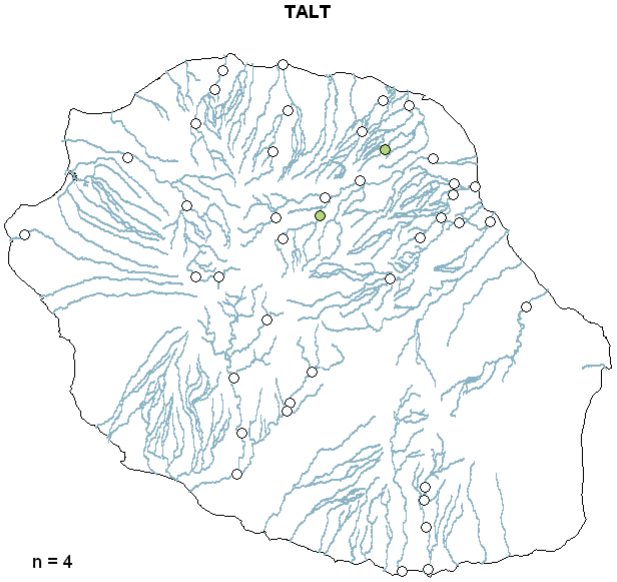
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Tinearia alternata

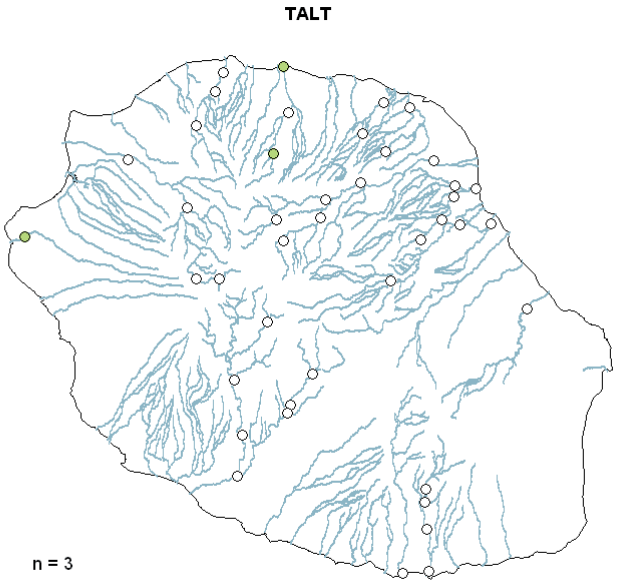
2008



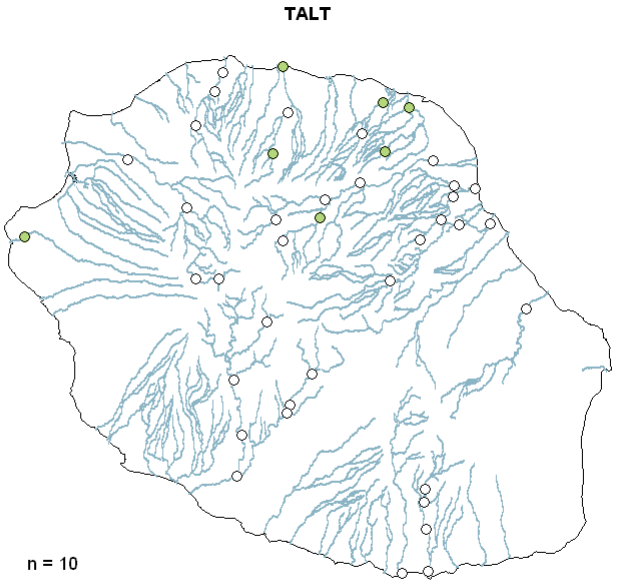
2009



2010



Total

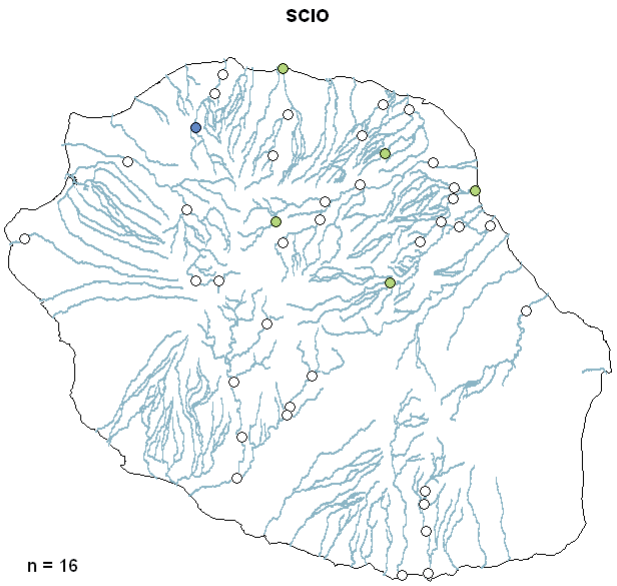


○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

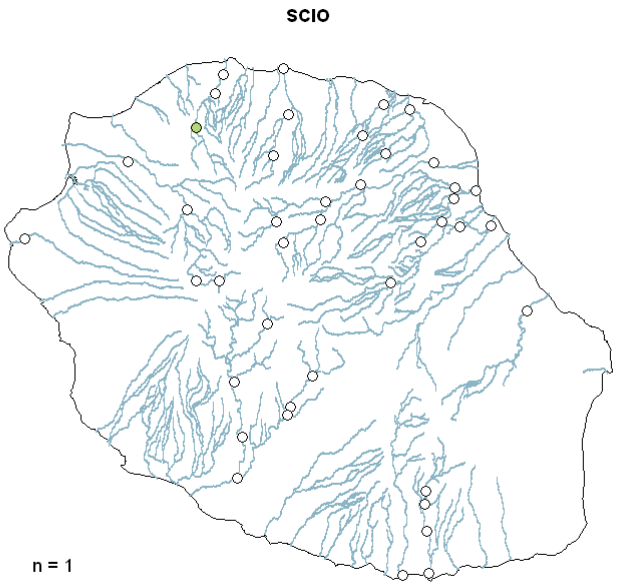
Sciomyzidae

2008

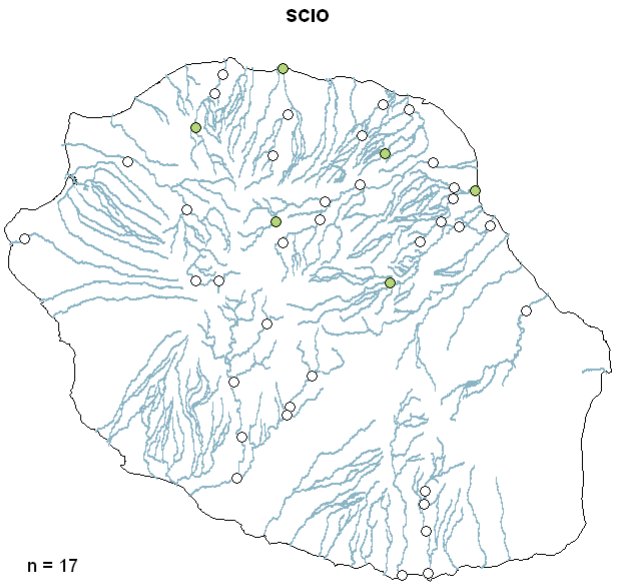
2009



2010



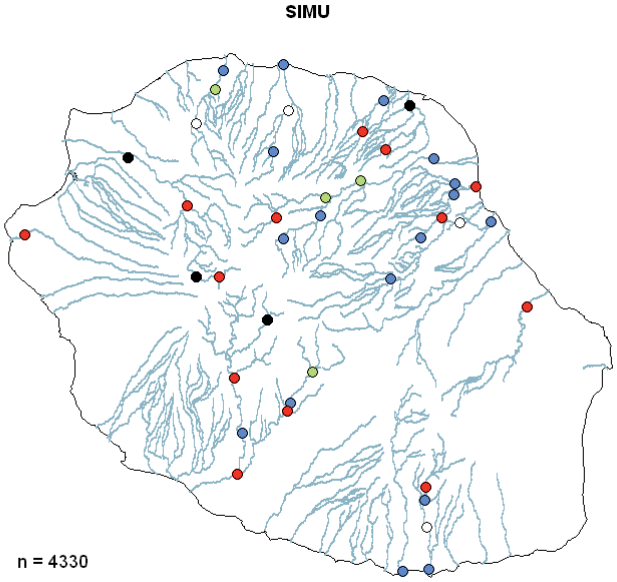
Total



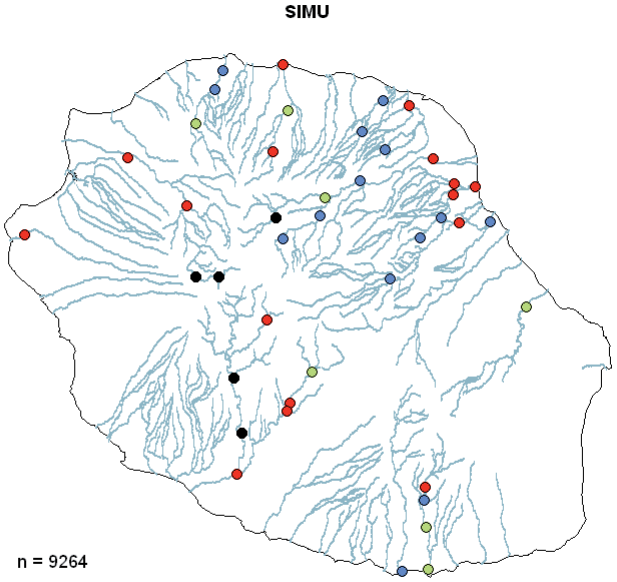
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Simuliidae

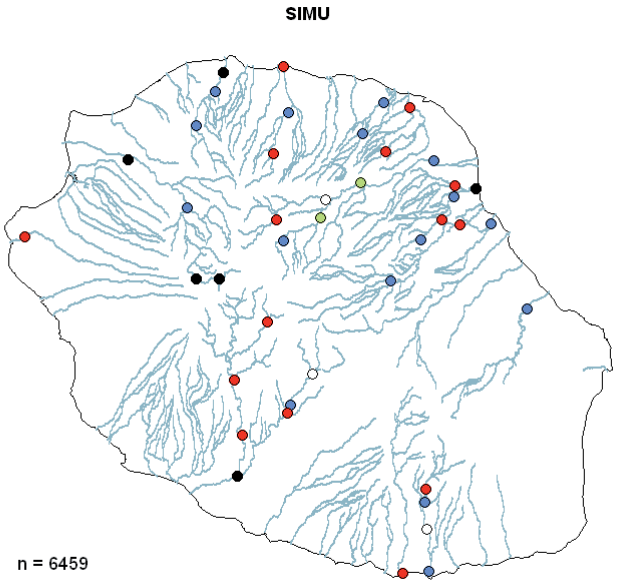
2008



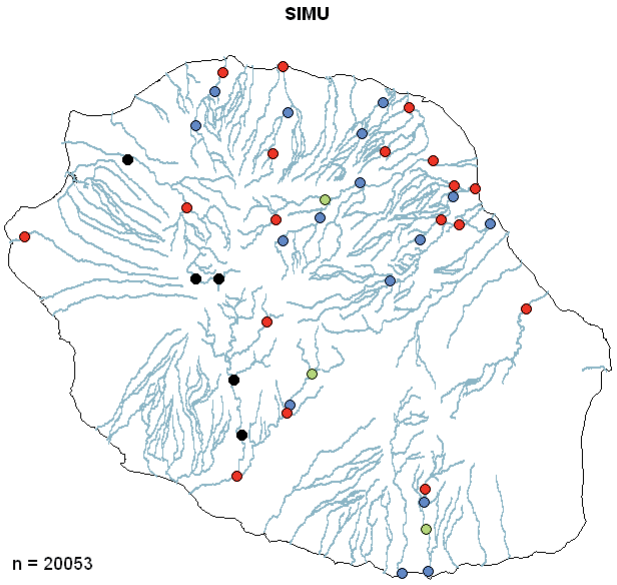
2009



2010



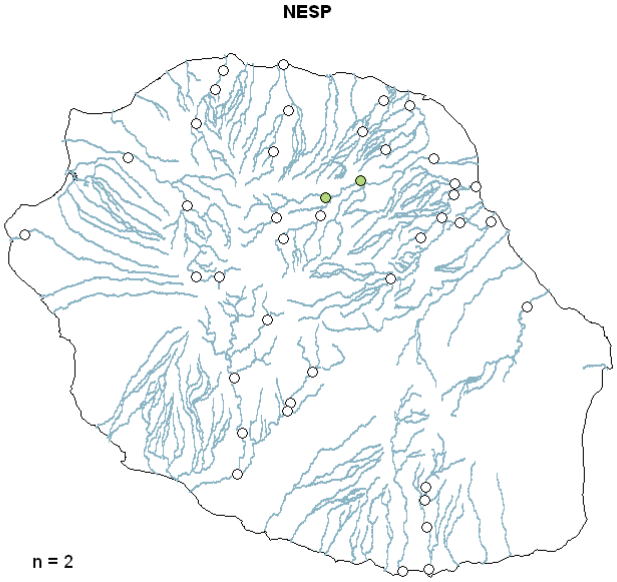
Total



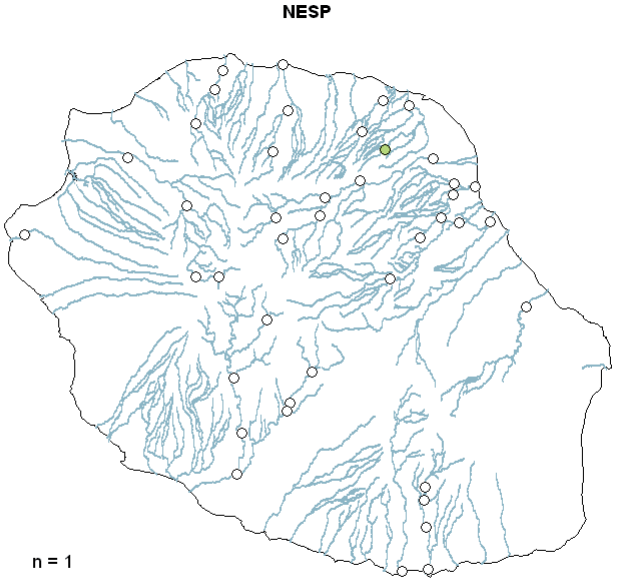
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Nephrotoma spp.

2008

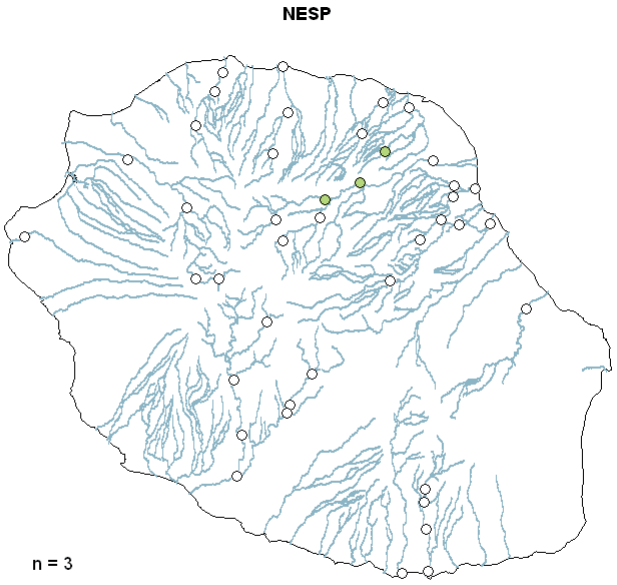


2009



2010

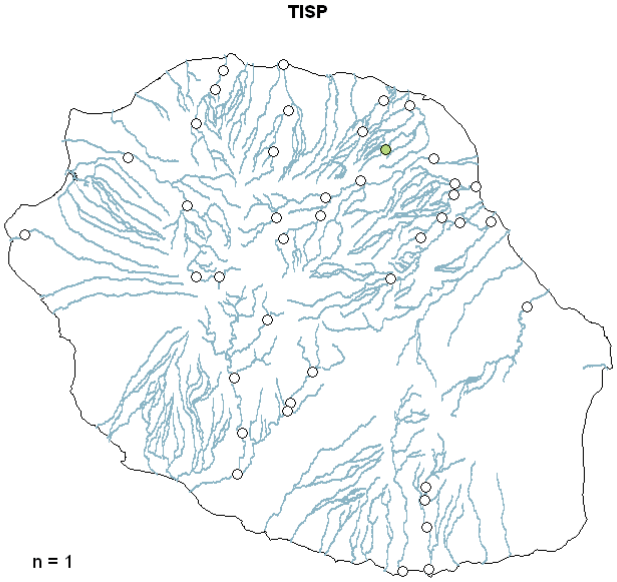
Total



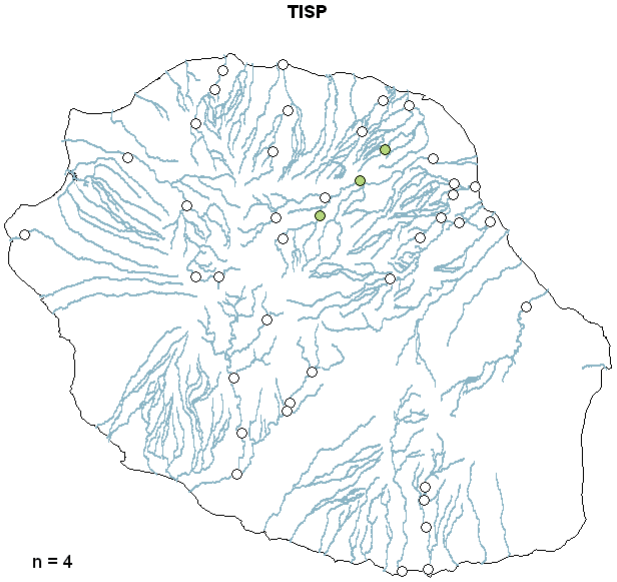
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Tipula spp.

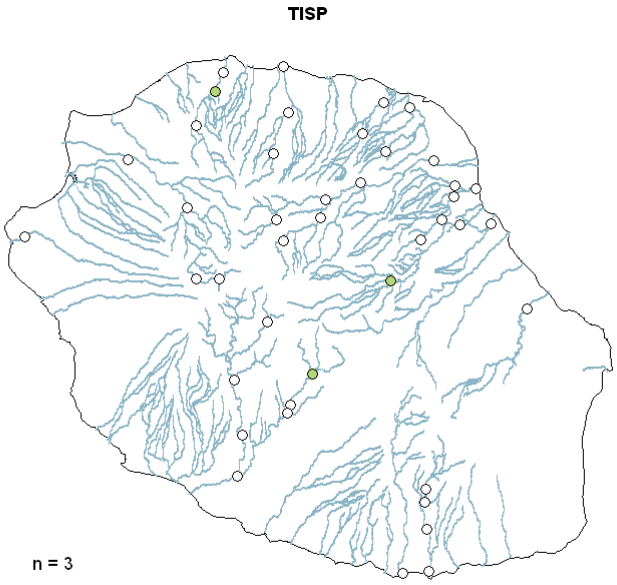
2008



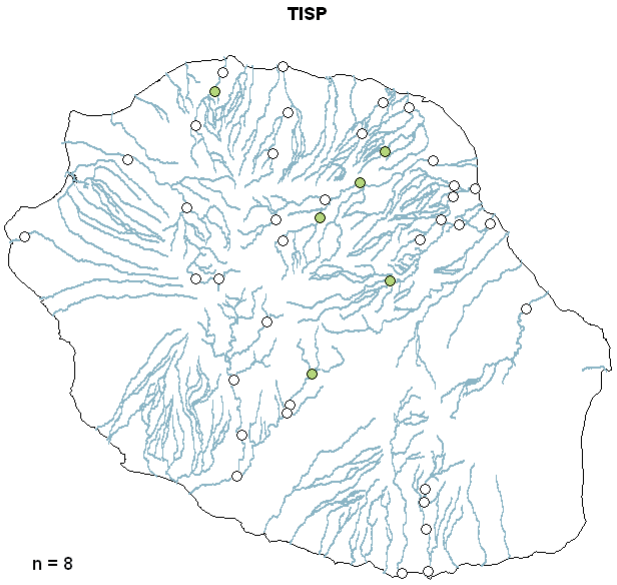
2009



2010



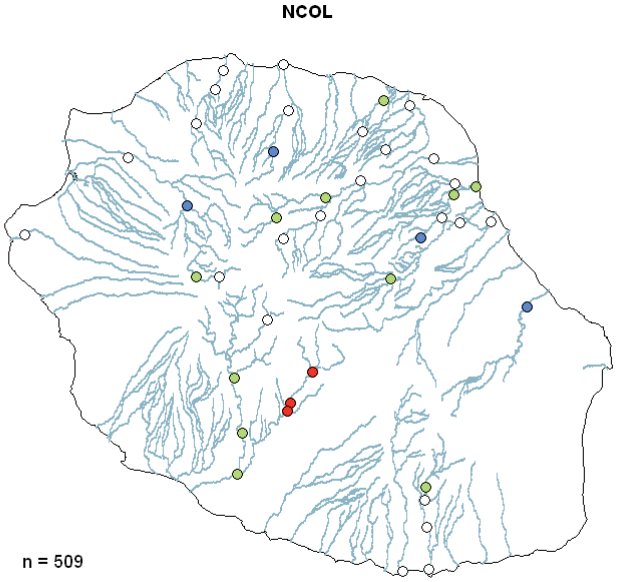
Total



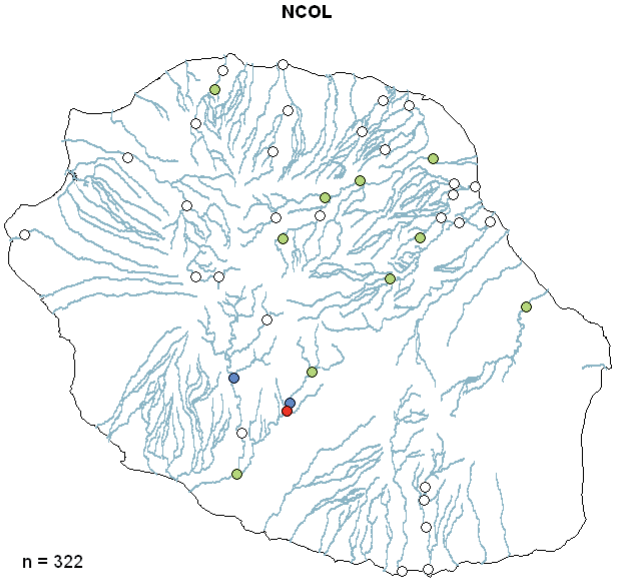
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Nigrobaetis colonus

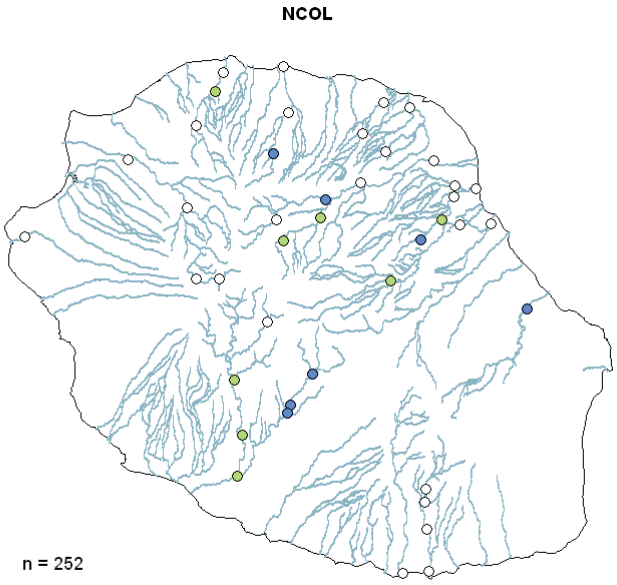
2008



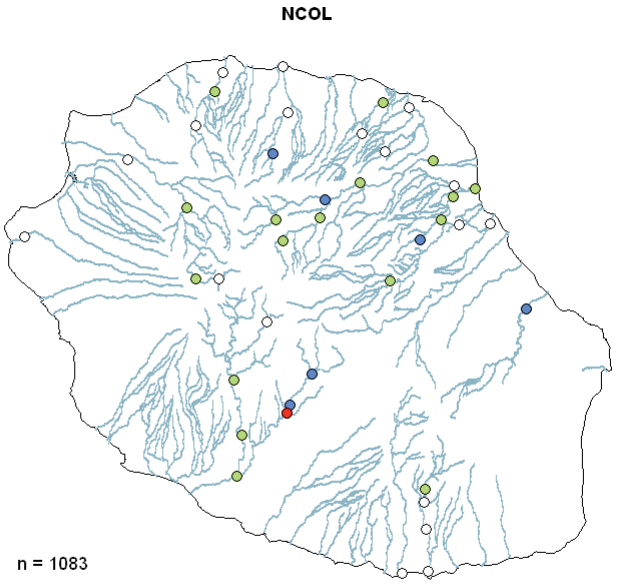
2009



2010



Total

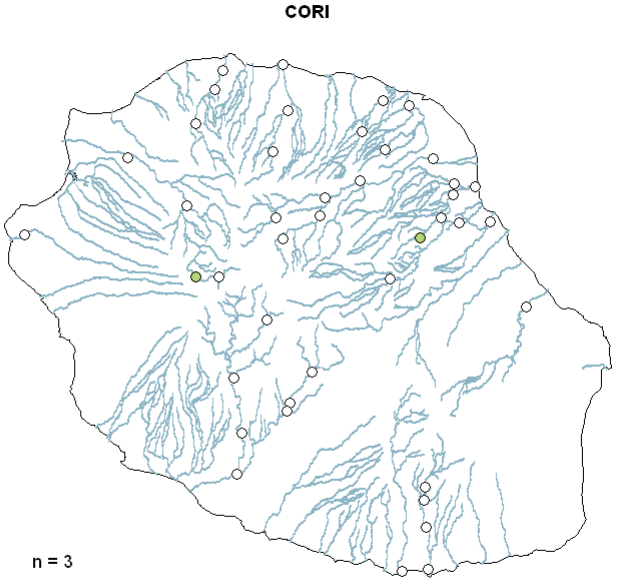


○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Corixidae

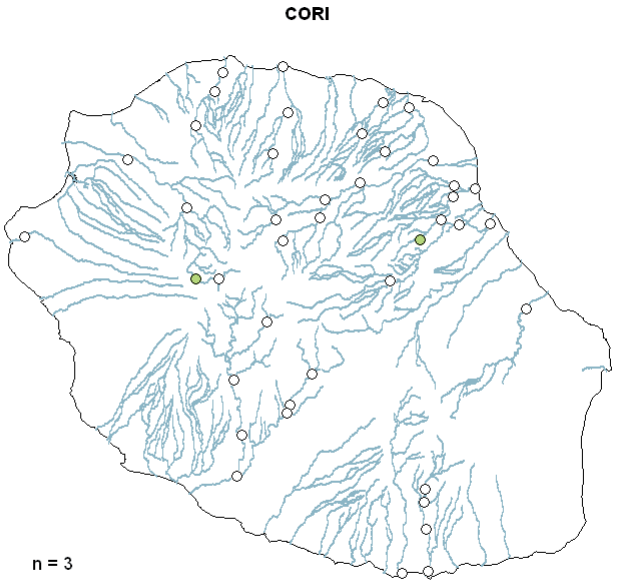
2008

2009



2010

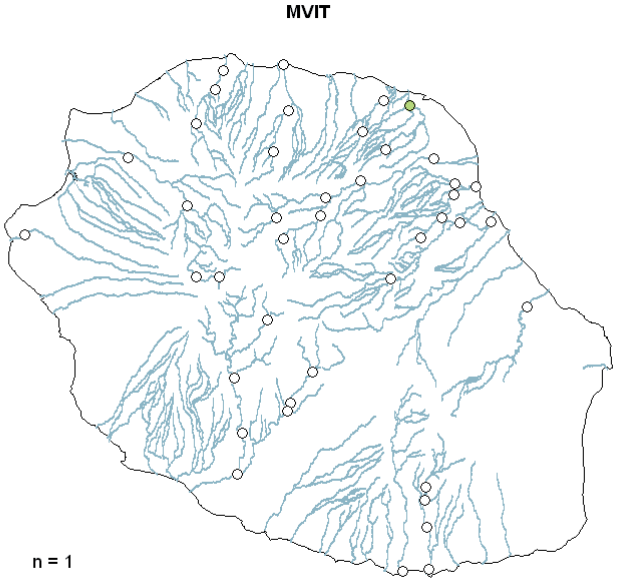
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Mesovelia vittigera

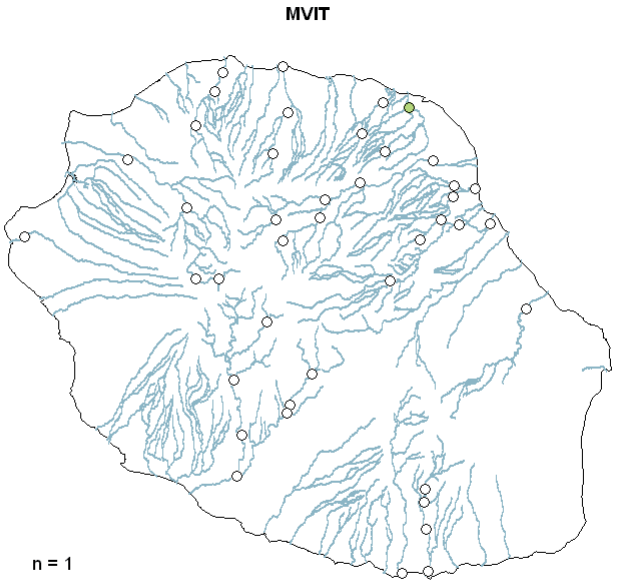
2008



2009

2010

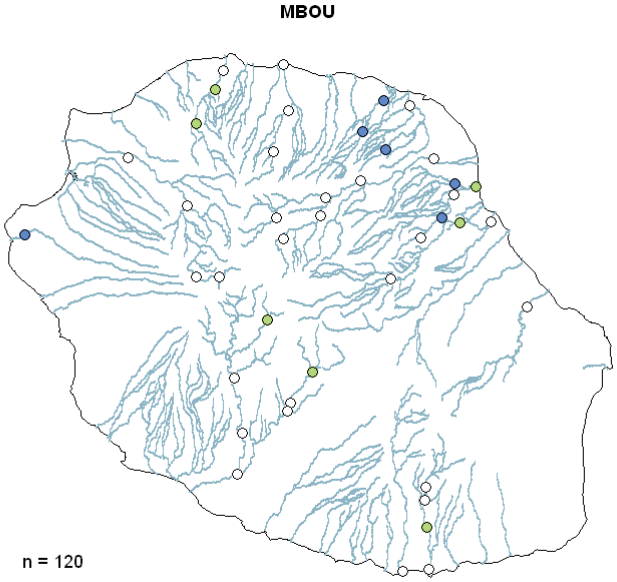
Total



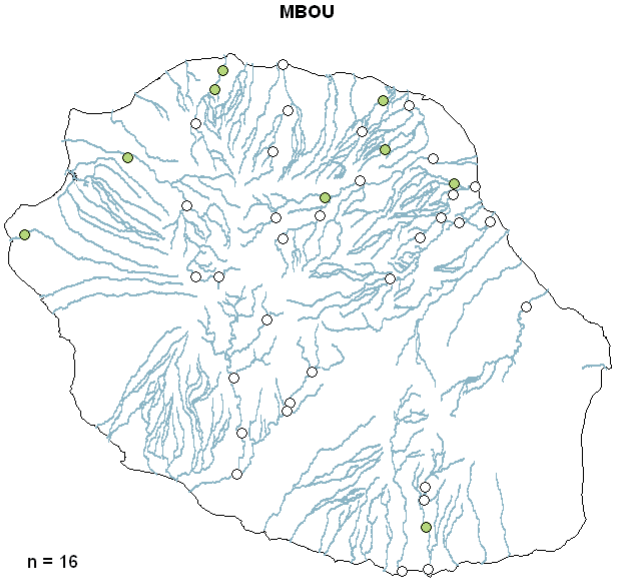
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Microvelia bourbonensis

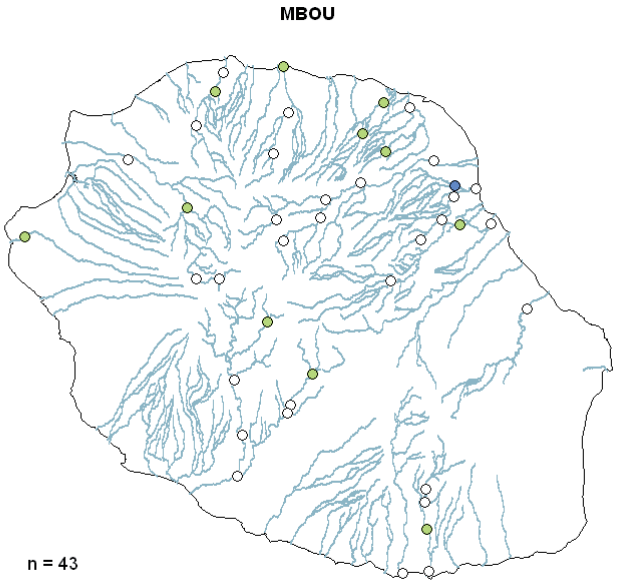
2008



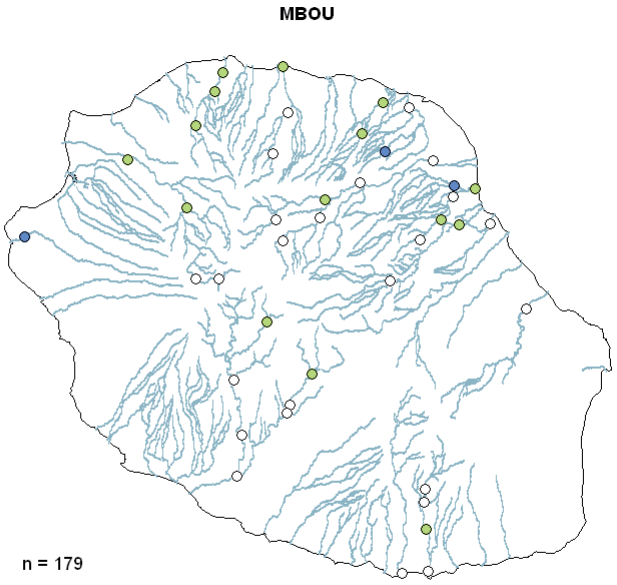
2009



2010



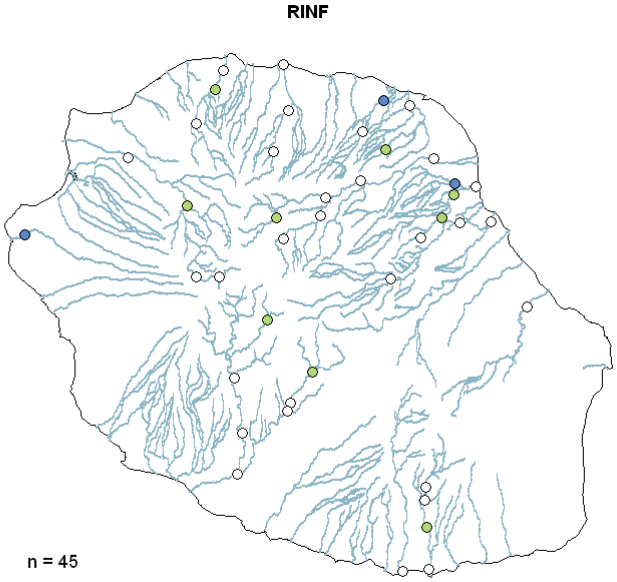
Total



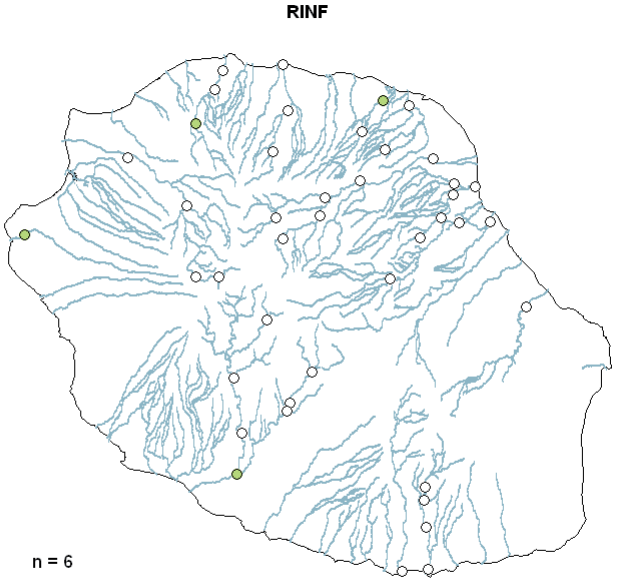
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Rhagovelia infernalis

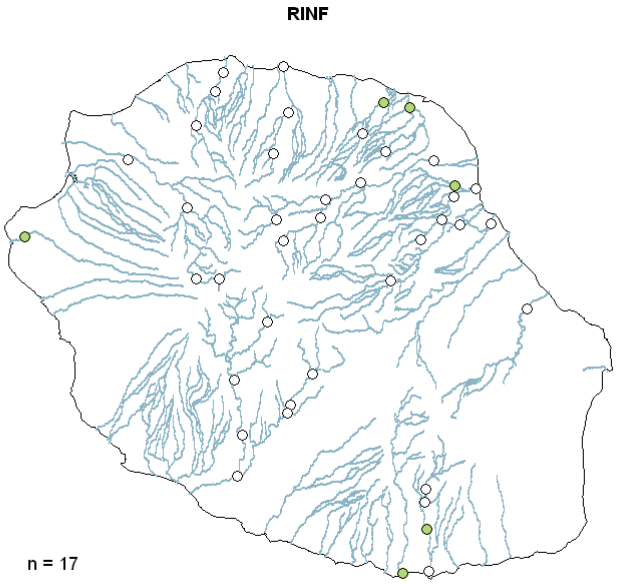
2008



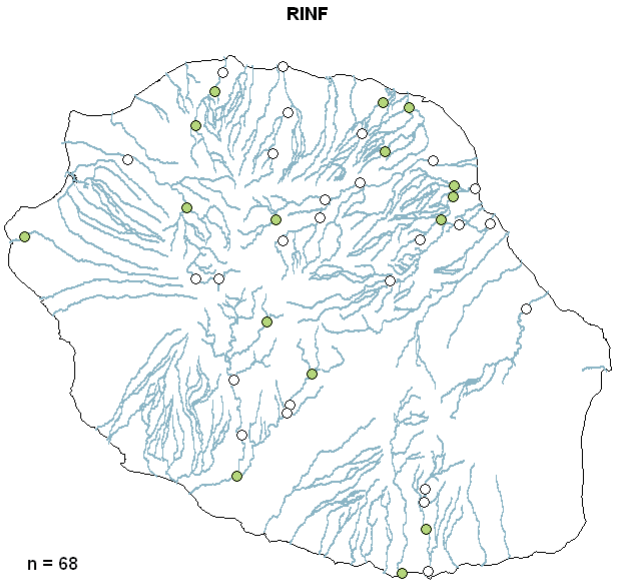
2009



2010



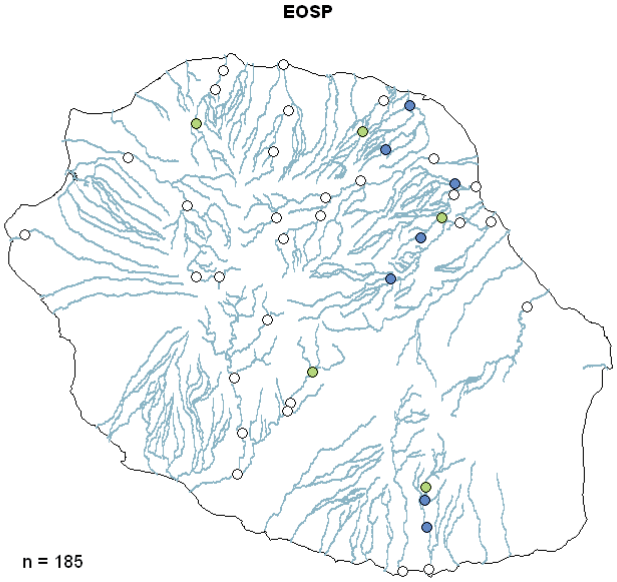
Total



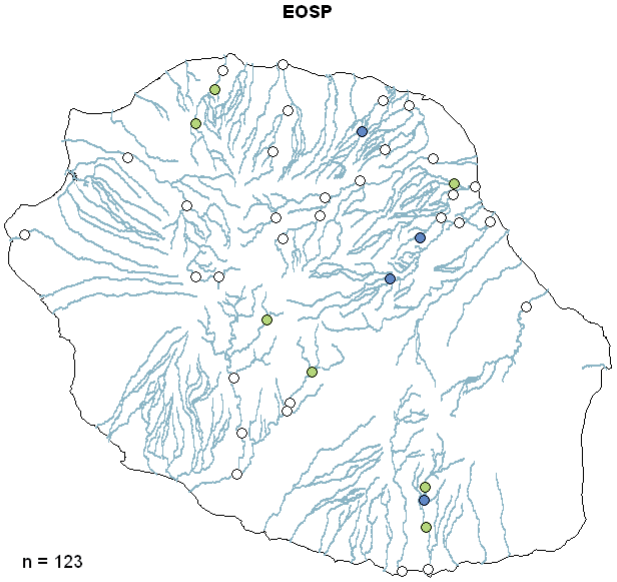
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Eoophila spp.

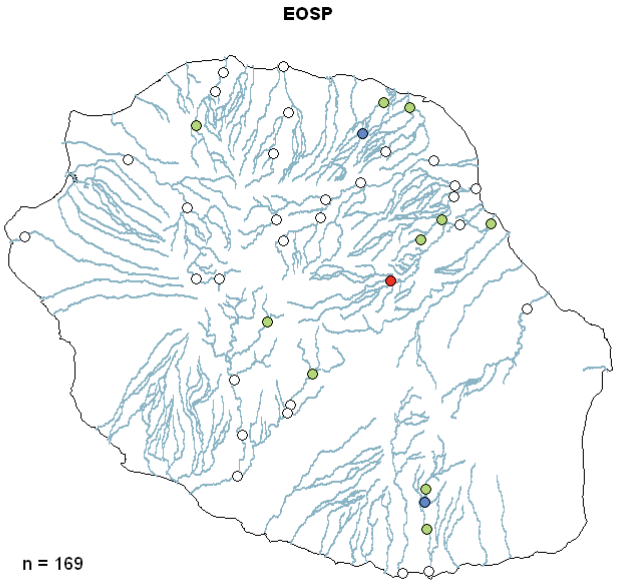
2008



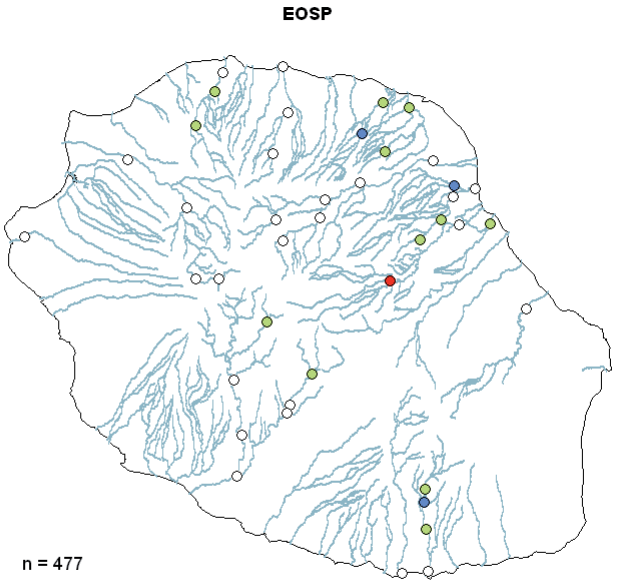
2009



2010



Total

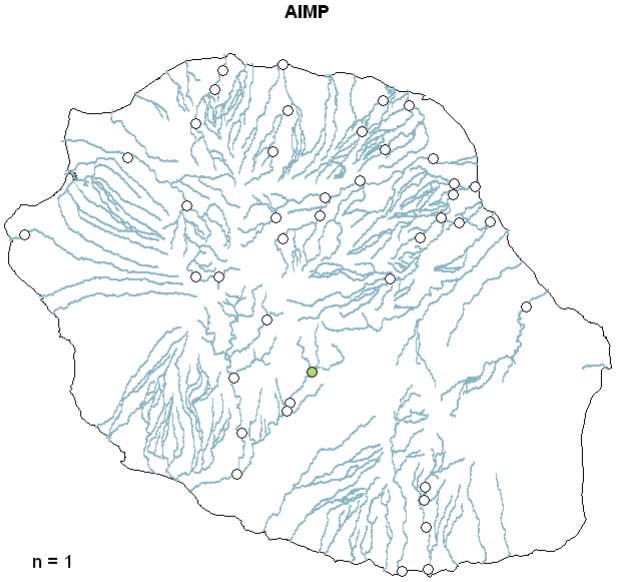


○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

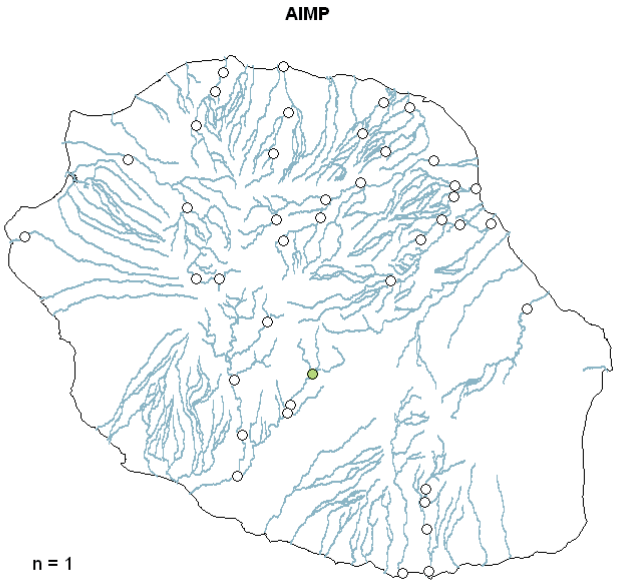
Anax imperator

2008

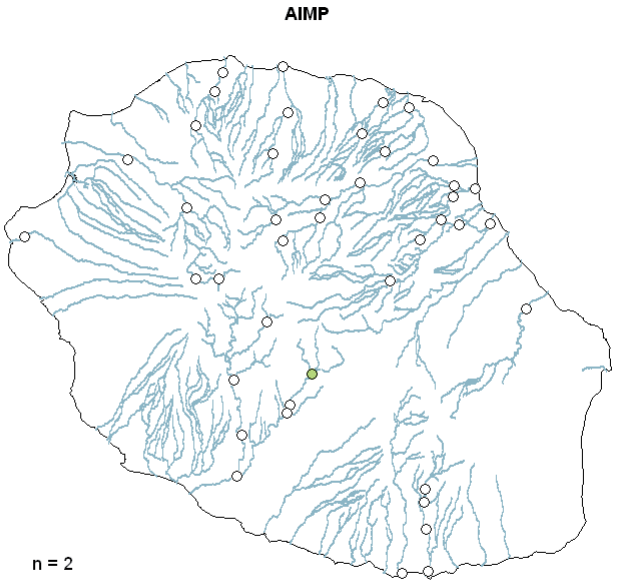
2009



2010



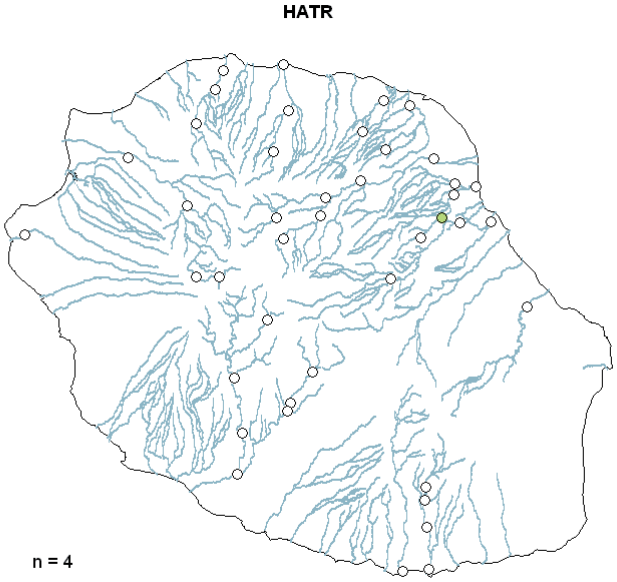
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

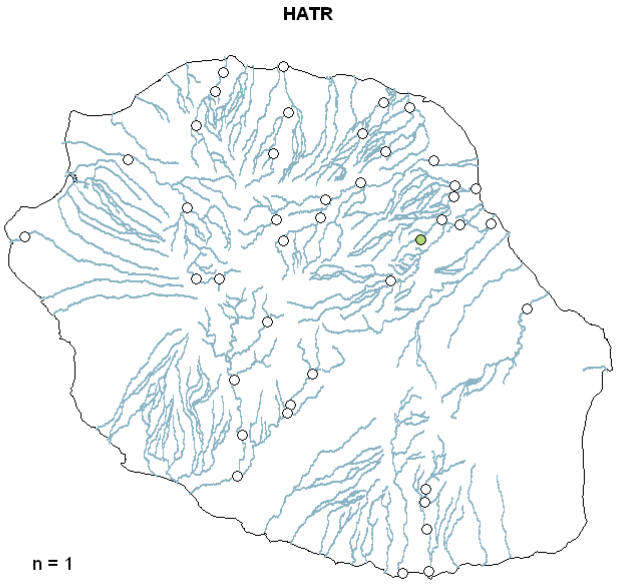
Hemicordulia atrovirens

2008

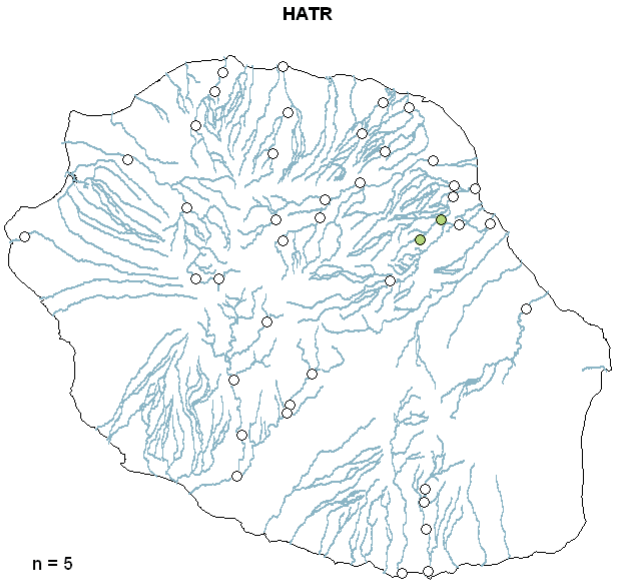


2009

2010



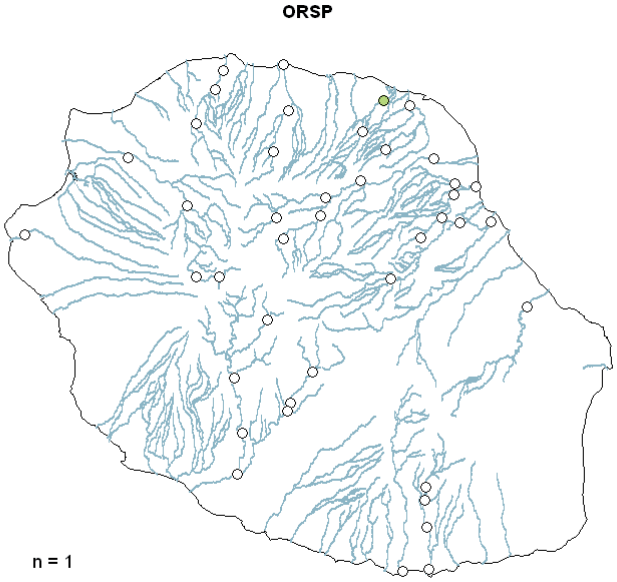
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

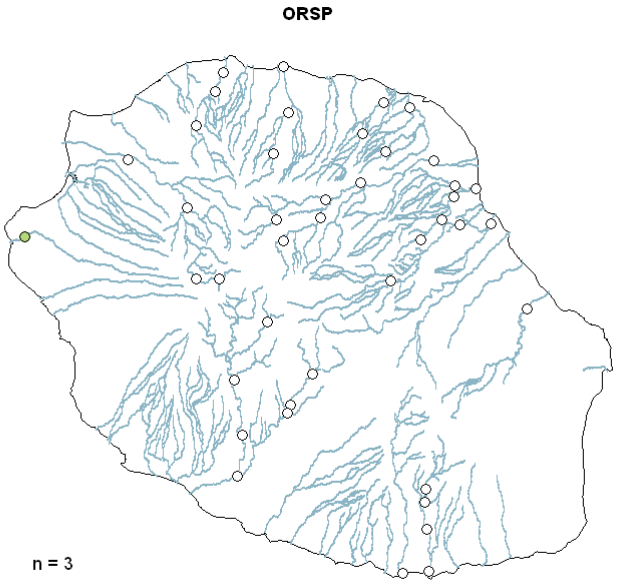
Orthetrum spp.

2008

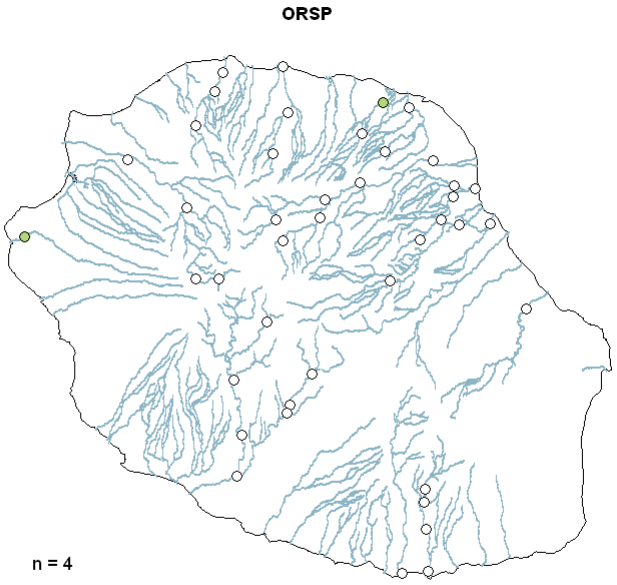


2009

2010



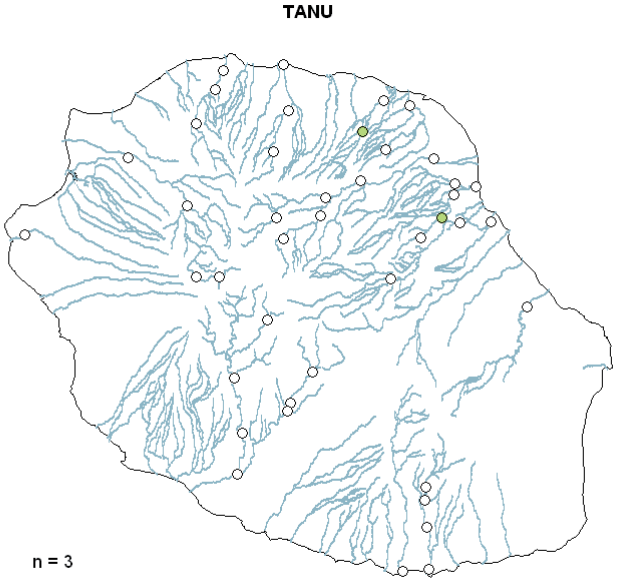
Total



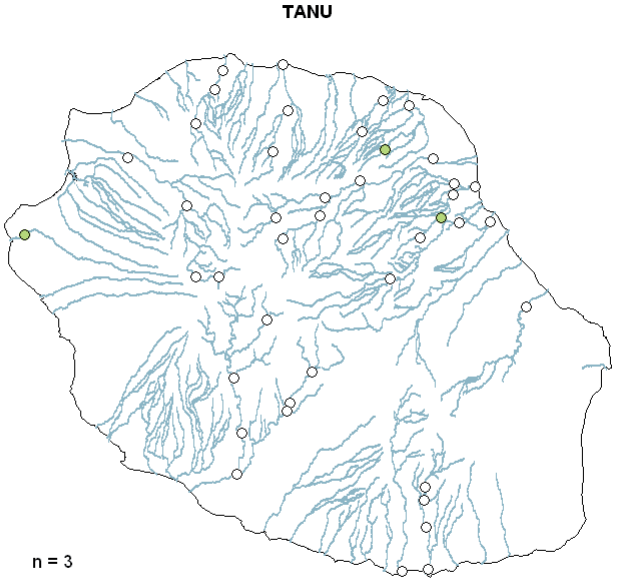
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Trithemis annulata

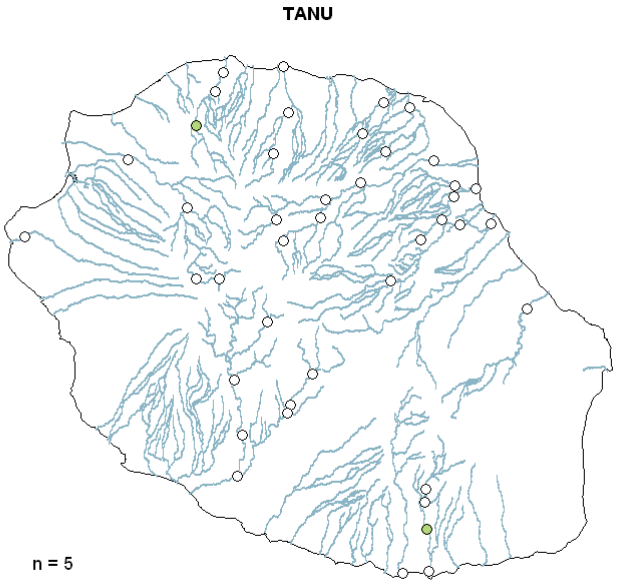
2008



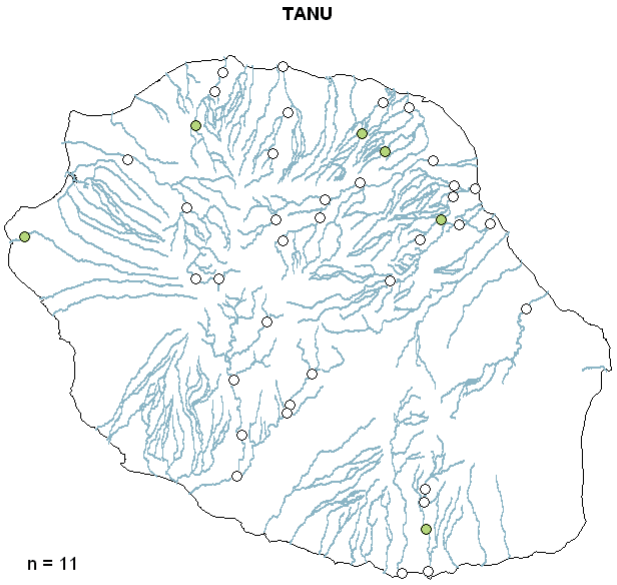
2009



2010



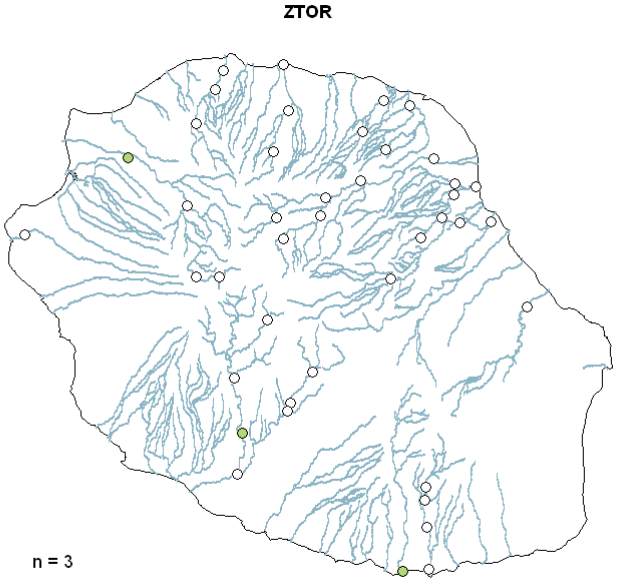
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

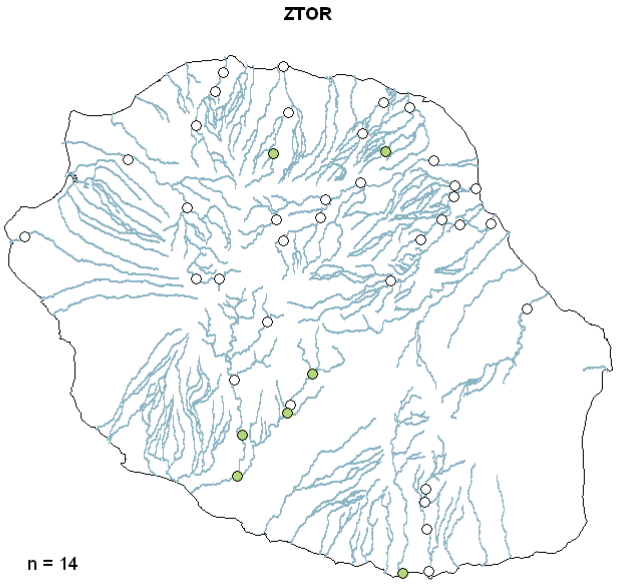
Zygonix torridus

2008

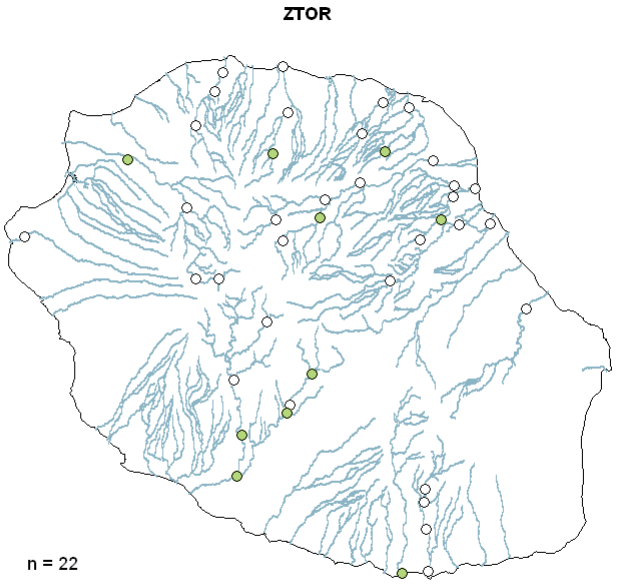


2009

2010



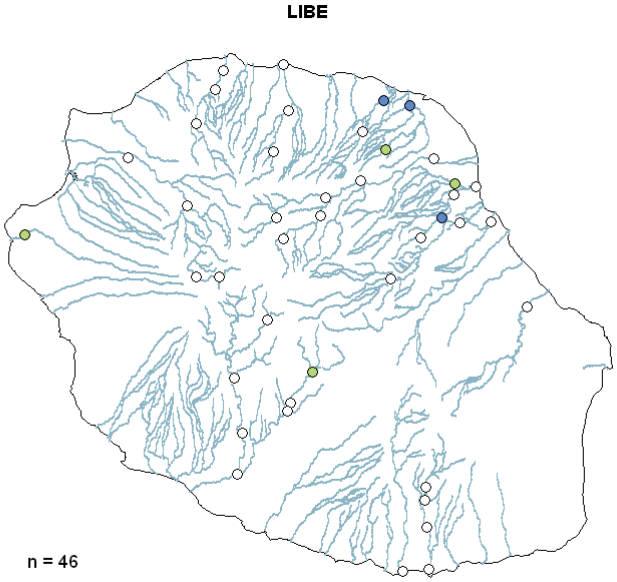
Total



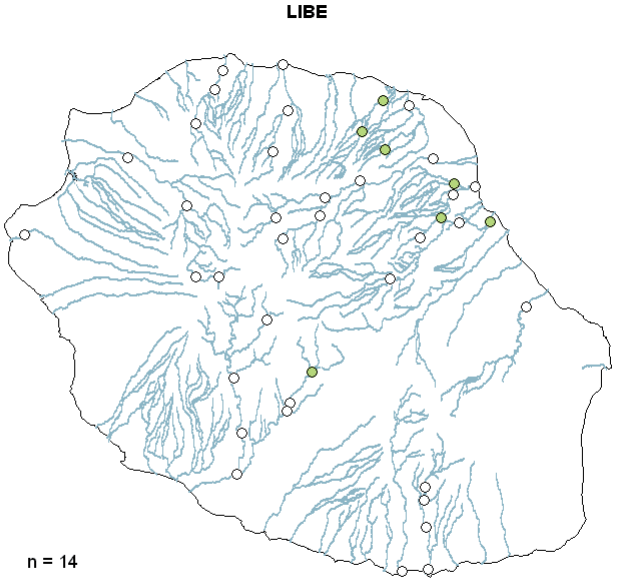
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Libellulidae

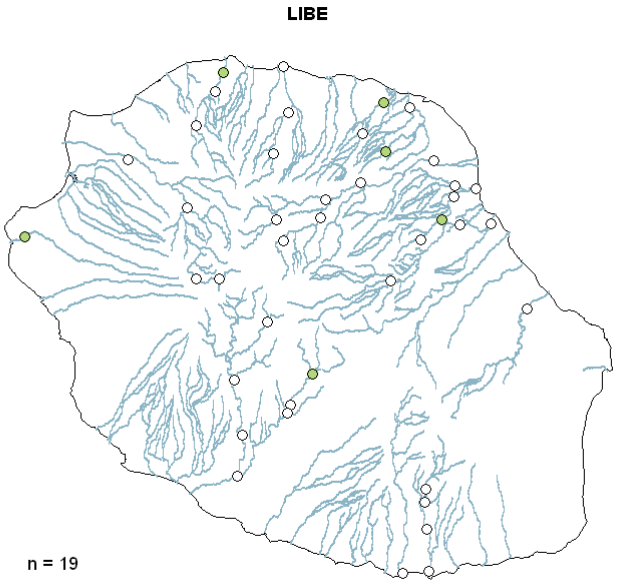
2008



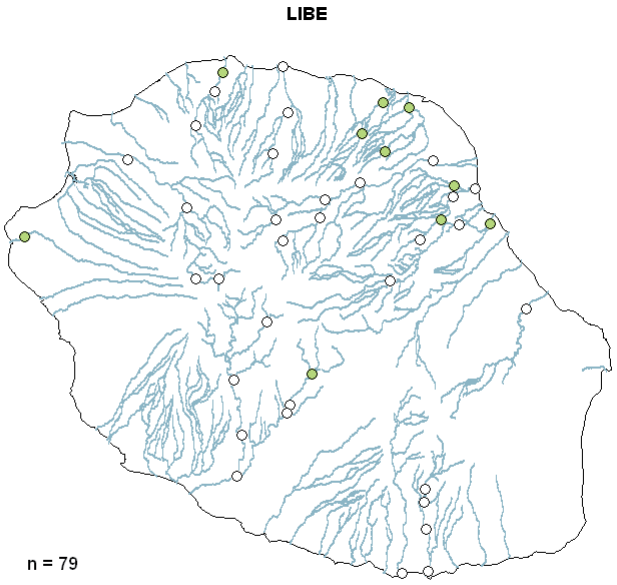
2009



2010



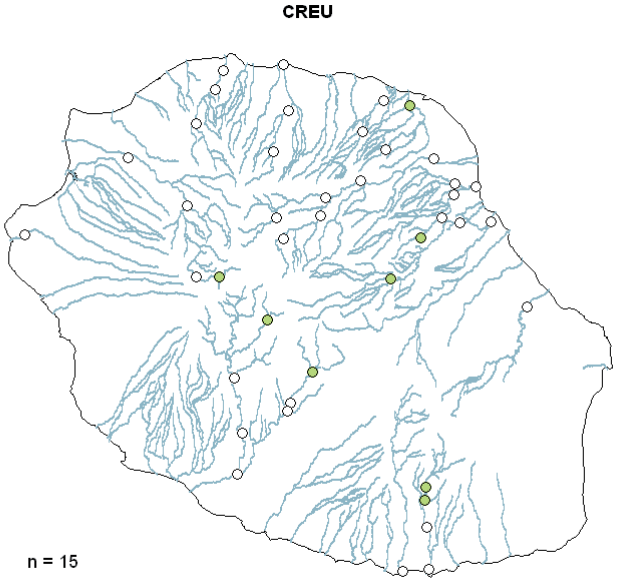
Total



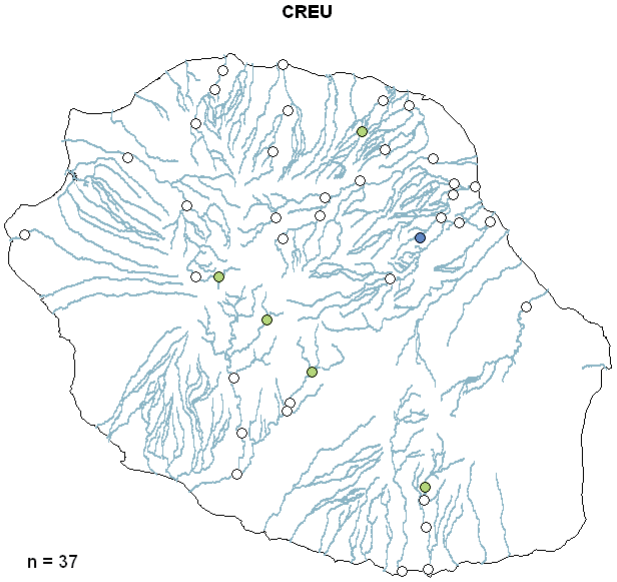
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Coenagriocnemis reuniense

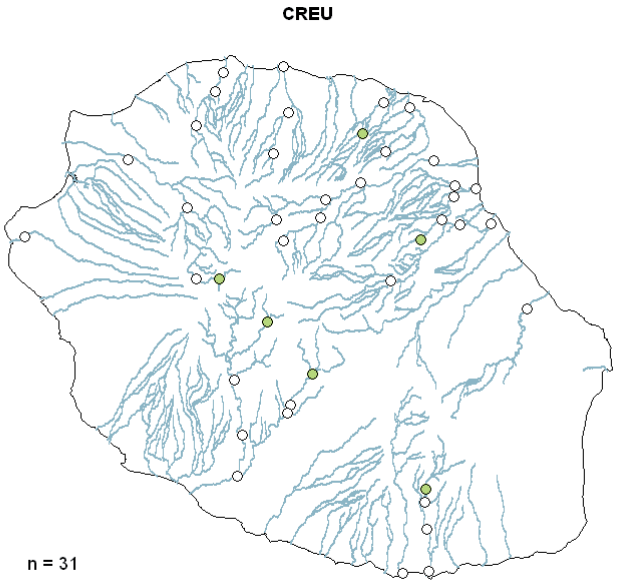
2008



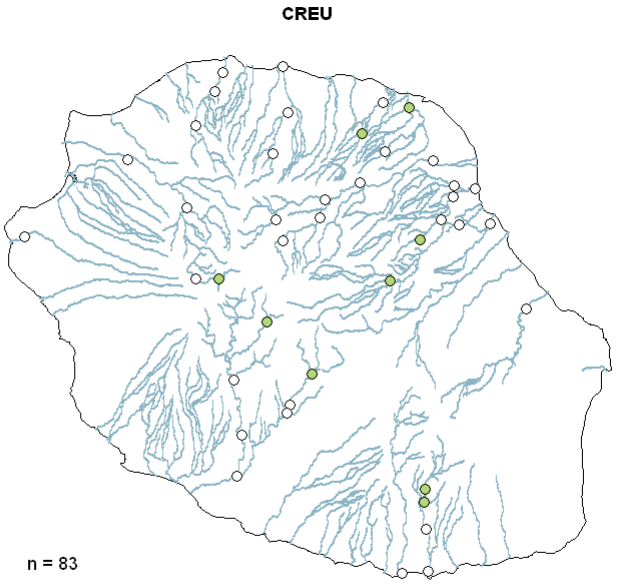
2009



2010



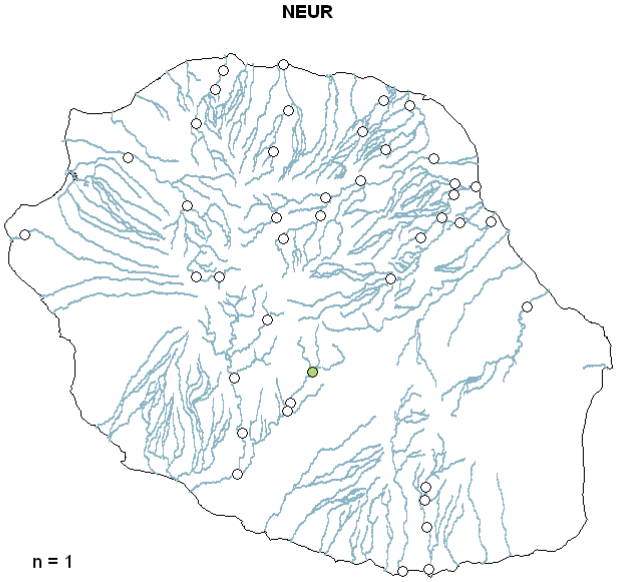
Total



○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Neurothidae

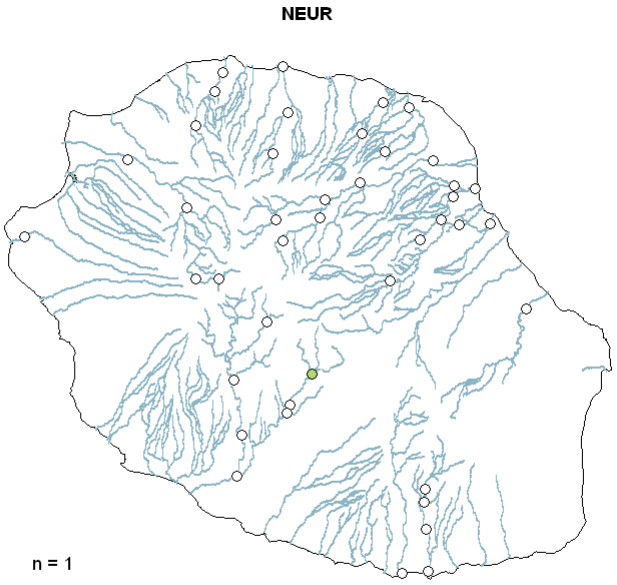
2008



2009

2010

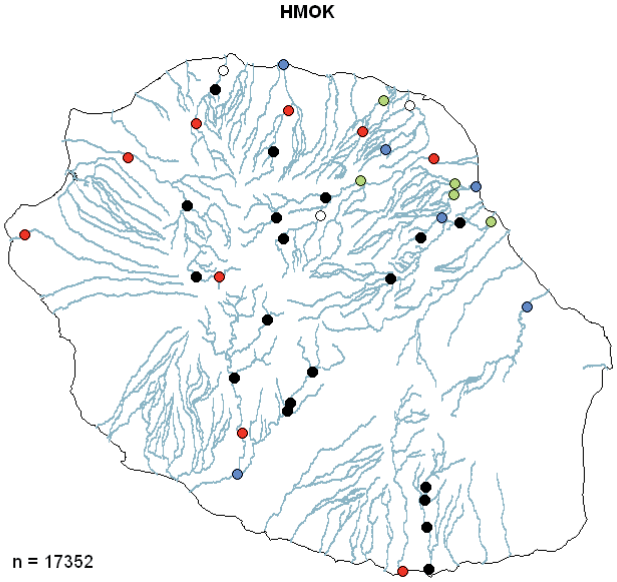
Total



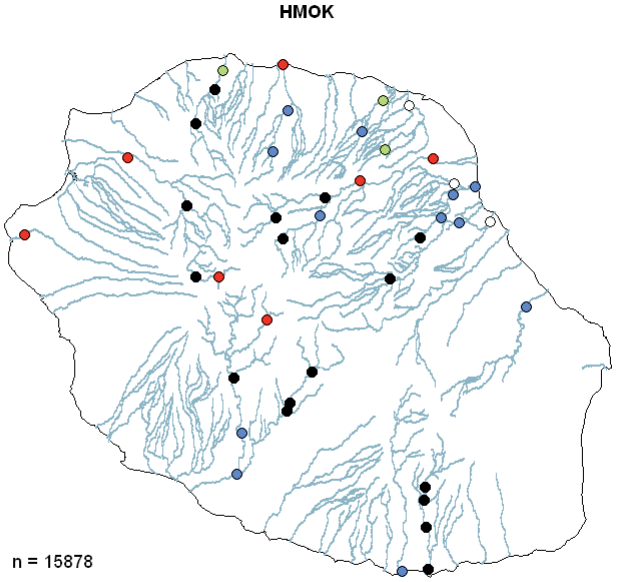
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Hydropsyche mokaensis

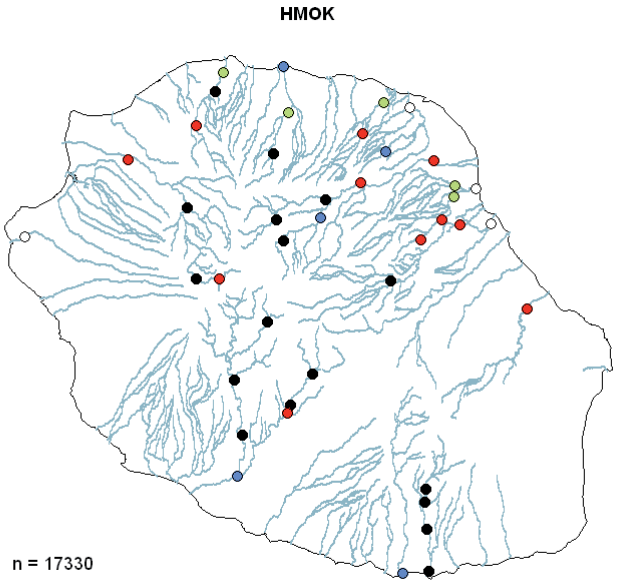
2008



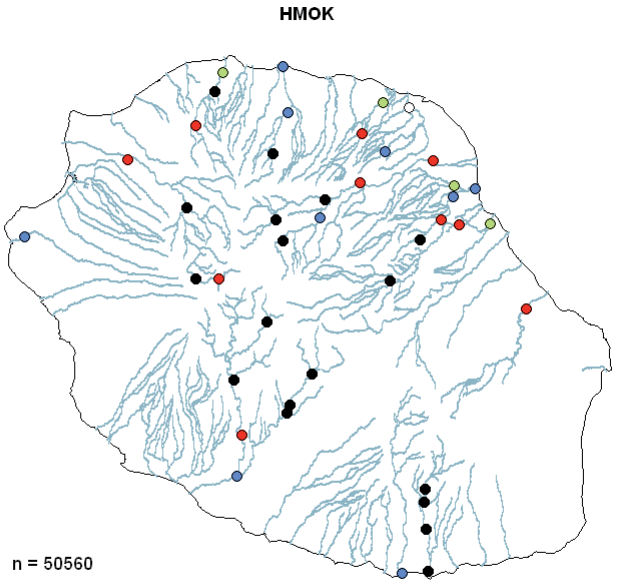
2009



2010



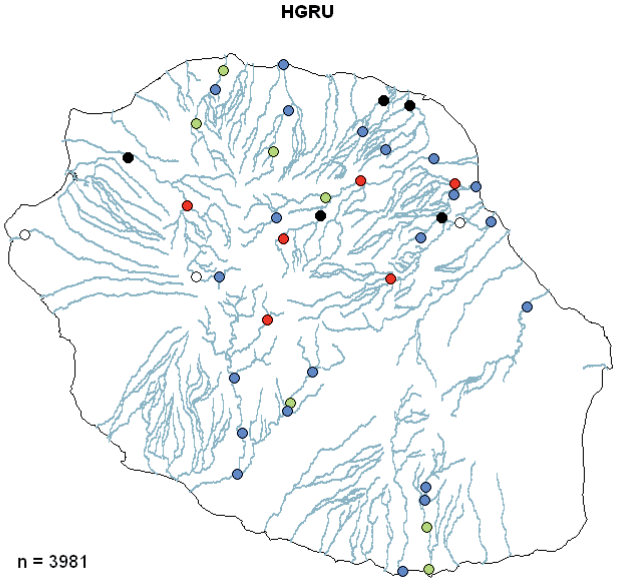
Total



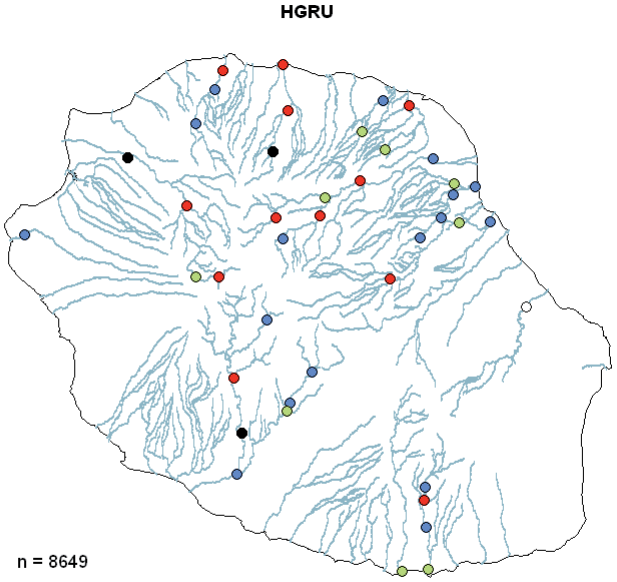
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Hydroptila grucheti

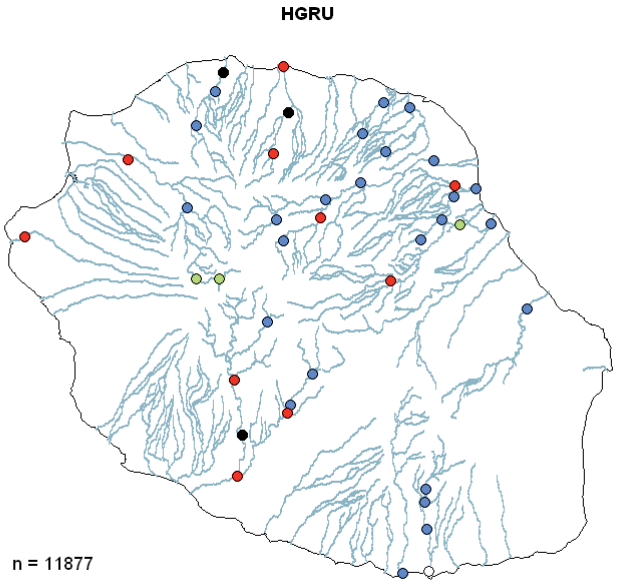
2008



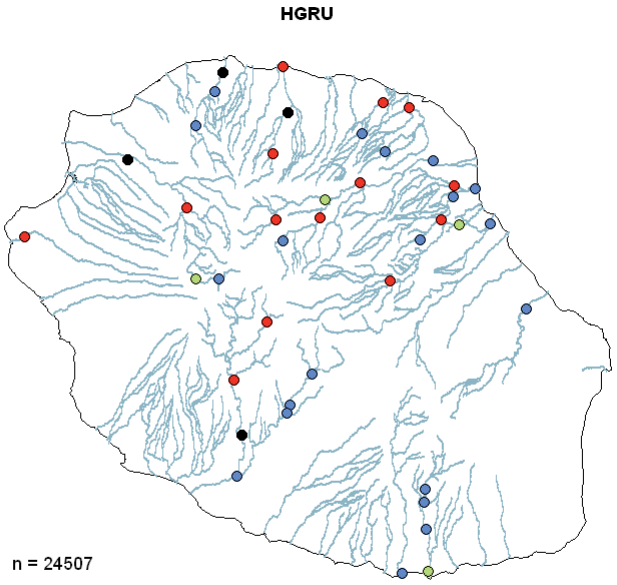
2009



2010



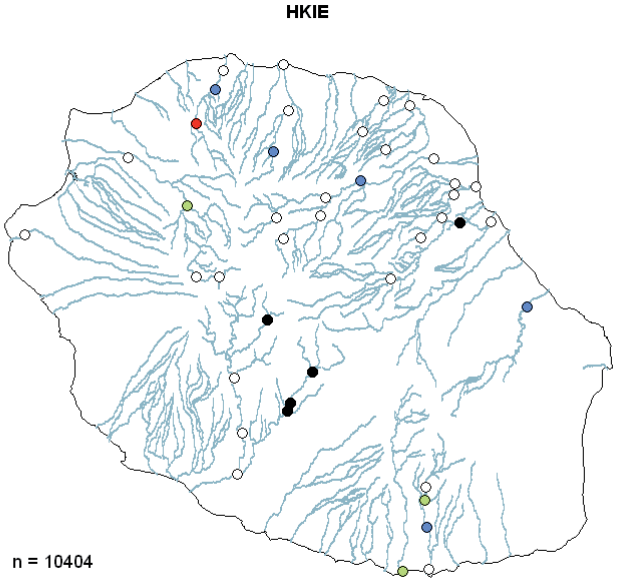
Total



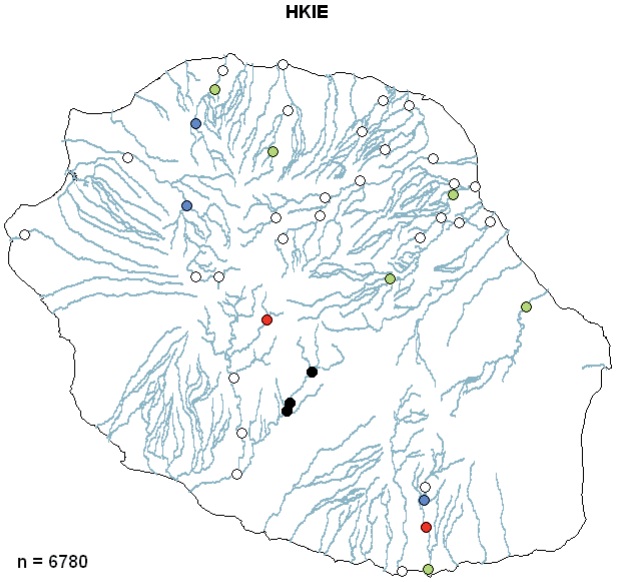
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Hydroptila kieneri

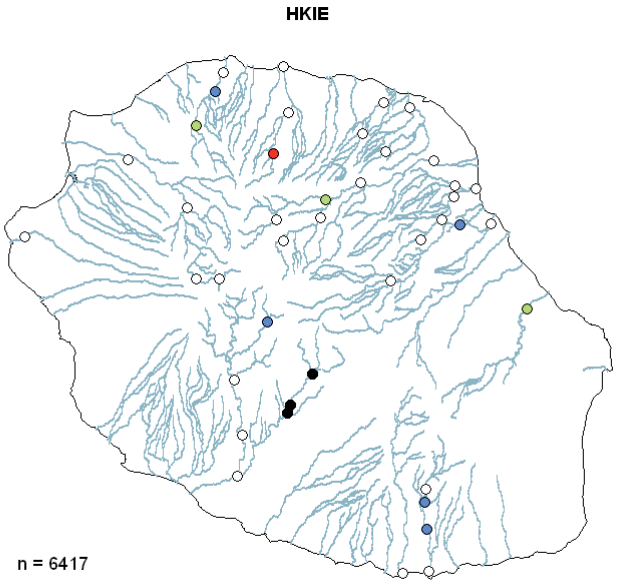
2008



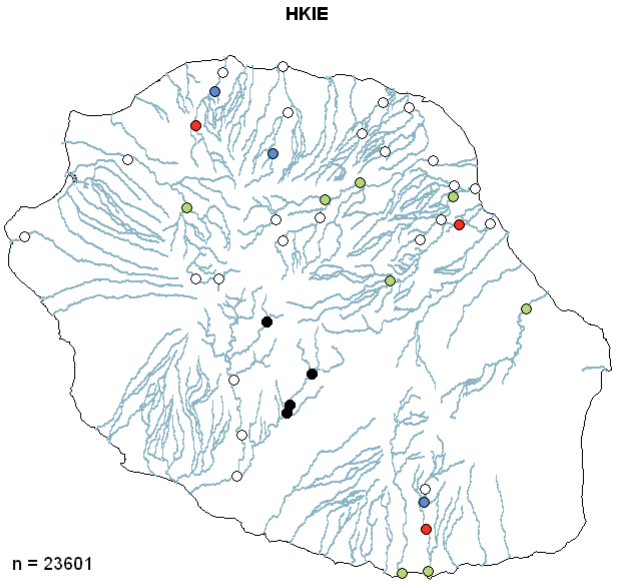
2009



2010



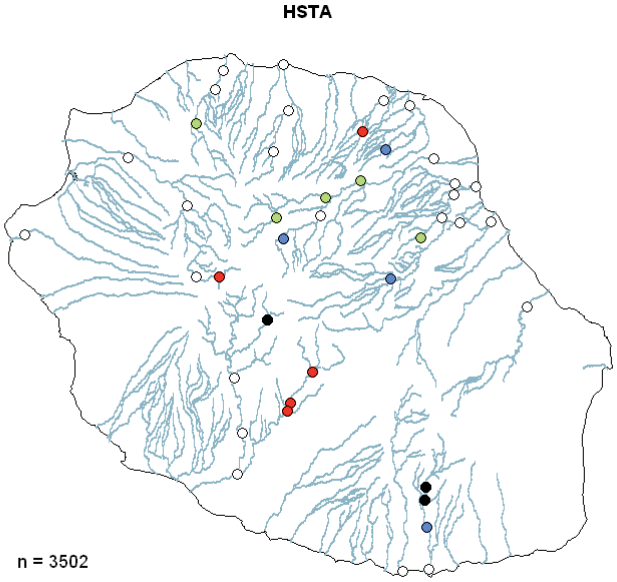
Total



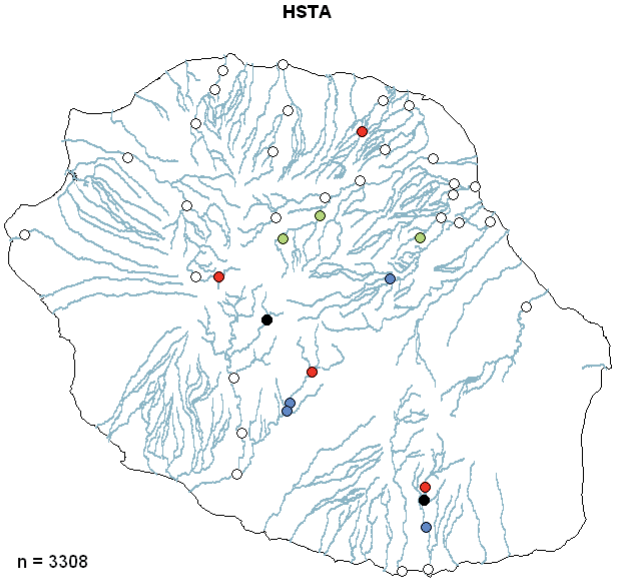
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Hydroptila starmüehlneri

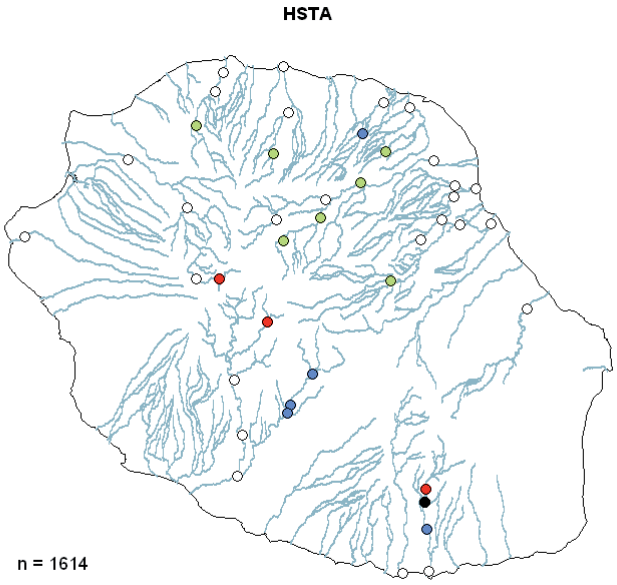
2008



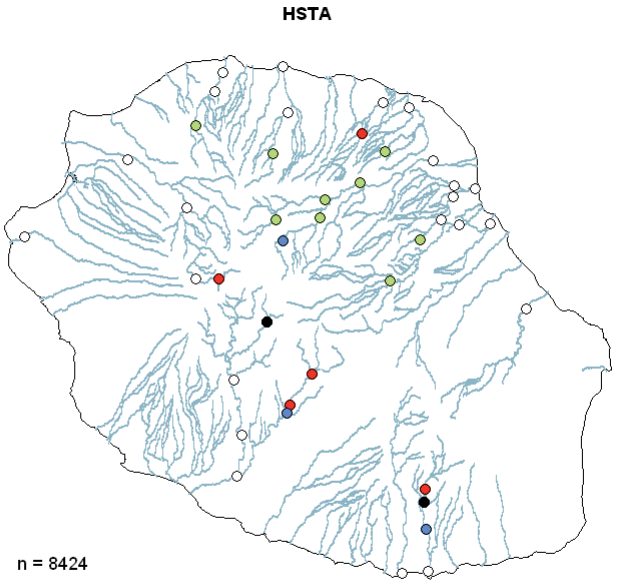
2009



2010



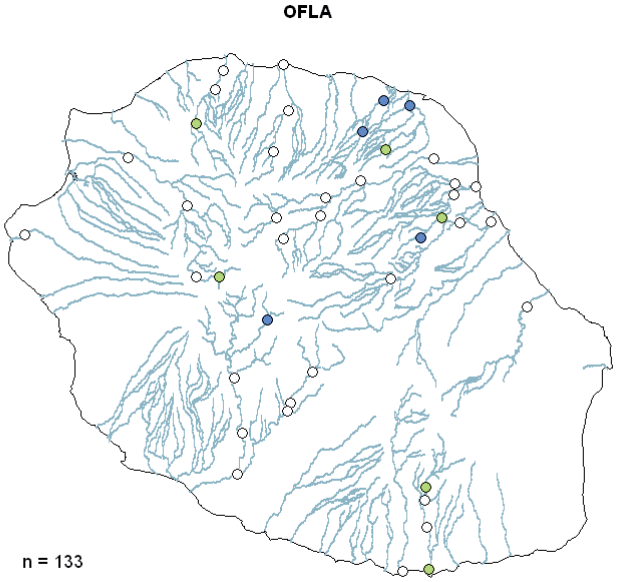
Total



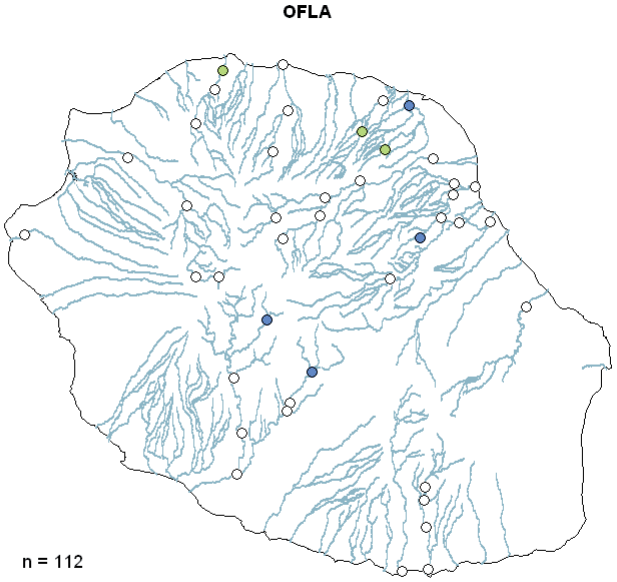
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Oxyethira flagellata

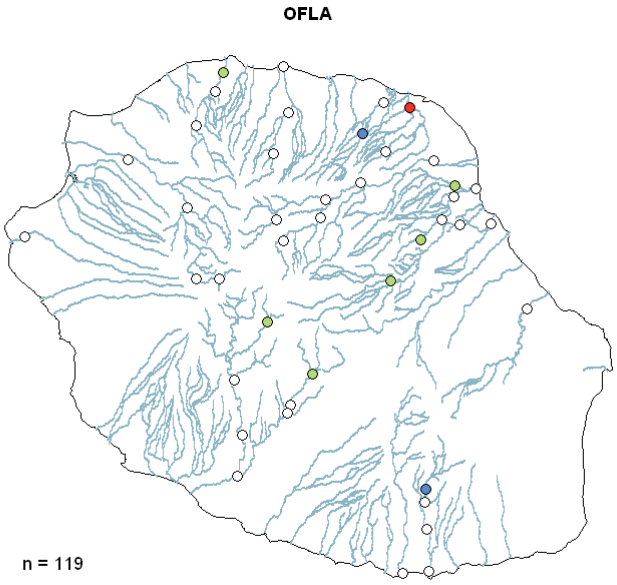
2008



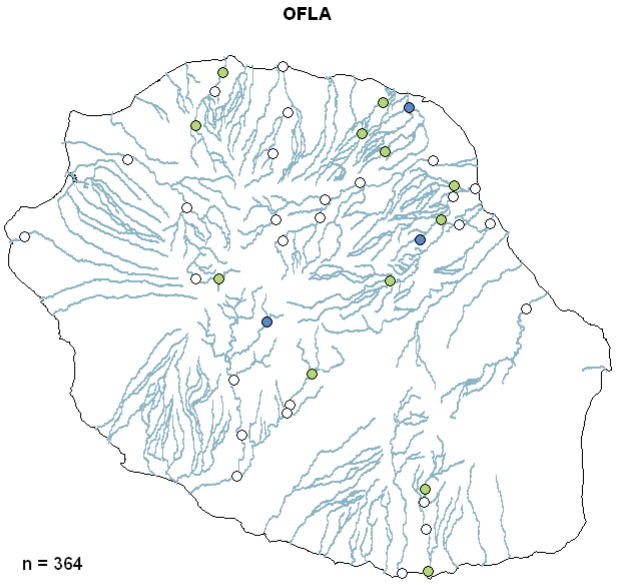
2009



2010



Total



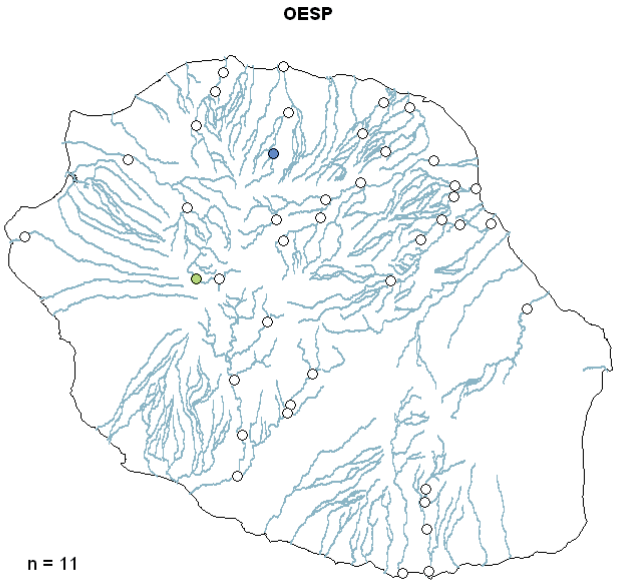
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Oecetis sp.

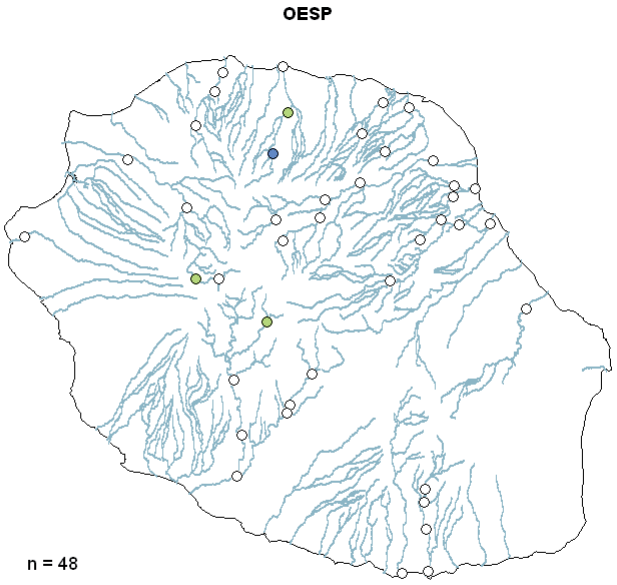
2008

2009

2010



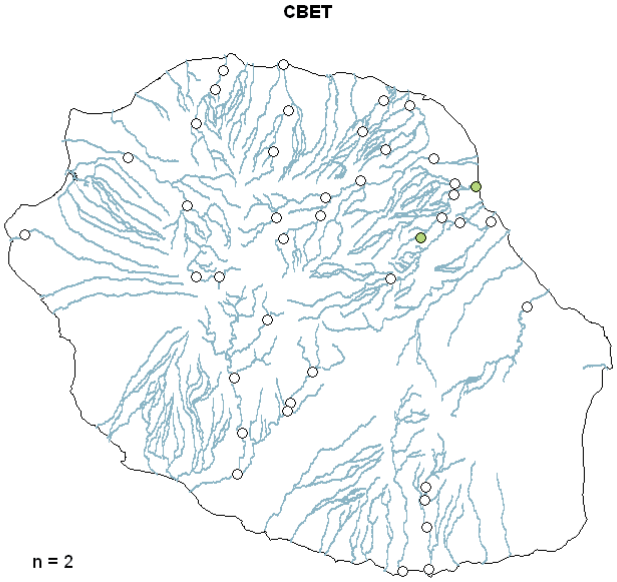
Total



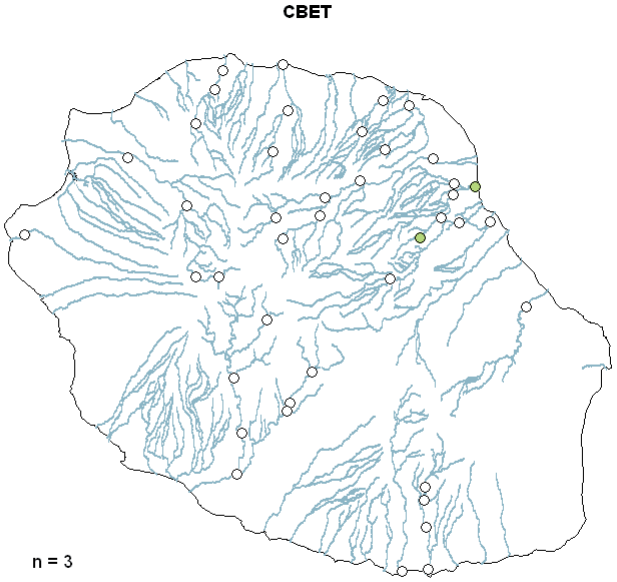
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

Chimarra baettinae

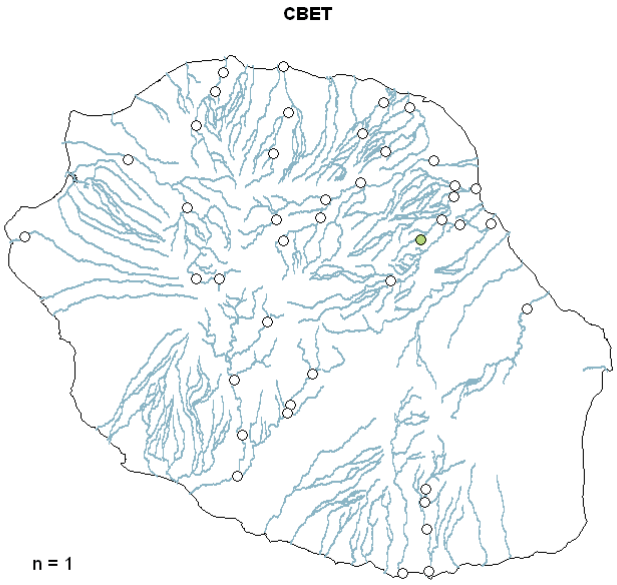
2008



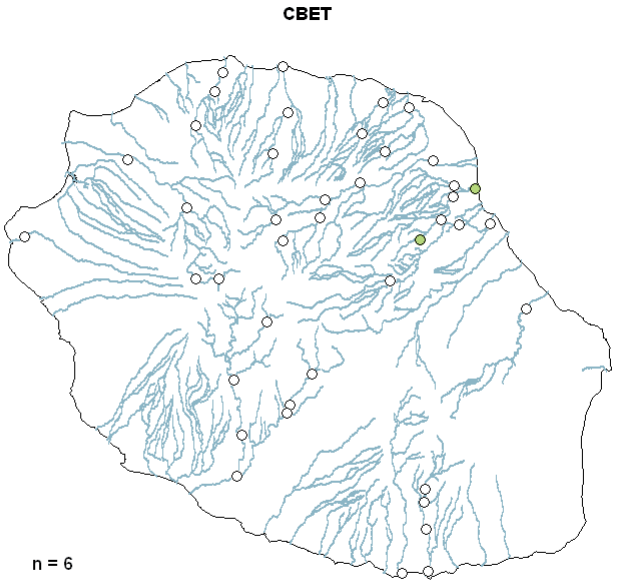
2009



2010



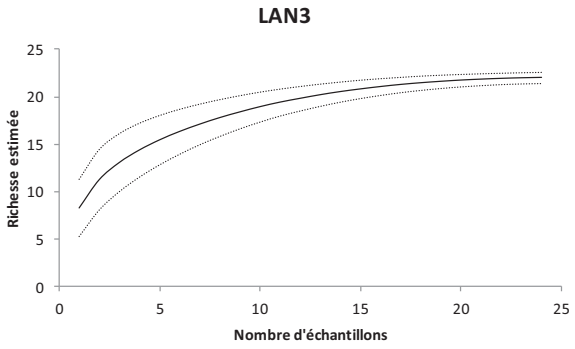
Total

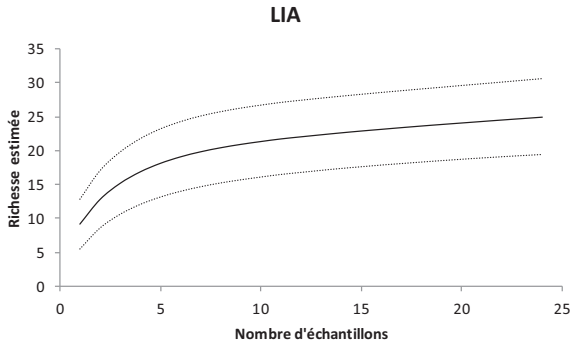


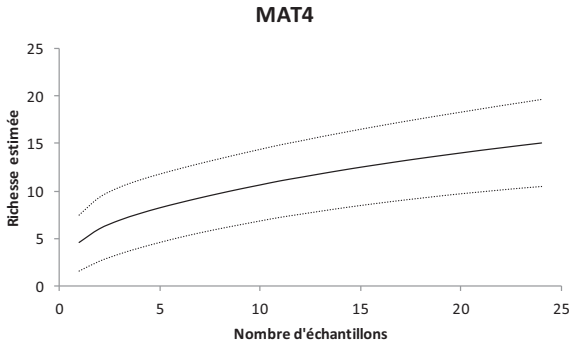
○ 0 ●]0-10[● [10-100[● [100-500[● ≥ 500

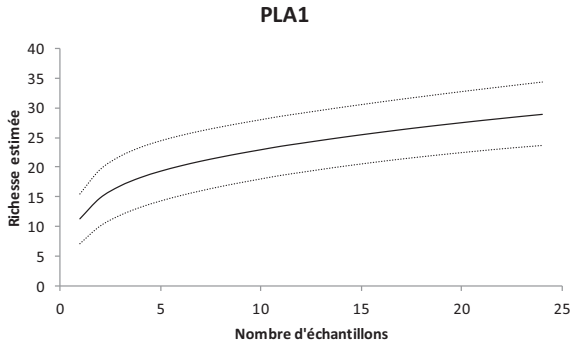
Annexe 7 : Courbes de raréfaction estimant le nombre de taxons échantillonnés en fonction de l'effort d'échantillonnage dans les 6 stations choisies pour calibrer l'échantillonnage, pour chacune des campagnes 2008, 2009 et 2010. Les intervalles de confiances à 95% (limites inférieure et supérieure) sont donnés en pointillés.

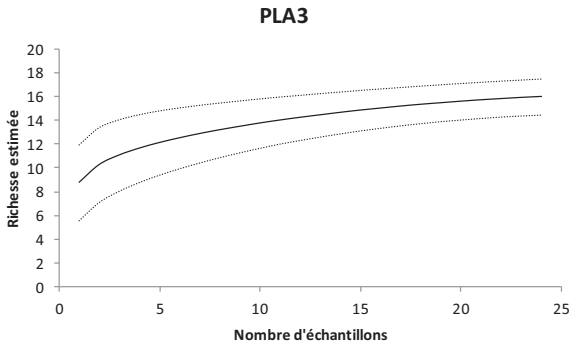
2008

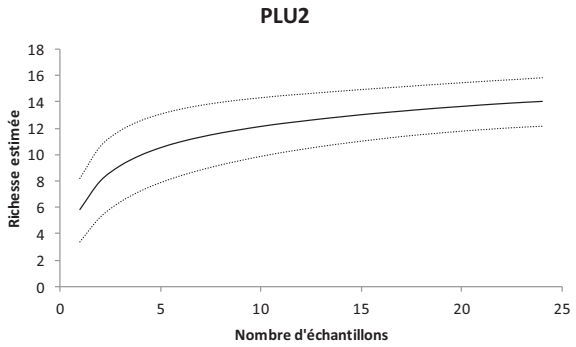

LAN3
Richesse estimée
Nombre d'échantillons


LIA
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

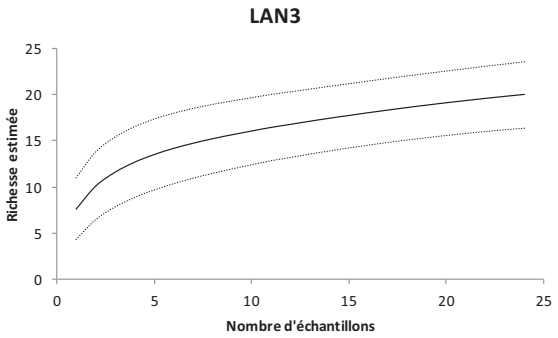

MAT4
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

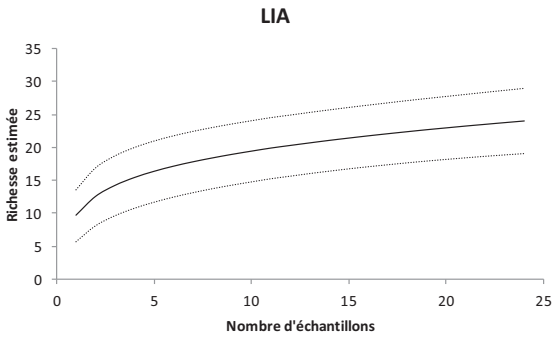

PLA1
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

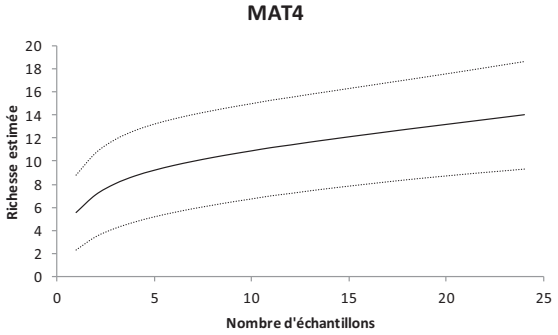

PLA3
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

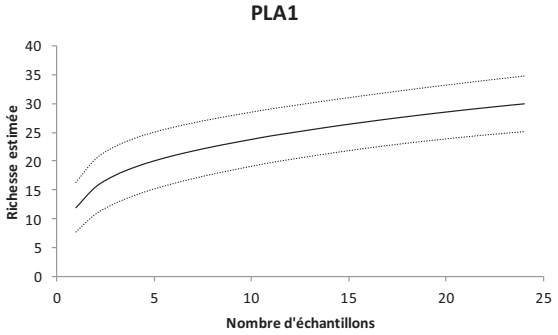

PLU2
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

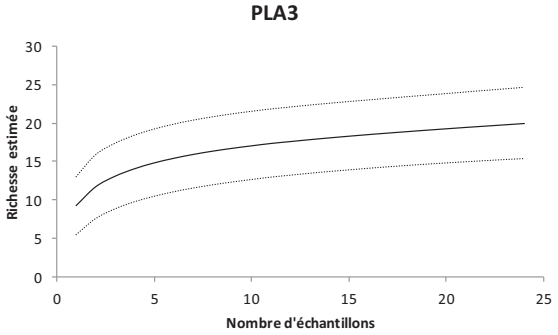
2009

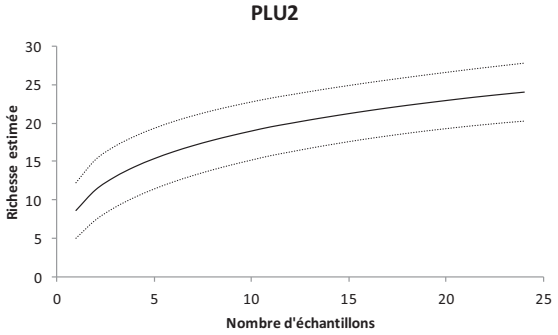

LAN3
Richesse estimée
Nombre d'échantillons


LIA
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

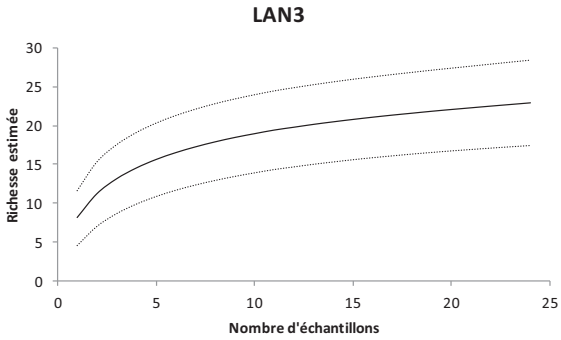

MAT4
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

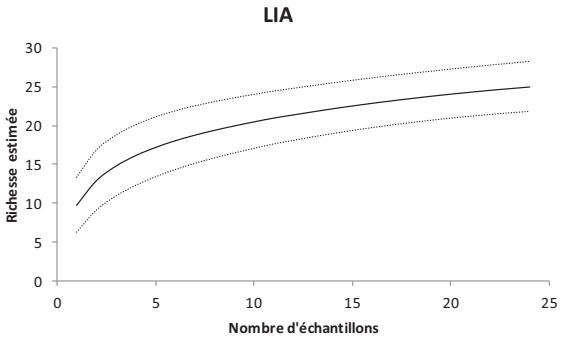

PLA1
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

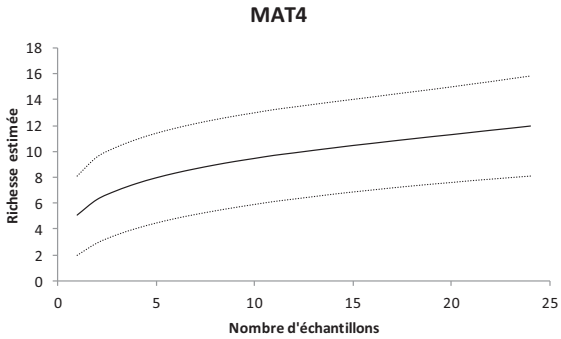

PLA3
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

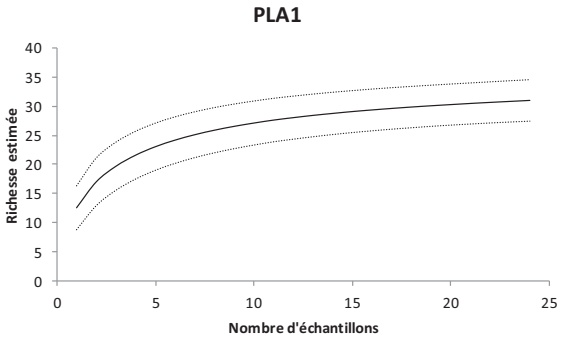

PLU2
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

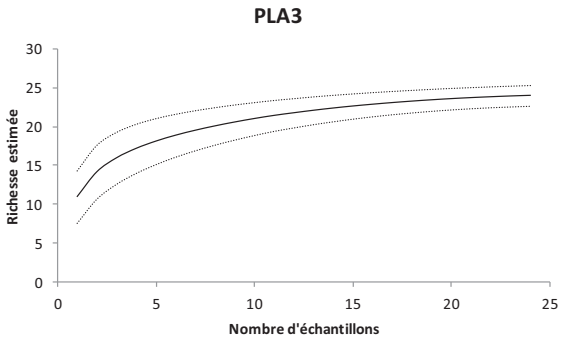
2010

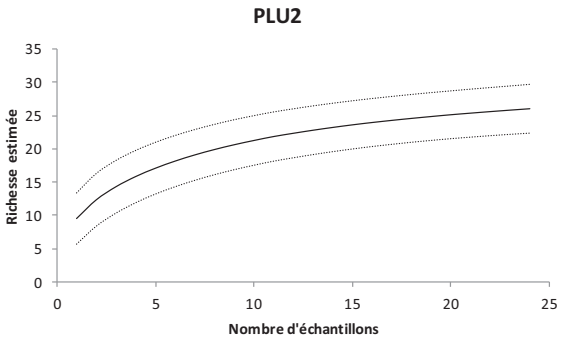

LAN3
Richesse estimée
Nombre d'échantillons


LIA
Richesse estimée
Nombre d'échantillons


MAT4
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

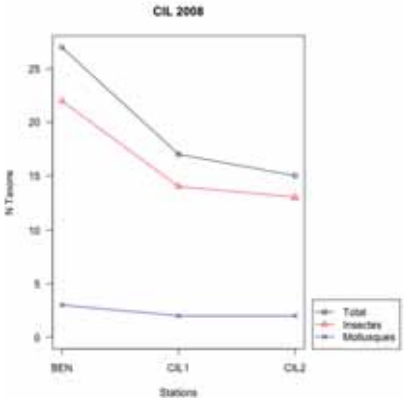

PLA1
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

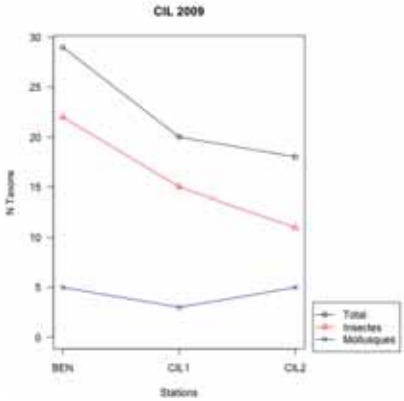

PLA3
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

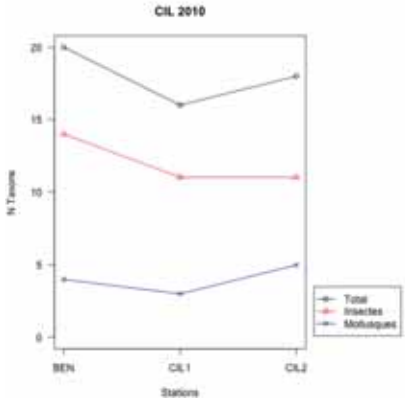

PLU2
Richesse estimée
Nombre d'échantillons

Annexe 8 : Richesses taxonomiques sur le gradient amont-aval des rivières de l'île de la Réunion échantillonnées au cours des campagnes 2008, 2009 et 2010.

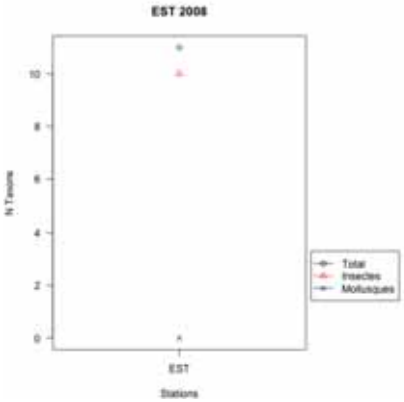
CILAOS

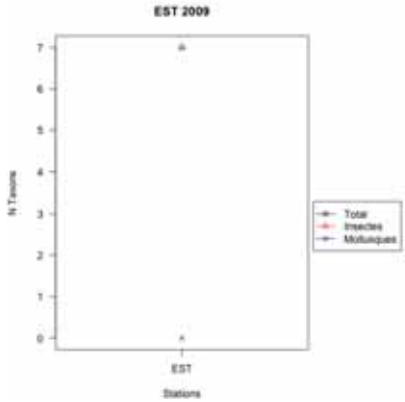

CIL 2008
N Taxons
Stations
BEN
CIL1
CIL2
Total
Insectes
Mollusques

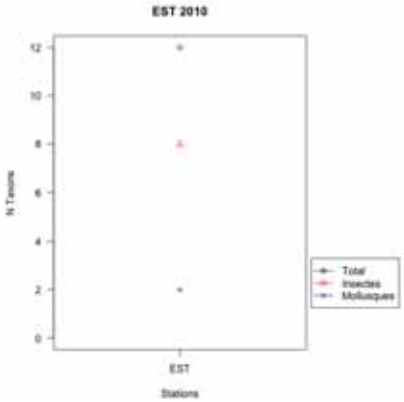

CIL 2009
N Taxons
Stations
BEN
CIL1
CIL2
Total
Insectes
Mollusques


CIL 2010
N Taxons
Stations
BEN
CIL1
CIL2
Total
Insectes
Mollusques

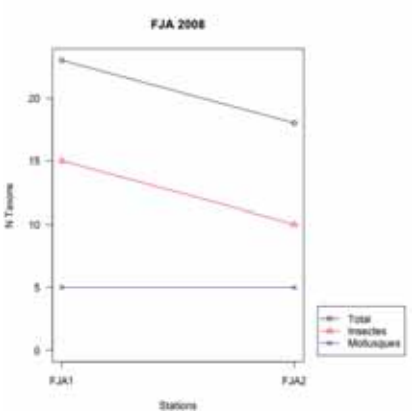
EST

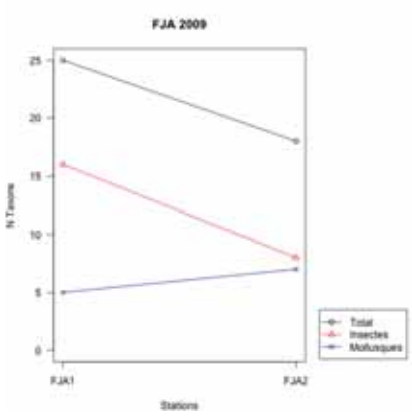

EST 2008
N Taxons
Stations
EST
Total
Insectes
Mollusques

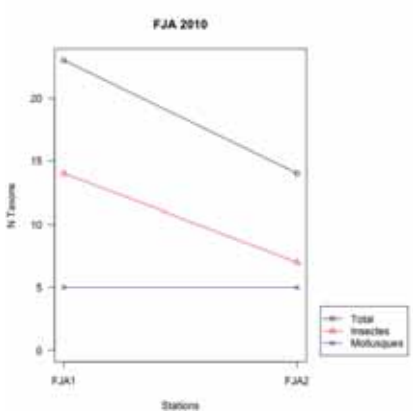

EST 2009
N Taxons
Stations
EST
Total
Insectes
Mollusques


EST 2010
N Taxons
Stations
EST
Total
Insectes
Mollusques

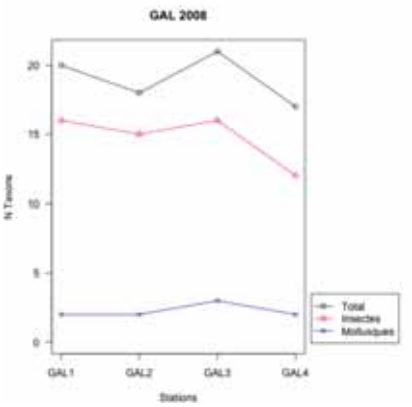
Fleurs Jaunes

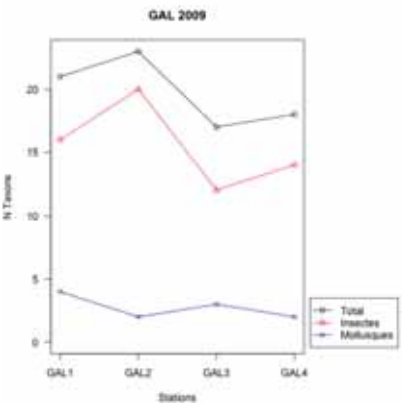


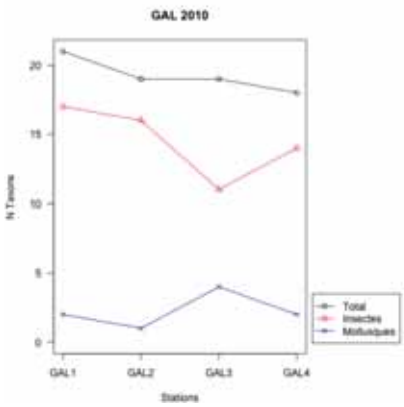




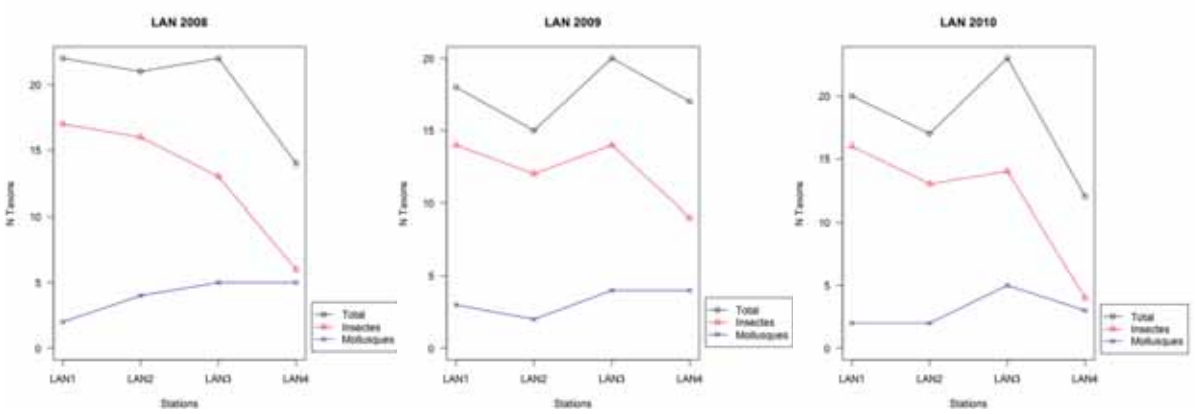
Galets



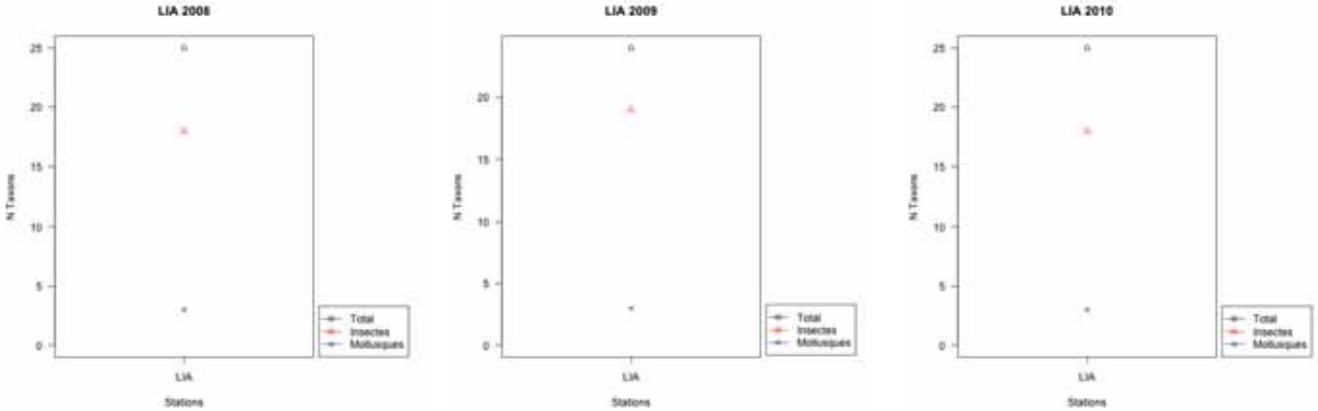




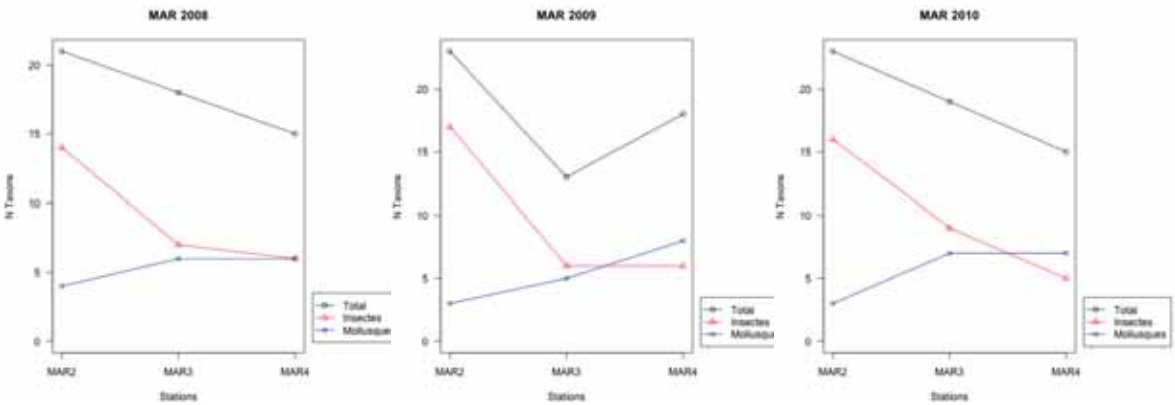
LANGEVIN



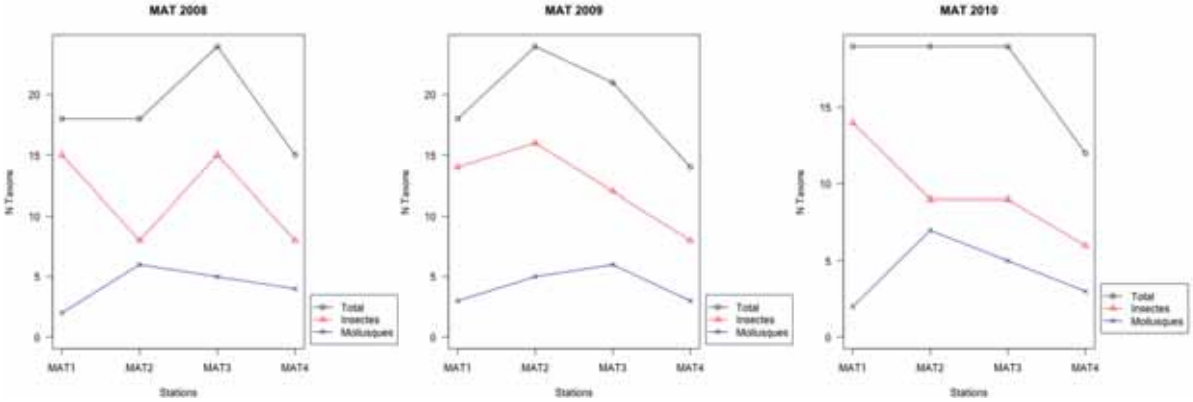
LIANES



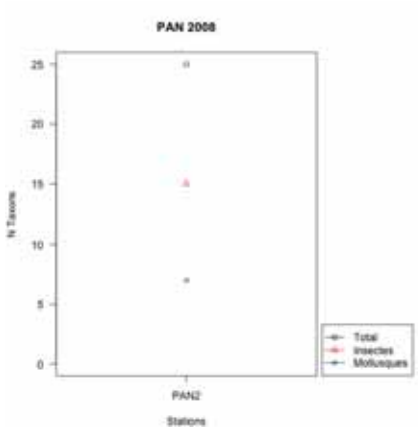
MARSOUINS

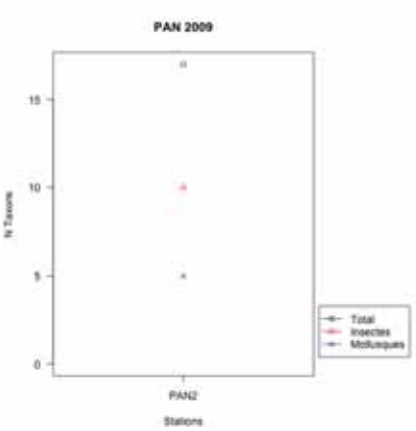


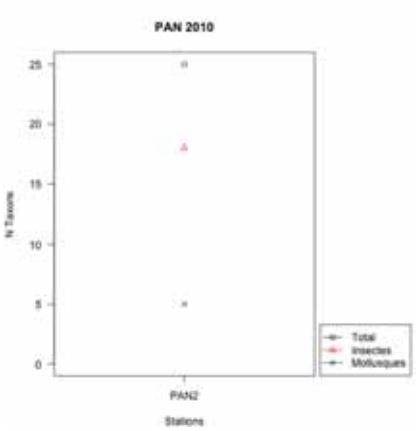
MÂT



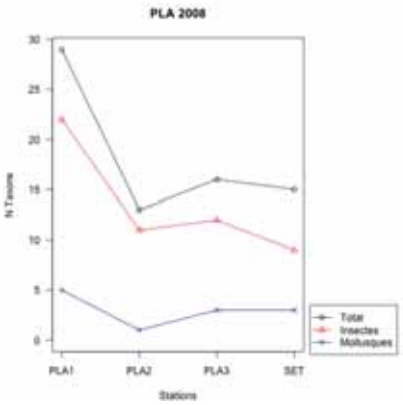
PANON

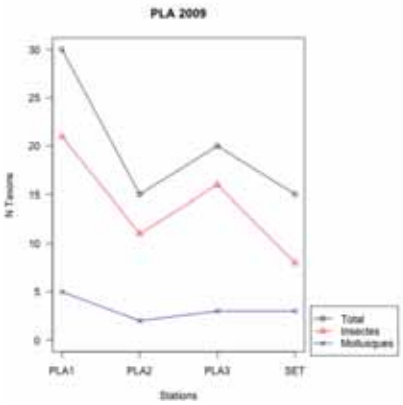


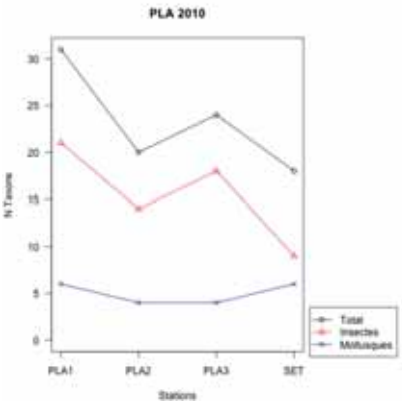




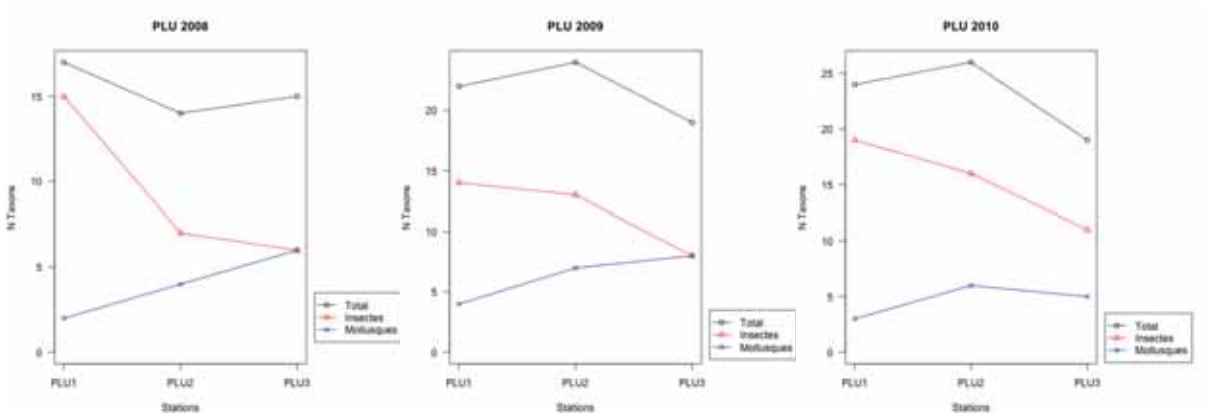
PLAINE



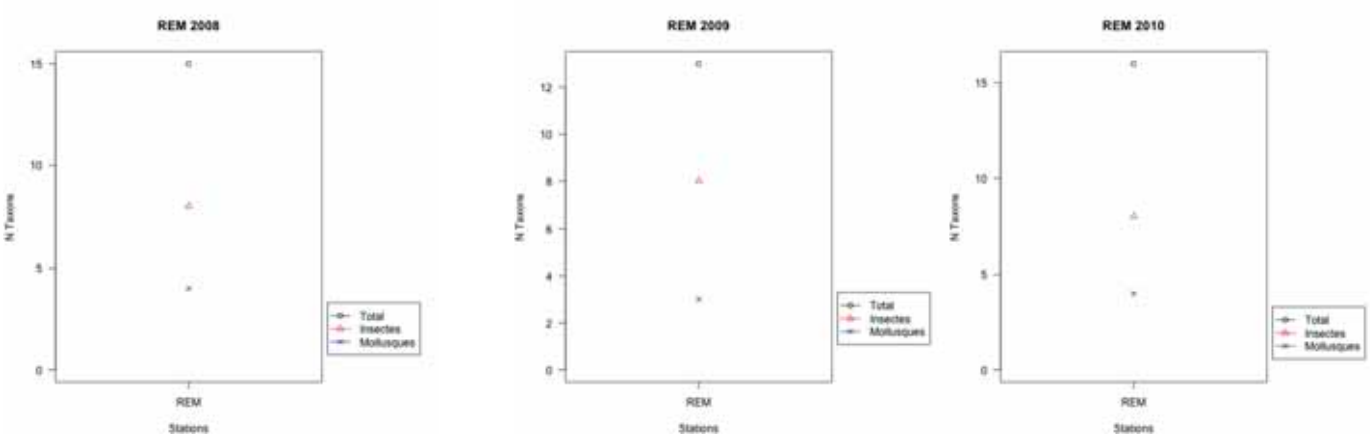




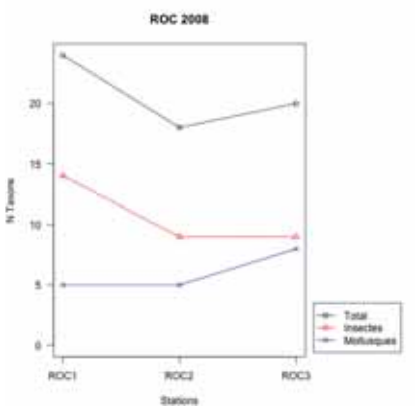
PLUIES

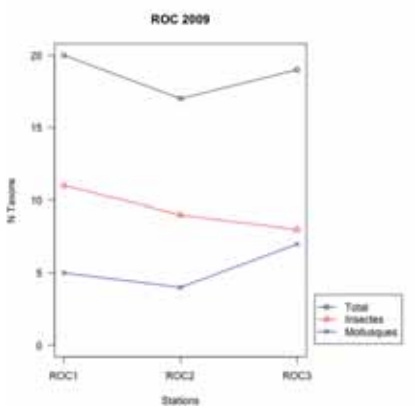


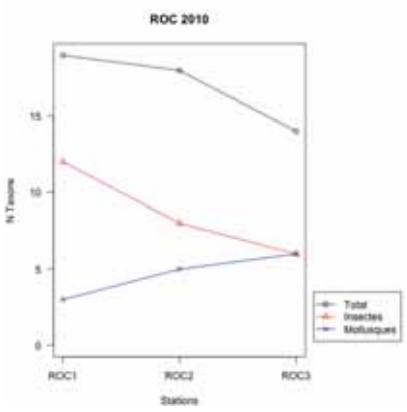
REMPART



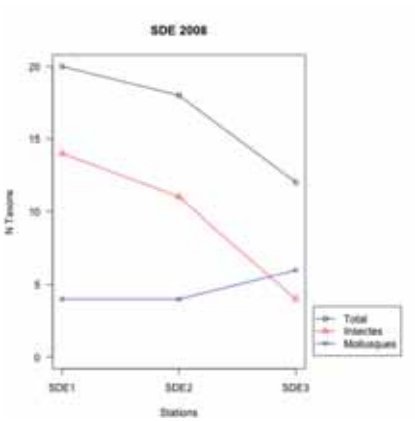
ROCHES

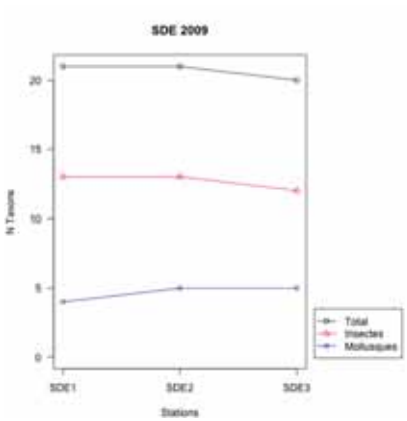


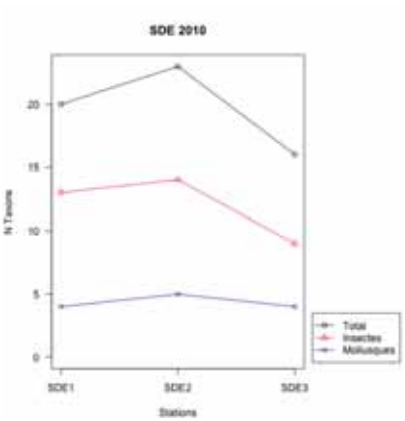




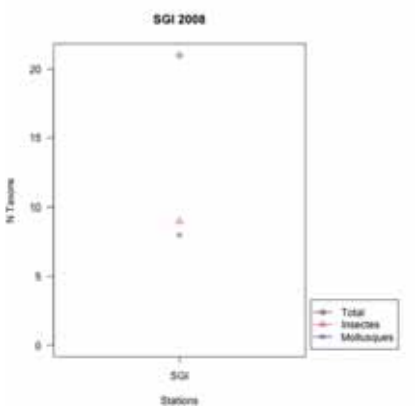
SAINT-DENIS

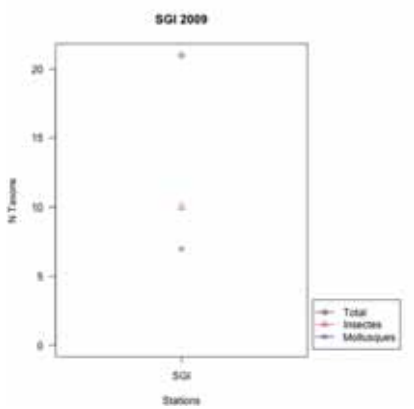


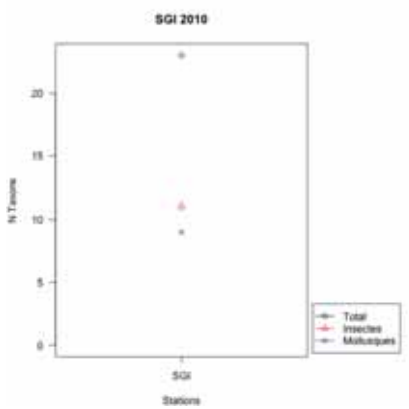




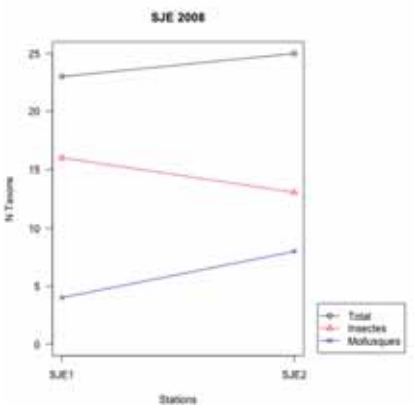
SAINT-GILLES

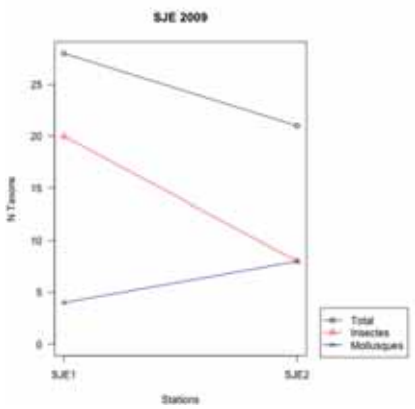


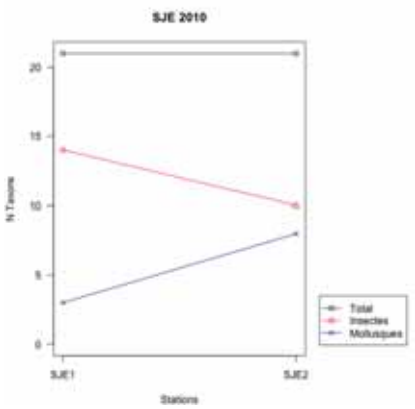




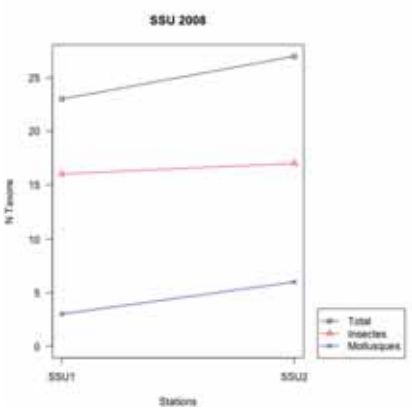
SAINT-JEAN

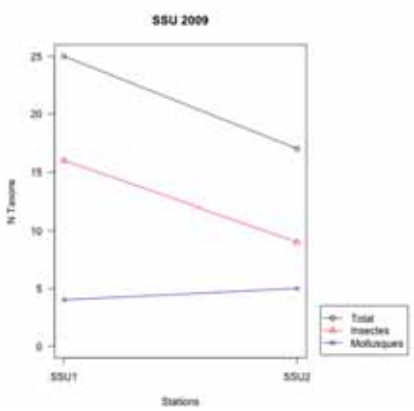


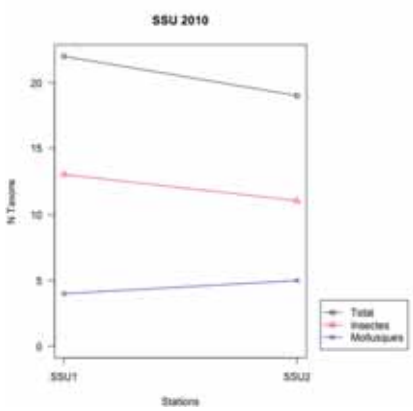




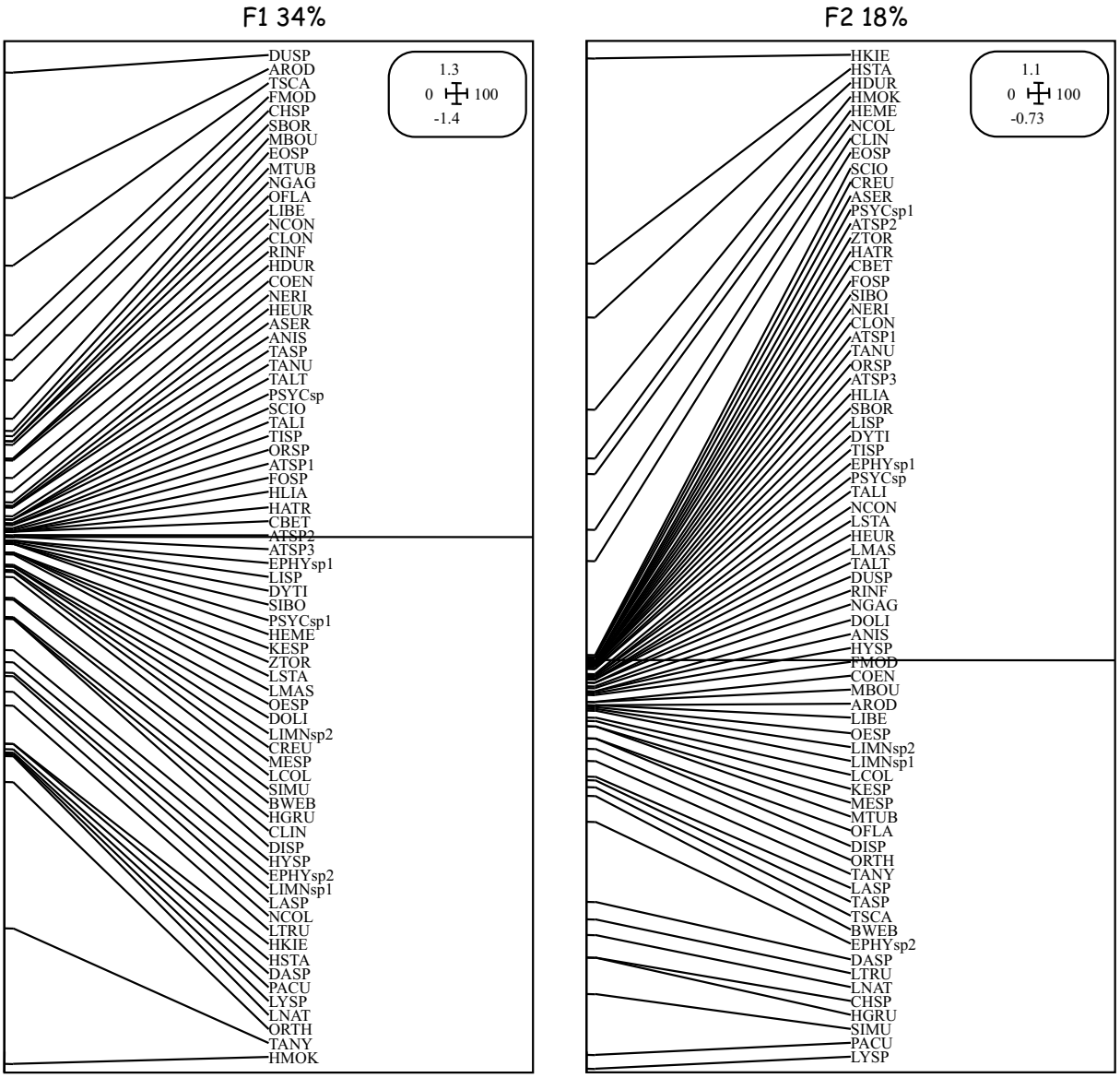
SAINTE-SUZANNE







Annexe 9 : Position des taxons sur l'axe F1 et F2 de l'ACP inter-rivières. Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives ; en dessous, elles sont négatives.



Annexe 10 : Abondance des taxons récoltés dans chacune des 42 stations au cours des campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010.

2008																																																	
E/C/O/F				Taxon	Code	BEN	CIL1	CIL2	EST	FJA1	FJA2	GAL1	GAL2	GAL3	GAL4	LAN1	LAN2	LAN3	LAN4	LIA	MAR2	MAR3	MAR4	MAT1	MAT2	MAT3	MAT4	PAN2	PLA1	PLA2	PLA3	PLU1	PLU2	PLU3	REM	ROC1	ROC2	ROC3	SDE1	SDE2	SDE3	SET	SGI	SJE1	SJE2	SSU1	SSU2	Total
Plathelminthes	Turbellaria	Tricladida	Dugesiidae	*Dugesia* sp.	DUSP					2								79	64	4	2	18	8		12		1	112					32	10	2	13	23	21	37	19	28	1	12	90	112	60	69	831
Annelida	Hirudinea	Arhynchobdelli	Salifidae	*Barbronia weberi*	BWEB					2	7			1	5			2	2	5		8	1		9	12	1						13			56	1			1		2				11		139
		Rhynchobdellid	Glossiphoniidae	*Helobdella europaea*	HEUR																																									38		38
	Oligochaeta			Oligochaeta	OLIG	41	6		5	48	1	88	2	4	24	15	1	6	4	33	10	5	20	110	668	3	4	116	37	4	1		169	154	20	604	46	18	14	4	5	31	65	53	16		10	2465
	Polychaeta			Polychaeta	POLY																																							1				1
Mollusca	Gastropoda	Neritopsina	Neritidae	*Clithon longispina*	CLON																		60					1										4										65
				Neritilia consimilis	NCON																		14															188										202
				Neritina gagates	NGAG																							2									2	3			6		15		3			31
				Septaria borbonica	SBOR																		106					1						7	4		3	57		1	30		12		2			223
				Neritidae	NERI																		47																									47
		Pulmonata	Ferrissiidae	*Ferrissia modesta*	FMOD					1						3	4	8		36	31	3				1	2		3				1	10	45	9							40	6	49	3	2	257
			Lymnaeidae	*Lymnaea columella*	LCOL	25					53							7	4	11		10			14	27	1		36				7	1		10			68					51		172	5	502
				Lymnaea natalensis	LNAT		4	4		3	55			4	46			1	1						30	49	1		3				13	2	4	77			1									298
				Lymnaea truncatula	LTRU	24				20	83	3										1		1	5	13										1												151
				Lymnaea spp.	LYSP	266	2	1		138	200		1	37	192		4	11	2	70	2	12	2	1	95	277	6		83	1	2	80	7	4	7	596			54			1	1	120	2	308	41	2626
			Physidae	*Physella acuta*	PACU	314	184	35		274	113	18	165	19	37	70	19	68	26	219	115	4	10	18	338	1320	58	69	162		17	3	124	115	9	254	6	3	7	21	11	24	15	139	76	30	183	4692
			Planorbidae	*Afrogyrus rodriguezensis*	AROD					23	12								45		1	21	51					82	180		2			5			2	12	123			1	2	35	115		301	1013
				Helisoma duryi	HDUR									3			25	127	50			4			1															114	1							325
		Sorbeoconcha	Thiaridae	*Melanoides tuberculata*	MTUB																							29									12			1		2		34		7	85
				Thiara scabra	TSCA																				1			120									4	14		1	8		33		335		60	576
				Mollusca	MOLL							13	10	2	59						54	81	66	3	164	654		103								167	12	10	368	12	8			264	34	65	26	2175
Arthropoda	Arachnida	Acarina		Hydracarina	ACAR	11						15			1	1		6		53	5	3				3		76	8					1		17	1	4					1	75	50	12	19	362
	Crustacea	Amphipoda	Talitridae	Talitridae	TALI						1					1									2	1										1												6
		Decapoda	Atyidae	*Atyoida serrata*	ASER																	1													2								2				1	6
	Insecta	Coleoptera	Dytiscidae	Dytiscidae	DYTIa																			3																								3
			Gyrinidae	*Dineutus* sp.	DISP	24	5				2		9	4	1									3					1		2	3							4	2								60
			Hydraenidae	*Hydraena borbonica*	HBORa																					1																						1
				Sicilicula borbonica	SIBOa							0					1																															1
			Hydrophilidae	*Laccobius mascarensis*	LMASa			2																																								2
				Laccobius starmuehlneri	LSTAa									1																																			1
				Laccobius spp.	LASP		6			47			4	5	7																										4							73
				Sphaeridiinae	SPHAa																							1																1				2
		Diptera	Ceratopogonid	*Atrichopogon* sp1	ATSP1	2											1			9	1					2												1									1	17
				Atrichopogon sp2	ATSP2	1																						1																				2
				Atrichopogon spp.	ATSP											2																																2
				Dasyhelea sp.	DASP	2	27	3	1	13		11	5	5	16	4	1	2		1	6	1			5	5	1	3	1	2	5	12	8			2			1				4			2	4	153
				Forcipomyia sp.	FOSP																								1																3			4
				Kempia sp.	KESP		1						1											1	2	7						1							1					1				15
			Chironomidae	Chironomini	CHSP	47	33	1			1		5	21	2					5	27		1	1			1	3				2		1		4	14				2			233	3	9	416
				Orthocladiinae	ORTH	1141	5291	400	979	836	85	3118	1800	1937	1053	1747	1332	487	213	1684	5428	411	121	581	1520	460	1246	311	2288	614	2207	324	385	245	130	791	385	139	186	304	16	184	90	230	1405	684	525	43313
				Tanypodinae	TANY	6	194	26	96	6			133	102	22					1				37	1		2		33	22	112	59	13									2	3					870
				Tanytarsini	TASP	636	353	1	4	8	3	313	498	225	3	140	15	56	6	291	95	92	106	738	1		1	151	98	34	241	8		1	18	133	100	79	7	29	3	15	45	1022	2	39	86	5696
			Dolichopodidae	Dolichopodidae	DOLI			1		2														1																								4
			Empididae	Clinocerinae	CLIN	26						14	1		1	10	15	2		8	20								21						3											2		123
				Empididae	EMPI																1																											1
				Hemerodromiinae	HEME	5						13				2	19	101						2				2	9			1					2		16	9				4		1		186
			Ephydridae	Ephydridae sp1	EPHYsp1																																								1			1
				Ephydridae sp2	EPHYsp2	2	25	1		4		20	15	4										8		2																						81
				Hydrellia spp.	HLIA																																										5	5
				Metalimnobia sp.	MESP		1					4		1		1				1					2				1							1								2		3		17
				Limoniidae	LIMON																				1																							1
			Muscidae	*Limnophora* sp1	LIMNsp1	2			4	10		10	5	1		10	2	1		8	19	1		4		1			3	1	1	1	2						1						1		88
				Limnophora sp2	LIMNsp2	1						1				1										1																						5
				Lispe sp.	LISP																					3																						3
				Psychodidae sp1	PSYCsp1					2							1																														1	4
				Tinearia alternata	TALT																																							2		1	3
			Simuliidae	Simuliidae	SIMU	325	285	12	220	146	3	292	382	170	540	73	37		7	18	28		28	33	20	1	64	43	1	39	123	51		24	8	139	12	104		4	17	61	98	104	697	67	54	4330
			Tipulidae	*Nephrotoma* spp.	NESP						1															1																						2
				Tipula spp.	TISP																																							1			1
				Diptera	DIPT										1																																	1
					DIPTn	272	361	102	91	149	7	283	371	318	454	125	49	129	25	256	497	25	40	269	295	167	373	43	185	177	352	42	63	40	63	99	62	76	19	39	3	133	44	85	59	44	52	6338
		Ephemeroptera	Baetidae	*Nigrobaetis colonus*	NCOL		5	2	31	3	4		1	10		1				17	3								124	73	191	37					3	2				1					1	509
			Mesoveliidae	*Mesovelia vittigera*	MVIT																																								1			1
			Veliidae	*Microvelia bourbonensis*	MBOU	5												3				1						14	3							15		1	1	1			21	35		7	13	120
				Rhagovelia infernalis	RINF	1				1				1				2										10	2							5	1			2			10	3				7	45
		Lepidoptera	Crambidae	*Eoophyla* sp.	EOSP											2	3	11		7	33							37	7							2								13	16	2		133
					EOSPn											2	4	1		6	26							6	4										2						1			52
			Corduliidae	*Hemicordulia atrovirens*	HATR																															4												4
			Libellulidae	*Orthetrum* spp.	ORSP																																										1	1
				Trithemis annulata haematina	TANU																															2										1		3
				Zygonix torridus	ZTOR			1							1																				1													3
				Libellulidae	LIBE																							1	1							8							1	3	17		15	46
				Anisoptera	ANIS										4																												1						5
			Coenagrionidae	*Coenagrioenemis reuniense*	CREU	1						1				2	1			7	1								1																1			15
				Coenagrionidae	COEN							1									1							1										1								70			74
		Planipenna	Neurothidae	Neurothidae	NEUR																								1																			1
		Trichoptera	Hydropsychida	*Hydropsyche mokaensis*	HMOK	1061	456	210	46	792	443	63	705	596	93	533	668	737	706	1890	665	335	4	430		3	166	2	2245	297	980	330	276	4	77	39	3	11	235	802		27	62	23		97	4	16116
					HMOKn	63	85	17	3	98	35	73	60	89	9	57	39	31	31	73	47	3		51		1	1		183	19	88	19	8	3	3	1	1	1	11	28		2				3		1236
			Hydroptilidae	*Hydroptila grucheti*	HGRU	133	39	30	8	3	2	6		99	472	11	9	7	1	36	57		10	53	300	59	38	101	37	1	29	3	30	9	6	368	28	9	1	11	2	21		12	93	5	162	2301
					HGRUn	16	3	9	2	14	3	8		37	476	5	6			14	29		3	21	151	58	20	51	18	1	9		6	5	6	277	4	4		1	1	4		22	223	6	167	1680
				Hydroptila kieneri	HKIE	914			5					2			1	11				90				11			2713	1182	1110	41						134	12									6226
					HKIEn	179			11									8				241				3			1956	495	1135	11			1			125	13									4178
				Hydroptila spp.	HYSP		9		2	1				8	3		1			5	4	1		3	3			23	36		4					35			1					1	16	1		157
					HYSPn									1	6	2													1									1							4			15
				Hydroptila starmüehlneri	HSTA	767					1	76				256	628	63		1	5			9		1			264	108	58								3					3		59		2302
					HSTAn	362				1		215				74	251	3			2			8					104	66	74													3		37		1200
				Oxyethira flagellata	OFLA	11						1				4			1	22																1			1					1	16	2	5	65
					OFLAn	2										1				17																1								2	38	4	3	68
			Leptoceridae	*Oecetis* sp.	OESP								5																			18																23
					OESPn								3																			1	1															5
				Leptoceridae	LEPT								1																																			1
			Philopotamidae	*Chimarra bettinae*	CBET															1																		1										2
					Total	6688	7375	858	1508	2647	1115	4660	4182	3707	3528	3155	3137	1970	1188	4809	7215	1372	698	2389	3640	3147	1987	1515	10854	3136	6743	1047	1158	641	409	3732	715	775	1421	1431	140	516	579	2404	3727	1769	1841	115528

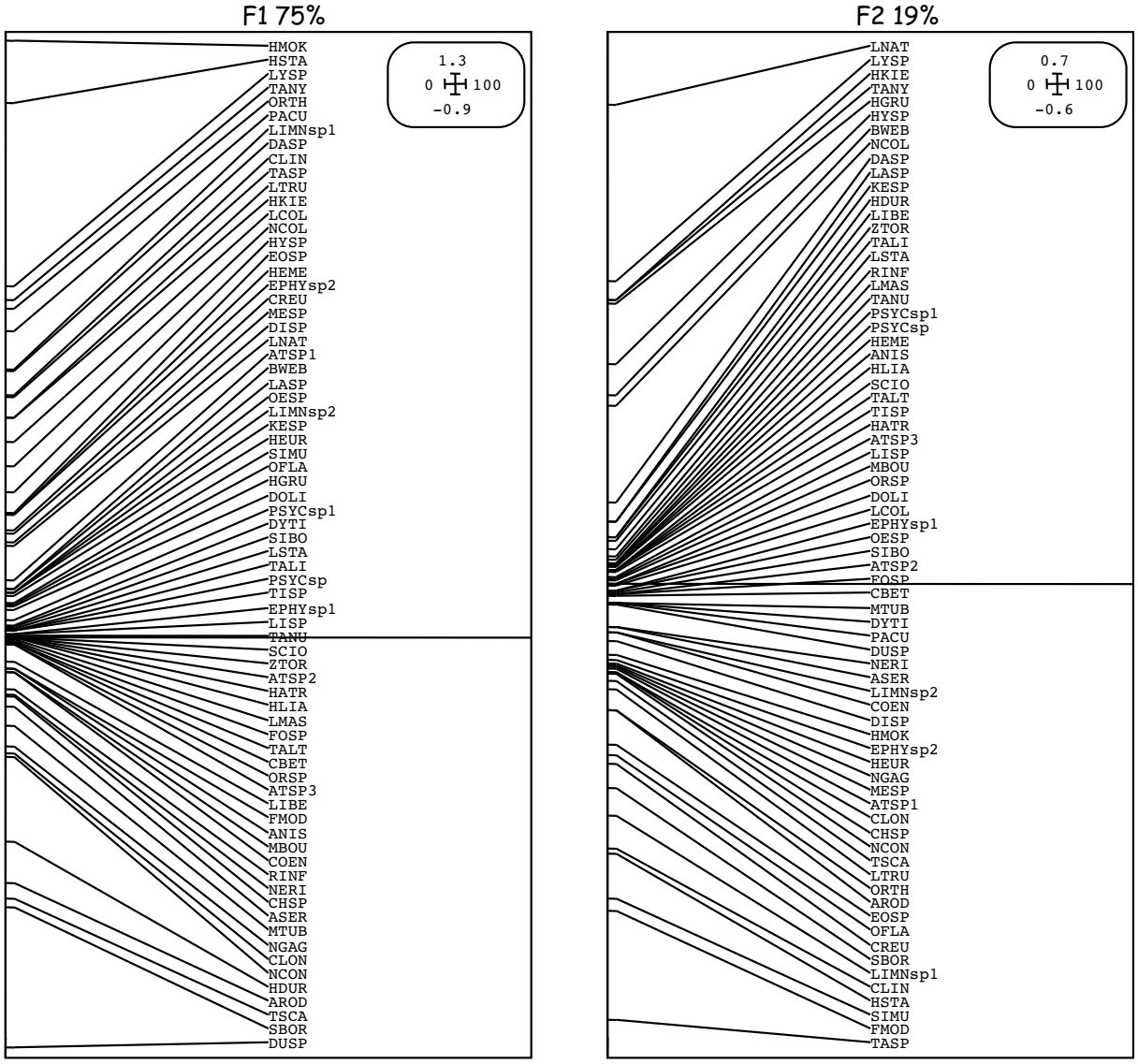
2009

	E/C/O/F			Taxon	Code	BEN	CIL1	CIL2	EST	FJA1	FJA2	GAL1	GAL2	GAL3	GAL4	LAN1	LAN2	LAN3	LAN4	LIA	MAR2	MAR3	MAR4	MAT1	MAT2	MAT3	MAT4	PAN2	PLA1	PLA2	PLA3	PLU1	PLU2	PLU3	REM	ROC1	ROC2	ROC3	SDE1	SDE2	SDE3	SET	SGI	SJE1	SJE2	SSU1	SSU2	Total
Plathelminthes	Turbellari	Tricladid	Dugesiida	*Dugesia* sp.	DUSP					1	21			1				16	46		1	43	16		3	2	1	6	2				262	137	3	11	41	17	31	18	81	1	10	36	81	50	61	999
Annelida	Hirudinea	Arhynch	Salifidae	*Barbronia weberi*	BWEB		40	1		24	9				26				2	10					13	2			3			1	15			6			1			1	1			3		158
		Rhyncho	Glossipho	*Helobdella europaea*	HEUR																												2													23		25
	Oligochaeta			Oligochaeta	OLIG	389	11	8		859	23	146	2	5	414	11	1	3	1	172	92	17	43	210	16	162	62	24	100	8	15	215	1597	191	3	64	83	109	7	9	2427	2	80	76	566	4	64	8291
	Polychaeta			Polychaeta	POLY																																								1			1
Mollusca	Gastropo	Neritops	Neritidae	*Clithon longispina*	CLON																		23					3										4										30
				Neritilia consimilis	NCON																		8															458										466
				Neritina gagates	NGAG																																	18			9		5		2			34
				Septaria borbonica	SBOR																		56											3	3			133			13		5		2			215
				Neritidae	NERI																																	49										49
		Pulmona	Ferrissiida	*Ferrissia modesta*	FMOD	2					1	1				8		1		53	25	18				7	3	3	17			1	5	1		4	7					83	3	327	21		591
			Lymnaeid	*Lymnaea columella*	LCOL	72		2		10	43		1					26	8	118		11	1		31	7			85		4	4	8	3	6	3			70	1		6		8		290		818
				Lymnaea natalensis	LNAT	2	3	35		27	42			20	460									1	36	8			81	1		2	16	8		19			3			13	1		2			780
				Lymnaea truncatula	LTRU	719		1		338	211	17									2		1	3	14	7																						1313
				Lymnaea spp.	LYSP	1139	8	176		252	167	9		50	1515	1	1	4	22	212	2	20	2	20	75	106	1		290	2	22	23	141	23	23	37	23		119			15		76	3	159	2	4740
		Physidae		*Physella acuta*	PACU	583	137	2558		273	221	317	82	74	177	119	14	21	28	229	58	38	3	48	207	675	24		473	4	8	58	421	724	12	70	4	2	16	49	17	183	22	127	96	199	122	8493
		Planorbid		*Afrogyrus rodriguezensis*	AROD					34	73	2							18			31	23			1		32	120		1		4				15		305	8			5	34	348	7	17	1078
				Helisoma duryi	HDUR		1	1			1			1				22	15			81	1		1								3	2						181	12								322
		Sorbeoc	Thiaridae	*Melanoides tuberculata*	MTUB																							2					6		1			3							1		11	24
				Thiara scabra	TSCA																							13				2	24					9		4	22		43		109		105	331
				Mollusca	MOLL	430	16	374		153	115	24	2	4	117	25	6	44	31	506	29	115	25	1	54	34	5	2	179	4	8	38	226	105	5	26	28	26	327	77	33	77	10	83	150	749	26	4289
Arthropoda	Arachnid	Acarina		Hydracarina	ACAR	113				3											41		3						35	1		1				2	13	10	8	1	71			29	91	27	16	465
	Crustacea	Amphipo	Talitridae	Talitridae	TALI																											1											7					8
		Decapoc	Atyidae	*Atyoida serrata*	ASER														6								8						4				3	2				1	4		3			31
			Grapsidae	*Varuna litterata*	VLIT																		1																									1
	Insecta	Coleopte	Dryopidae	Dryopidae	DRYO														1																													1
				Dytiscidae	DYTI							1																																					1
					DYTIa							1																																					1
			Gyrinidae	*Dineutus* sp.	DISP	4		1		1			10		1					1									1										4								1		24
				Sicilicula borbonica	SIBOa							2																																					2
				Hydraenidae	HYDRA																												1																1
			Hydrophil	*Laccobius mascarensis*	LMASa										1																																		1
				Laccobius starmuehlneri	LSTAa		1							2	1																																		4
				Laccobius spp.	LASP	1	2	12		1			3		78																1										2								100
		Diptera	Ceratopo	*Atrichopogon* sp1	ATSP1	3						3								21	3					1		1										1										33
				Atrichopogon sp2	ATSP2	1												1																		1													3
				Atrichopogon sp3	ATSP3																															1													1
				Atrichopogon spp.	ATSP	1																																											1
				Dasyhelea sp.	DASP	6	39	530		3246	2	23	4	3	54	2	2	2	1	3	17		1	9	4	2			8	3	6	160	85	1	1	1	1			4	4		3		1	7	1	4236
				Kempia sp.	KESP	1		1					9												6	5	1				5					1								1				30
			Chironom	Chironomini	CHSP	1	2						2	3	33						241							9				1	13			3	50	2			4			628	1		993
				Stenochironomus spp.	STSP																							1									2	3	1	1			3	11				22
				Orthocladiinae	ORTH	991	14169	2188	67	3996	156	5059	4348	1358	1375	1665	2339	752	408	1174	5862	1011	32	982	307	471	3333	72	3750	1771	2263	2737	1929	322	113	126	472	47	440	285	84	287	198	24	1374	423	27	68787
				Tanypodinae	TANY		368	6	9	1			148	44	77									40	1		1		31	57	91	3																877
				Tanytarsini	TASP	91	278	20	1	6	4	553	403	90	812	154	24	34	6	189	185	139	15	485	12	50	15	21	121	51	168	2	1		7	20	97	85	20	23	44	2	100	24	6	46	7	4411
				Culicidae	CULI																																							1					1
			Dolichopo	Dolichopodidae	DOLI		1						1											2							1	1																	6
			Empidida	Clinocerinae	CLIN	18				1			1			13	75	11		2	11			7					16											1							1		157
				Hemerodromiinae	HEME	26						77				10	12	78	2	1	1	1						1	14	3	2	12	7			1	2		13	13	1			2		2		281
			Ephydrida	Ephydridae sp1	EPHYsp1					1			1																																			2
				Ephydridae sp2	EPHYsp2		2	4		2		2	12	1	2									6	1									1															33
				Metalimnobia sp.	MESP		3			17		5	2			2				1	2			1	1				1																		2		37
			Muscidae	*Limnophora* sp1	LIMNsp1	1				122		139	28			5	9	2		1	3			2	2	1			1		1	5	4											1				327
				Limnophora sp2	LIMNsp2	1	1			6		1	1	1		2									1	2							2																18
			Psychodi	*Clogmia albipunctata*	CALB																																							1					1
				Psychoda spp.	PSYCsp																																							8					8
				Psychodidae sp1	PSYCsp1		1																						1		1	4	1																8
				Tinearia alternata	TALT																				1																			3					4
			Sciomyzi	Sciomyzidae	SCIO					1											1												1					1	11					1					16
			Simuliidae	Simuliidae	SIMU	122	958	3006	1	740	1	739	770	94	174	235	58	1	5	26	25	145	42	60	50	39	306	209	2	83	159	139	11	215	22	31	134	91	3	8	33	123	171	16	135	74	8	9264
			Tipulidae	*Nephrotoma* spp.	NESP																																							1					1
				Tipula spp.	TISP																				1	1																		2					4
				Diptera	DIPT																														5														5
					DIPTn	139	518	1429	5	634	37	640	301	159	228	216	107	102	40	144	350	105	21	131	100	71	382	50	195	130	129	215	165	132	78	10	51	23	46	52	12	133	66	21	88	56	4	7515
		Epheme	Baetidae	*Nigrobaetis colonus*	NCOL		11		1		3									14	1			2		1	1		1	44	237									2		4						322
		Heterop	Corixidae	Corixidae	CORI								1							2																													3
			Veliidae	*Microvelia bourbonensis*	MBOU						1				1			1										3												1	4		2	2				1	16
				Rhagovelia infernalis	RINF																																		1			2	1					2	6
		Lepidop	Crambida	*Eoophyla* sp.	EOSP											1	12	2		13	44							3	5										2	1						8		91
					EOSPn	1														5	23								2																	1		32
		Odonata	Aeschnid	*Anax imperator*	AIMP																								1																			1
		Odonata		Aeschnidae	AESC																								1															1				2
				Trithemis annulata haematina	TANU																															1							1	1					3
				Zygonix torridus	ZTOR										1										3											1													5
				Libellulidae	LIBE																		2					1	1							2									4		1	3	14
				Anisoptera	ANIS										1													1					2	2								1		2				1	10
		Coenagri		*Coenagriocnemis reuniense*	CREU	5						5				5				17									1																		4		37
				Coenagrionidae	COEN							1																													1				1				3
		Trichopt	Hydropsy	*Hydropsyche mokaensis*	HMOK	294	1077	29	49	1134	501	106	996	974	103	438	730	756	658	902	625	30		385	32	186	336		1300	821	954	8	33	87	40	33	18	22	406	383	3	31	111	2		67	2	14662
				HMOKn	29	122	7	5	141	31	73	137	124	17	35	38	22	15	51	71	6		49		4	29		86	21	46	3	5	18	1	1	1		14	11			3					1216
		Hydroptil		*Hydroptila gruchetí*	HGRU	33	271	236		196	2	52	2	59	2342	7	61	16	3	43	73	5	8	17	56	177	37	1	68	5	3	255	347	197	2	4	20	10	4	6	68	8	12	2	223	2	17	4950
				HGRUn	31	14	368		122		39		29	1927	6	25	3	1	67	46	1	3	5	34	31	21		43	10	3	180	319	175		11	4	3	5	7	63	11	5	3	53	1	30	3699
				Hydroptila kieneri	HKIE	76			2	1				4				90			1								753	712	2457						4		19	1								4119
					HKIEn	14								7			10	234	3										1202	505	657	2							21	6								2661
				Hydroptila spp.	HYSP	55	259	11		12		22	1	15	276	11	152	3		2	5			1	2	66	11	1	62	16	20	8	28	22			2	3	3		14	1		1	55	3	1	1144
				HYSPn																												6															1	7
				Hydroptila starmüehlneri	HSTA	357						155				127	1062	78		2	7			1	3				121	22	38															86		2059
				HSTAn	184							216				128	456	54			1			1					130	16	16															47		1249
				Oxyethira flagellata	OFLA	9														23									16												1				1	34	1		85
				OFLAn	4															2									2															4	13	2		27
			Leptoceri	*Oecetis* sp.	OESP	2							4																			3																	9
			Philopota	*Chimarra bettinae*	CBET															1																			2										3
					Total	5950	18313	11004	140	12354	1665	8430	7272	3122	10213	3226	5194	2379	1320	4007	7848	1817	330	2469	1067	2119	4577	459	9321	4290	7316	4088	5655	2404	326	489	1075	1132	1901	1153	3022	903	947	617	4393	2368	529	167204

2010

E/C/O/F				Taxon	Code	BEN	CIL1	CIL2	EST	FJA1	FJA2	GAL1	GAL2	GAL3	GAL4	LAN1	LAN2	LAN3	LAN4	LIA	MAR2	MAR3	MAR4	MAT1	MAT2	MAT3	MAT4	PAN2	PLA1	PLA2	PLA3	PLU1	PLU2	PLU3	REM	ROC1	ROC2	ROC3	SDE1	SDE2	SDE3	SET	SGI	SJE1	SJE2	SSU1	SSU2	Total
Plathelm	Turbella	Tricladi	Dugesiidae	*Dugesia* sp.	DUSP			1		3			1	15				32	260	27	3	37	50		5	1	1	32	6				11	5		24	29	68	95	32	34	1	2	31	24	48	79	957
Annelida	Hirudine	Arhync	Salifidae	*Barbronia weberi*	BWEB		1			21	7			2	2			1	3	2	1			1	17	5			9	1			24		1	9	4					10		2		1		124
		Rhynch	Glossiphoniidae	*Helobdella europaea*	HEUR														2																											24		26
	Oligochaeta			Oligochaeta	OLIG	25	13	12	2	28	144	1588	4	2	3096	211		13	17	91	36	4	31	289	1362	10	69	45	39	15	32	5	4639	278	17	82	51	11	36	8	349	60	148	92	80	7	82	13123
Mollusca	Gastrop	Neritop	Neritidae	*Clithon longispina*	CLON																	14	53					2									2	27											98
				Neritilia consimilis	NCON																		42					1										100											143
				Neritina gagates	NGAG																																	3					11		4			18
				Septaria borbonica	SBOR																	6	111											5	13		2	62					5					204
				Neritidae	NERI																		7															9										16
		Pulmon	Ferrissiidae	*Ferrissia modesta*	FMOD	15		1	5							55		15		39	30	3			4		4	2	62	1			34		6	5	3					24	219		102	88		717
			Lymnaeidae	*Lymnaea columella*	LCOL	63		14		12	4			2				1		60		22	1		39	1			28	6	6		2	1		2			1	4		1				144		414
				Lymnaea natalensis	LNAT		26	23		18	26			36	52										29	4			7		4		71									1						297
				Lymnaea truncatula	LTRU	4		9		87	23	11									17			4	3	1			1				12																172
				Lymnaea spp.	LYSP	211	45	225		168	77	1		80	208					289	63	52	3	5	140	5	1	2	236	14	144	12	785	35		11			4	13	1	28	1	6	2	875	2	3744
			Physidae	*Physella acuta*	PACU	158	109	657	33	304	180	259	73	258	106	242	21	53	7	302	111	24	30	40	386	162	79		531	7	128	40	930	79	2	26	5	1	2	75	3	140	69	104	25	295	206	6262
			Planorbidae	*Afrogyrus rodriguezensis*	AROD					2	17							12	24			41	114		6	1		189	111		24	1		11	2		5	1	221	25		7	27	56	271	11	14	1193
				Helisoma duryi	HDUR		3							3			83	104	57			14	2		1					1									178	259	86	18	6		2			817
		Sorbeo	Thiaridae	*Melanoides tuberculata*	MTUB																																					1		3		1	5
				Thiara scabra	TSCA																												1	1						3	3		52		185		24	269
				Mollusca	MOLL	122	3	114	4	112	26	27	3	1	42	30	27	38	8	656	55	126	46	2	86	40	7	43	377	6	66	9	300	18	2	12			72	102	8	44	76	84	54	1321	36	4205
Arthropo	Arachni	Acarina		Hydracarina	ACAR	5			2	2		121		1		36	1	7	2	9	5	4	1	2		1	1		20		3	2	12	2	2	1	1		7	1	1		3	35	63	27	15	395
	Crustac	Amphip	Talitridae	Talitridae	TALI																					1											1			1								3
		Decapo	Atyidae	*Atyoida serrata*	ASER												1																		1													2
	Insecta	Coleop	Dytiscidae	*Bidessus* sp.	BISPa																							1																				1
			Gyrinidae	*Dineutus* sp.	DISP	4		1		1			10		3					1									2							1					1								24
				Sicilicula borbonica	SIBOa					1																																							1
			Hydrophilidae	*Laccobius mascarensis*	LMASa			1					1		2												1																						5
				Laccobius starmuehlneri	LSTAa									2																																			2
				Laccobius spp.	LASP		5	1					12	8	30									1								1		1	2								4						65
					LASPa																										1																		1
		Diptera	Ceratopogonidae	*Atrichopogon* sp1	ATSP1							1				2				7	4							3								1				1							1		20
				Atrichopogon sp2	ATSP2																												3						1										4
				Atrichopogon sp3	ATSP3																												3	1															4
				Dasyhelea sp.	DASP		13	12		51		90	25	3	134	12	8	1		7	8	4		8	4	1		5	4	10	137	55	185	49		3	2		1	2	3	3	5	6		2	1	854
				Kempia sp.	KESP								3												2				1		3													4			1	14
			Chironomidae	Chironomini	CHSP		5					5			983	1					98					2		164		5	1	1	5	8			18	1				1		1	3	2105	2		3409
				Stenochironomus spp.	STSP															2									7							5	1	1						7	7		1		31
				Orthocladiinae	ORTH	1639	6782	943	189	2236	263	8490	5857	950	6386	2569	1506	705	318	1050	5674	1084	85	1220	541	290	1067	277	2925	1955	1251	2862	3948	538	754	768	392	106	758	327	745	626	460	463	1057	843	122	71021
				Tanypodinae	TANY		189	22	33	3	1	4	379	35	18					2	1			46					24	89	68	158																	1072
				Tanytarsini	TASP	102	54	3	1	3	9	1794	1641	11	1715	190	14	10	2	208	178	493	90	100	1	6	11	58	249	227	221	70	10	358	49	315	116	72	101	46	22	10	386	556	59	78	67	9706
			Culicidae	*Anopheles coustani*	ACOU																							1																				1
			Dolichopodidae	Dolichopodidae	DOLI		1						2		4																																	7
			Empididae	Clinocerinae	CLIN	23				1		7				18	17	5		13	5			6					4			7																	106
				Hemerodromiinae	HEME	14						19				5	14	90			2	1						3	16	5	6	13	20		1		7		12	1				3					232
			Ephydridae	Ephydridae sp1	EPHYsp1										1																																		1
				Ephydridae sp2	EPHYsp2							10	24	1	12									1				1				1																	50
			Limoniidae	Eriopterini	ERIO								1																		2																		3
				Metalimnobia sp.	MESP					1		13	1	1		2	1																1											1					21
			Muscidae	*Limnophora* sp1	LIMNsp1					15		85	43		1	3	4	1		2				2						10	2	11	6																185
				Limnophora sp2	LIMNsp2					2		12												1		1		2			1		3					1		1									24
				Lispe sp.	LISP					1																																							1
				Psychoda spp.	PSYCsp																												1											1					2
				Psychodidae sp1	PSYCsp1																							1		2		1	1																5
				Tinearia alternata	TALT																											1		1									1					3
			Sciomyzidae	Sciomyzidae	SCIO																																		1									1
			Simuliidae	Simuliidae	SIMU	310	113	111	17	155		572	676	29	520	187	17		44	47	29	120	28	57	1	2	86	258		43	278	213	86	110	78	209	12	378	26	40	667	486	132	185	80	44	13	6459
				Tipula spp.	TISP																1								1											1									3
				Diptera	DIPTn	222	286	129	21	99	39	599	506	78	585	236	80	143	11	155	383	178	23	108	203	61	103	121	183	216	173	116	536	353	106	61	72	55	52	60	152	152	109	89	89	73	9	7025
	Ephem	Baetidae		*Nigrobaetis colonus*	NCOL		1	4	37		15									32	4			1	1				19	59	50	18				5				5		1						252
		Veliidae		*Microvelia bourbonensis*	MBOU	5								1				5				1						9	7					1						1			5	1		1	6	43
				Rhagovelia infernalis	RINF													2										3							1								6		1		4	17
				Veliidae	VELI									1																																			1
	Lepidop	Crambidae		*Eoophyla* sp.	EOSP	2										1	6	5		3	65		1						9										4					1	9			106
					EOSPn	1											2	2			48								2							1									2	4	1	63
	Odonat	Aeschnidae		*Anax imperator*	AIMP																								1																				1
		Corduliidae		*Hemicordulia atrovirens*	HATR															1																													1
		Libellulidae		*Orthetrum* spp.	ORSP																																						3					3
				Trithemis annulata haematina	TANU													3																					2										5
				Zygonix torridus	ZTOR			3																					1		5	1			1							2		1					14
				Libellulidae	LIBE																								6							1					5		3	2			2	19
				Anisoptera	ANIS																							1															4		1		3	9
			Coenagrionidae	*Coenagrionemis reuniense*	CREU	6						4				2				14									2																	3		31
				Coenagrionidae	COEN																																						1		4			5
	Trichop	Hydropsychidae		*Hydropsyche mokaensis*	HMOK	1373	828	417	184	909	455	164	654	917	231	391	429	722	628	561	859	119		982	25	81	240	1	1098	1061	587	694	10	9	62	323	3		219	426	2	46		17		120	2	15849
				HMOKn	81	124	22	9	178	27	82	71	86	44	46	27	43	26	36	160	23		63	3	8	5		83	84	37	55	1		3	7			8	24		5				10		1481
		Hydroptilidae		*Hydroptila grucheti*	HGRU	25	74	420	9	19	8	4		31	198	31	14	9		15	67	3	19	15	190	14	7	89	56	20	110	129	4524	134	37	32	22	5	8	13	738	95	128	13	20	9	15	7369
				HGRUn	11	6	715	15	6	4	1	1	1	94	16	9	11		6	33	1	1		75	10	15	18	57	4	81	11	2735	23	7	11	10	3	3	9	382	20	68		8	9	18	4508
				Hydroptila kieneri	HKIE	6			1		1						3	49				10							491	1183	1535	39							2	13								3333
				HKIEn	2			1									11	79				2							1252	669	946	111							4	7								3084
				Hydroptila spp.	HYSP	6	34	26	6	4	4	18			35	12	103	8	1	3	2	1		4	39		18	4	130	61	68	14	361	15		3	2	1	17		61	2	6	14	8	1	4	1096
				Hydroptila starmüehlneri	HSTA	37						107				41	641	82			1			3	1	2			53	25	12								1			5				10		1006
				HSTAn	76							124				49	229	14			1			1					46	9	3	1							1						1	53		608
				Oxyethira flagellata	OFLA	1										10				2								1	1												3				59	3		80
				OFLAn												5				4	2																								23	5		39
			Leptoceridae	*Oecetis* sp.	OESP								3																			6																	9
					OESPn																											2																	2
					LEPTn								1																																				1
			Philopotamidae	*Chimarra bettinae*	CBET															1																													1
					Total	4549	8715	3886	569	4442	1330	14212	9992	2555	14502	4403	3268	2265	1410	3647	7946	2387	738	2962	3164	710	1715	1337	8157	5788	5986	4659	19261	2037	1145	1918	760	905	1837	1501	3266	1786	1945	1777	4332	4112	727	172603

Annexe 11 : Position des taxons sur l'axe F1 et F2 de l'ACP inter-altitudes. Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives ; en dessous, elles sont négatives.



Annexe 12 : Historique de la typologie des cours d'eau de l'île de la Réunion.

Hydro-écorégions et typologie des cours d'eau de la Réunion

En 2004, le Cemagref (Wasson *et al*., 2004) a défini 6 types de cours d'eau dans 6 hydro-écorégions de l'île de la Réunion (Tableaux 1 & 2). Cette typologie repose essentiellement sur la géologie, le relief et la pluviométrie. L'état des lieux du district hydrographique de la Réunion (2005) reprend cette typologie (Figure 1). A noter que Wasson *et al*. ne comptent pas de type dans l'hydro-ecorégions « versants sud-ouest secs » alors que la Ravine St Gilles est une ravine pérenne (Tableau 1).

Tableau 1 : Propositions d'hydro-écorégions et de types de cours d'eau de l'île de la Réunion d'après Wasson et al. (2004). Cf. Tableau 2 pour une description des hydro-écorégions.

	Types de cours d'eau de l'île de La Réunion			
Hydro-écorégions	Bassins de réception (cirque)	Couloir de transit (canyons)	Cours d'eau de versant	Nombre de types
Cirque sud et est au vent	x	x		2
Cirque sud ouest sous le vent	x	x		2
Versants au vent			x	1
Versants nord intermédiaires			x	1
Versants sud-ouest secs				0 ? Ravine St Gilles
Formations volcaniques récentes				0
			Total	6

Tableau 2 : Hydroécorégions définies par Wasson et al. (2004).

1. Versants sud-ouest secs
Versants orientés au Sud Ouest, dissociés en deux unités (piton des Neiges et piton de la Fournaise). Réseau hydrographique composé de ravines à écoulement non permanent (excepté la partie aval de la ravine St Gilles, qui est une résurgence).

2. Cirques sud-ouest sous le vent
Structure de réseau hydrographique ramifié se rassemblant sur un axe principal, au niveau des cirques du piton des Neiges, situés au Sud-ouest (Mafate, Cilaos), nettement moins arrosés que leurs homologues du Nord-Est.

3. Versants Nord intermédiaires
Ces versants, moins arrosés, présentent des caractéristiques de réseau hydrographique proche des versants au vent, mais les débits observés sont moins élevés.

4. Cirques sud et est au vent
Il s'agit des bassins dont les axes d'écoulement se rassemblent dans les cirques volcaniques des deux pitons situés dans la partie la plus arrosée de l'île (précipitation annuelle supérieure à 4 m).

5. Versants au vent
Versants Nord-est, arrosés (plus de 5 m/an) dont les cours d'eau présentent des bassins versants allongés et aux tracés relativement parallèles.

6. Formations volcaniques récentes
Versant Sud Est du piton de la Fournaise dont les matériaux géologiques très filtrants et régulièrement remaniés ne laissent subsister qu'un faible ruissellement non permanent sans réseau hydrographique organisé malgré des précipitations extrêmement abondantes (valeurs maximales observées).

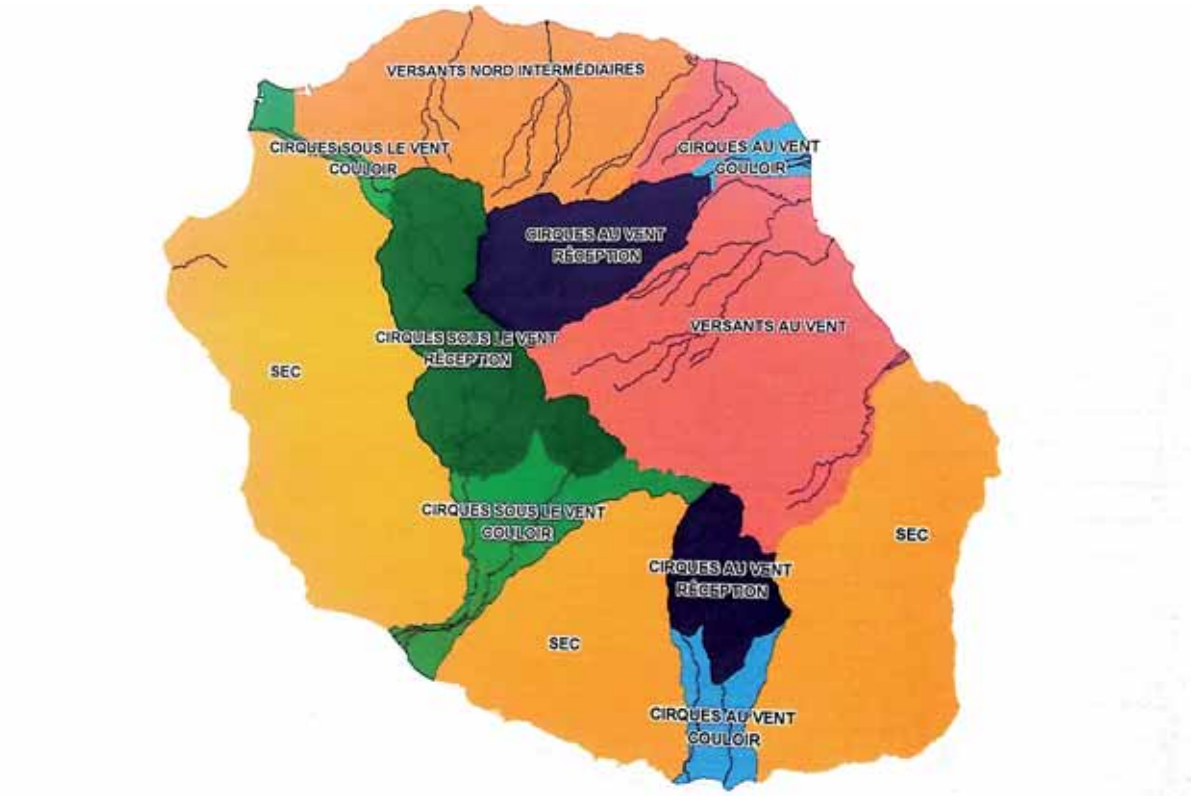


Figure 1 : Typologie des cours d'eau de l'île de la Réunion selon Wasson et al. (2004)

Ce travail a été traduit dans la circulaire DCE 2005/11 dans laquelle on retrouve bien 6 types de cours d'eau mais uniquement 4 hydro-écorégions (Tableau 3). La disparition de l'hydro-écorégion "versants nord intermédiaires" n'est pas justifiée dans la circulaire. De plus, à priori les "versants sous le vent" correspondraient aux "Versants sud-ouest secs" de Wasson *et al*. (2004).

Tableau 3 : Typologie nationale des eaux de surface REUNION d'après Circulaire DCE 2005/11 du 29/04/05. Avec : M : cours d'eau moyens (aval); P : petit cours d'eau (amont); MP : cours d'eau de taille indifférenciée; 1er chiffre : 6 pour la Réunion; 2ème chiffre : n° de l'hydro-écorégion.

	Types Réunion et codification	
	Zonation longitudinale	
Hydro-écorégions	Aval	Amont
Cirques au vent	M61	P61
Cirques sous le vent	M62	P62
Versants au vent	MP63	
Versants sous le vent	MP64	

Cette typologie a ensuite été reprise dans l'arrêté du 12 janvier 2010 (JO du 2 février 2010) elle représente donc la typologie adoptée pour la Réunion (Tableau 4).

Tableau 4 : Typologie des masses d'eau « Cours d'eau » du bassin Réunion –Arrêté 12/01/10.

d'après arrêté 12/01/10 délimitation ME			
		Types de masses d'eau cours d'eau	
Hydroécorégion entre ( ) autre dénomination	**n° HER**	**Code mnémonique du type**	**Libellé du type**
Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	1	P61	Petits cours d'eau des cirques au vent à la Réunion
		M61	Cours d'eau moyens des cirques au vent à la Réunion
Cirques sous le vent (Cirques sud ouest sous le vent)	2	P62	Petits cours d'eau des cirques sous le vent à la Réunion
		M62	Cours d'eau moyens des cirques sous le vent à la Réunion
Versants au vent	3	MP63	Cours d'eau des versants au vent à la Réunion
Versants sous le vent (Versants sud-ouest secs)	4	MP64	Cours d'eau des versants sous le vent à la Réunion

On peut s'interroger sur deux points :

- La justification et le sens du regroupement des deux hydro-écorégions décrites par Wasson *et al.* (2004), n°3 : versants nord intermédiaires et n°5 : versants au vent en une seule hydro-écorégion n°3 versants au vent.
- La justification et le sens du classement des rivières des Remparts et Langevin dans l'hydro-écorégion n°1 de l'arrêté de 2010 « cirques au vents », les têtes de bassin de ces deux rivières ne se trouvant pas dans une zone de cirques.

Masses d'eau des cours d'eau de la Réunion

Le découpage en masses d'eau (ME) « cours d'eau » de la Réunion est basé sur 1) la typologie proposée par Wasson *et al*. (2004) et 2) en plus, pour les cours d'eau principaux issus des cirques, de l'ordre de Strahler. Ainsi les affluents majeurs de ces cours d'eau ont pu être distingués. Ce découpage a permis de délimiter 24 masses d'eau « cours d'eau » d'une longueur de 4 à 30 km (Figure 2 et Tableau 5).

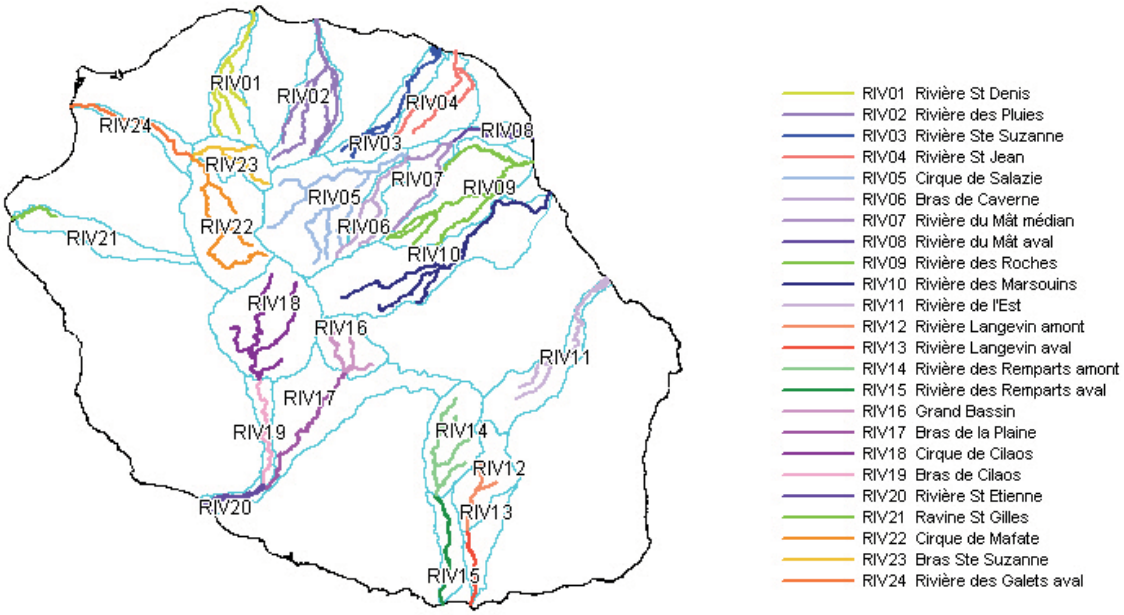


Figure 2 : Masses d'eau « cours d'eau » de l'île de la Réunion. D'après l'état des lieux du district hydrographique de la Réunion, 2005.

Tableau 5 : Caractéristiques des 24 masses d'eau « cours d'eau » de l'île de la Réunion. D'après l'état des lieux du district hydrographique de la Réunion, 2005.

N° MASSE D'EAU	NOM	TYPE	Surface du bassin versant (ha)	Longueur Bras Principal (km)
RIV01	Rivière St Denis	versants nord intermédiaires	3 085	15.9
RIV02	Rivière des Pluies	versants nord intermédiaires	4 595	23.3
RIV03	Rivière Ste Suzanne	versants nord intermédiaires	3 032	19.6
RIV04	Rivière St Jean	versants au vent	4 331	14.9
RIV05	R. du Mât amont (cirque Salazie)	cirques au vent - réception	9 326	20.8
RIV06	Bras de Caverne	cirques au vent - réception	2 112	14.3
RIV07	R. du Mat – médian + Bras des Lianes	cirques au vent - couloir	2 846	5.4
RIV08	Rivière du Mat - aval	cirques au vent - couloir	1 276	8.7
RIV09	Rivière des Roches	versants au vent	6 915	18.1
RIV10	Rivière des Marsouins	versants au vent	10 952	30.6
RIV11	Rivière de l'Est	versants au vent	4 328	20.2
RIV12	Rivière Langevin amont	cirques au vent - réception	3 415	4.3
RIV13	Rivière Langevin aval	cirques au vent - couloir	2 103	8.1
RIV14	Rivière des Remparts amont	cirques au vent - réception	4 368	12.3
RIV15	Rivière des Remparts aval	cirques au vent - couloir	2 200	14.3
RIV16	Grand Bassin	cirques sous le vent - réception	2 728	5.2
RIV17	Bras de la Plaine	cirques sous le vent - couloir	7 758	20.9
RIV18	Bras de Cilaos amont (cirque)	cirques sous le vent - réception	8 512	3.8
RIV19	Bras de Cilaos	cirques sous le vent - couloir	1 531	16.8
RIV20	Rivière St Etienne	cirques sous le vent - couloir	804	5.8
RIV21	Ravine St Gilles	sec	3 153	5.1
RIV22	Cirque de Mafate	cirques sous le vent - réception	7 267	21.3
RIV23	Bras Ste Suzanne	cirques sous le vent - réception	2 332	9.9
RIV24	Rivière des Galets aval	cirques sous le vent - couloir	1 567	15.4

Références :

DEAL, Février 2005. L'état des lieux du district hydrographique de la Réunion. Caractérisation du district, 211 pp.

Wasson JG, Chandesris A. et Pella H., Janvier 2004, rapport CEMAGREF « Hydro-écorégions de la Réunion : propositions de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre ».

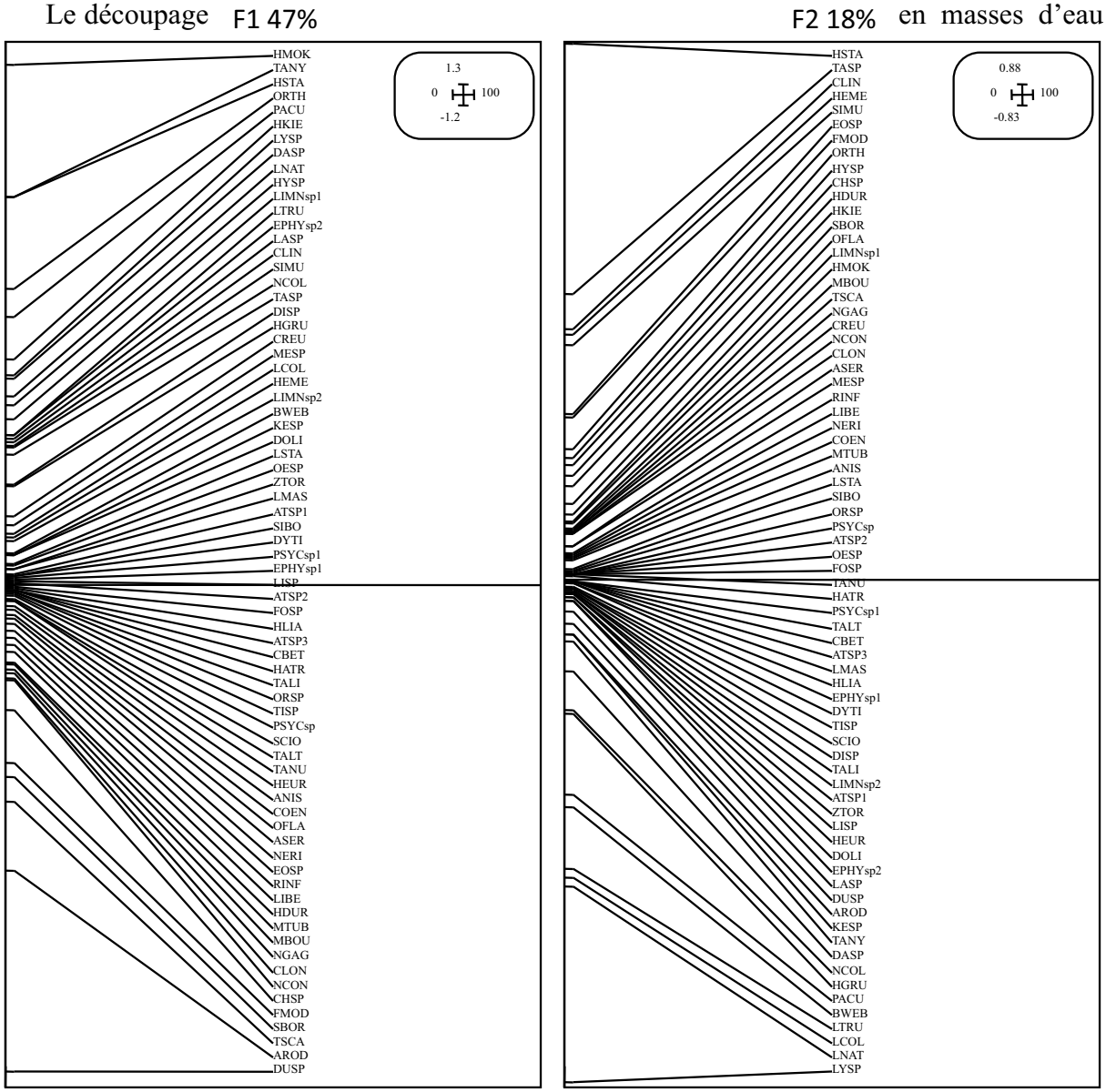
Circulaire DCE n° 2005-11 du 29/04/05 relative à la typologie nationale des eaux de surface (cours d'eau, plans d'eau, eau de transition et eaux côtières) en application de la directive 2000/60/DCE du 23 octobre 2000 du Parlement et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement**.** JORF n°0027 du 2 février 2010 page 1953 texte n° 2.

<u>Annexe 13</u> : Situation des 43 stations « macroinvertébrés » dans la typologie des cours d'eau de l'île de la Réunion.

BASSIN-VERSANT	RIVIERE	2008-2010	Code Sandre	Altitude	Lieu	Intitulé Hydroécorégion	Code Hydro-écorégion	CodeME	Intitulé Masse d'Eau
Rivière St-Denis	Rivière St-Denis	**SDE1**	10320310	260	Ilet à Guillaume	Versants au vent (nord intermédiaires)	MP63	FRLR01	Rivière Saint-Denis
	Rivière St-Denis	**SDE2**	10320350	70	En amont du captage AEP	Versants au vent (nord intermédiaires)	MP63	FRLR01	Rivière Saint-Denis
	Rivière St-Denis	**SDE3**	10320380	20	Bas de la Rivière	Versants au vent (nord intermédiaires)	MP63	FRLR01	Rivière Saint-Denis
Rivière des Pluies	Rivière des Pluies	**PLU1**	10310812	385	Amont tunnel	Versants au vent (nord intermédiaires)	MP63	FRLR02	Rivière des Pluies
	Rivière des Pluies	**PLU2**	10310830	140	Ilet Quinquina	Versants au vent (nord intermédiaires)	MP63	FRLR02	Rivière des Pluies
	Rivière des Pluies	**PLU3**	10310890	25	Embouchure/Gillot	Versants au vent (nord intermédiaires)	MP63	FRLR02	Rivière des Pluies
Rivière Ste-Suzanne	Rivière Ste-Suzanne	**SSU1**	10300215	730	Amont pont route des hauts	Versants au vent (nord intermédiaires)	MP63	FRLR03	Rivière Sainte-Suzanne
	Rivière Ste-Suzanne	**SSU2**	10300240	150	Amont cascade Niagara	Versants au vent (nord intermédiaires)	MP63	FRLR03	Rivière Sainte-Suzanne
Grande Riviere St-Jean	Grande Riviere St-Jean	**SJE1**	10300110	312	Bras des chevrettes	Versants au vent	MP63	FRLR04	Rivière Saint-Jean
	Grande Riviere St-Jean	**SJE2**	10300180	6	Quartier français	Versants au vent	MP63	FRLR04	Rivière Saint-Jean
Rivière du Mât	Bras des Lianes	**LIA**	10215510	666	Amont captage AEP	Cirques au vent (réception)	P61	FRLR07	Rivière du Mât médian
	Fleurs Jaunes	**FJA1**	10206130	670	Mare à vieille place	Cirques au vent (réception)	P61	FRLR05	Cirque Salazie
	Fleurs Jaunes	**FJA2**	10206180	350	Bois de Pomme	Cirques au vent (réception)	P61	FRLR05	Cirque Salazie
	Rivière du Mât	**MAT1**	10200110	670	Ilet à Vidot	Cirques au vent (réception)	P61	FRLR05	Cirque Salazie
	Rivière du Mât	**MAT2**	10200180	425	Ilet Bananier	Cirques au vent (réception)	P61	FRLR05	Cirque Salazie
	Rivière du Mât	**MAT3**	10200190	250	"Escalier"	Cirques au vent (réception)	P61	FRLR05	Cirque Salazie
	Rivière du Mât	**MAT4**	10220180	30	Embouchure	Cirques au vent (couloir)	M61	FRLR08	Rivière du Mât aval
Rivière des Roches	Rivière des Roches	**ROC1**	10135508	160	Abondance	Versants au vent	MP63	FRLR09	Rivière des Roches
	Rivière des Roches	**ROC2**	10130460	12	Mon désir	Versants au vent	MP63	FRLR09	Rivière des Roches
	Rivière des Roches	**ROC3**	10130480	5	Radier beauvallon	Versants au vent	MP63	FRLR09	Rivière des Roches
	Bras Panon	**PAN2**	10136250	40	Bras pétard	Versants au vent	MP63	FRLR09	Rivière des Roches
Rivière des Marsouins	Rivière des Marsouins	**MAR1**	10120110	1300	Bébourg	Versants au vent	MP63	FRLR10	Rivière des Marsouins
	Rivière des Marsouins	**MAR2**	10120140	560	Takamaka aval	Versants au vent	MP63	FRLR10	Rivière des Marsouins
	Rivière des Marsouins	**MAR3**	10120170	60	Bethléem	Versants au vent	MP63	FRLR10	Rivière des Marsouins
	Rivière des Marsouins	**MAR4**	10120180	5	St Benoît	Versants au vent	MP63	FRLR10	Rivière des Marsouins
Rivière de l'Est	Rivière de l'Est	**EST**	10050180	150	Amont aval pont	Versants au vent	MP63	FRLR11	Rivière de l'Est
Rivière Langevin	Rivière Langevin	**LAN1**	10015225	685	Cap Blanc	Cirques au vent (réception)	P61	FRLR12	Rivière Langevin amont
	Rivière Langevin	**LAN2**	10010140	430	Cascade Grand Galet	Cirques au vent (réception)	P61	FRLR12	Rivière Langevin amont
	Rivière Langevin	**LAN3**	10010150	270	Passerelle	Cirques au vent (couloir)	M61	FRLR13	Rivière Langevin aval
	Rivière Langevin	**LAN4**	10010185	40	Langevin	Cirques au vent (couloir)	M61	FRLR13	Rivière Langevin aval
Rivière des Remparts	Rivière des Remparts	**REM**	10000190	10	L'Abattoir	Cirques au vent (couloir)	M61	FRLR15	Rivière des Remparts aval
Rivière St-Etienne	Bras de Benjoin	**BEN**	10606520	1050	Amont du rejet	Cirques sous le vent (réception)	P62	FRLR18	Cirque de Cilaos
	Grand bras de Cilaos	**CIL1**	10600170	370	Pavillon	Cirques sous le vent (réception)	P62	FRLR18	Cirque de Cilaos
	Grand bras de Cilaos	**CIL2**	10600180	200	Ilet Furcy	Cirques sous le vent (couloir)	M62	FRLR19	Bras de Cilaos
	Bras de Ste Suzanne	**PLA1**	10610210	600	Grand Bassin	Cirques sous le vent (réception)	P62	FRLR16	Grand Bassin
	Bras de la Plaine	**PLA2**	10610240	420	Amont barrage	Cirques sous le vent (couloir)	M62	FRLR17	Bras de la Plaine
	Bras de la Plaine	**PLA3**	10610250	350	Petite ravine	Cirques sous le vent (couloir)	M62	FRLR17	Bras de la Plaine
	Rivière St-Etienne	**SET**	10610160	40	Embouchure Pont RN	Cirques sous le vent (couloir)	M62	FRLR20	Rivière Saint-Etienne
Ravine St-Gilles	Ravine St-Gilles	**SGI**	10510550	40	Verrou	Versants sous le vent (sud-ouest sec)	MP64	FRLR21	Ravine Saint-Gilles
Rivière des Galets	Rivière des Galets	**GAL1**	10400120	1400	Marlat	Cirques sous le vent (réception)	P62	FRLR22	Cirque de Mafate
	Rivière des Galets	**GAL2**	10400140	1200	Trois roches	Cirques sous le vent (réception)	P62	FRLR22	Cirque de Mafate
	Rivière des Galets	**GAL3**	10400180	300	Amont de la prise ILO	Cirques sous le vent (réception)	P62	FRLR22	Cirque de Mafate
	Rivière des Galets	**GAL4**	10410150	120	Ilet malidé	Cirques sous le vent (couloir)	M62	FRLR24	Rivière des Galets aval

<u>Annexe 14</u> : Position des taxons sur l'axe F1 et F2 de l'ACP inter-types (proposition CNRS). Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives ; en dessous, elles sont négatives.



(ME) de la Réunion est basé sur 1) la typologie proposée par Wasson *et al*. (2004) et 2) en plus, pour les cours d'eau principaux issus des cirques, de l'ordre de Strahler. Ainsi, les affluents majeurs de ces cours d'eau ont pu être distingués. Ce découpage a permis de délimiter **24 masses d'eau « cours d'eau »** d'une longueur de 4 à 30 km (Figure 40).

<u>Annexe 15</u> : Détails des résultats de l'ACP inter-ME.

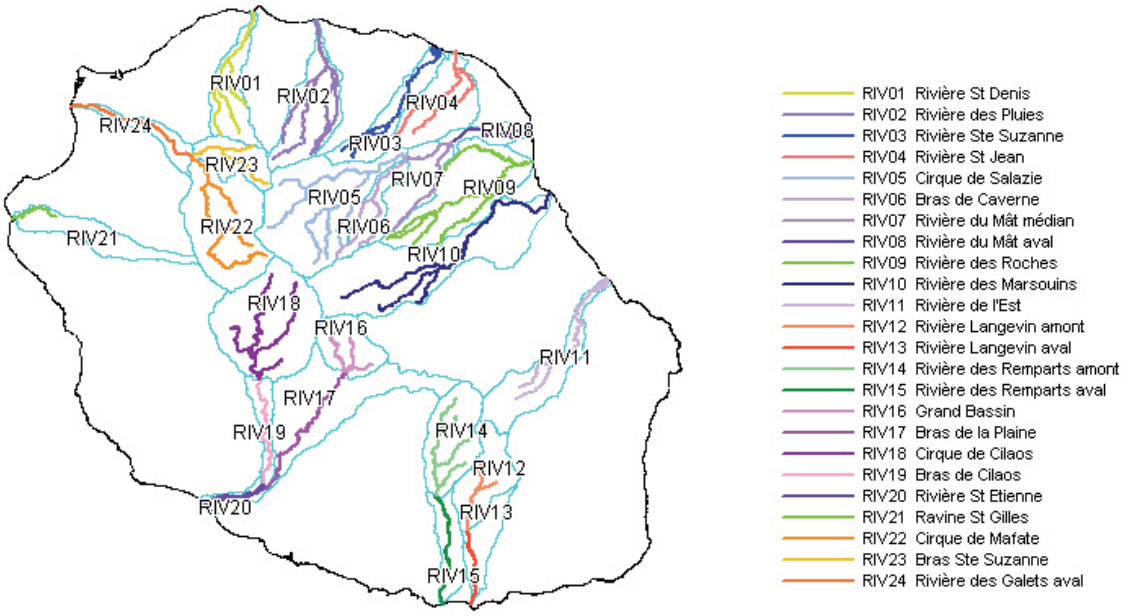


Figure 45 : Masses d'eau « cours d'eau » de l'île de la Réunion. D'après l'état des lieux du district hydrographique de la Réunion, 2005.

Dans les rivières de l'île de la Réunion, les pentes sont souvent très fortes sur des linéaires courts. Ces différences d'altitudes sont probablement, en partie, à l'origine de la variabilité de la composition faunistique observée le long du gradient amont-aval pour la plupart des cours d'eau de l'île. Ce découpage en ME est-il donc légitime d'un point de vue biologique ? Nous avons réalisé une ACP inter-ME pour le vérifier.

L'ACP inter-ME explique un **fort pourcentage (50%) de la variabilité spatiale** du jeu de données. Les tests de permutations montrent que cet effet ME est très significatif. Cette analyse discrimine cinq groupes de ME cours d'eau (Figure 41) :

- **Groupe 1** : ME des petites rivières de basses altitudes de l'Est, plus la Rivière St-Gilles,
- **Groupe 2** : ME des cours d'eau de tête de bassin des trois cirques (BEN, CIL1, GAL 1, 2 et 3 et MAT1),
- **Groupe 3** : ME des cours d'eau de tête de bassin de la Rivière Langevin, de Grand Bassin et du Bras de la Plaine,
- **Groupe 4** : ME Rivière des Galets aval CIL2 et FJA1,
- **Groupe 5** : les ME de LAN aval, SDE 1&2.

- **Groupe 1** : **ME des petites rivières de basses altitudes de l'Est, plus la Rivière St-Gilles**

Elles sont caractérisées par un cortège de taxons composé de Gastéropodes tels que *Afrogyrus rodriguezensis*, *Thiara scabra*, *Ferrissia modesta* et /ou *Septaria borbonica*, des Planaires *Dugesia* sp. et/ou des Diptères Chironomini. Ces ME présentent aussi une relativement faible proportion d'Orthocladiinae (par rapport aux stations à l'opposé sur l'axe F1, Figure 41) et peu ou pas d'*Hydropsyche mokaensis*. Certaines de ces ME présentent une forte variabilité intra-classes due à un gradient amont-aval de la composition faunistique. Par

exemple, la station amont de la Rivière des Roches (ROC1) se démarque des deux autres stations ROC2 et ROC3, plus aval et pourtant appartenant à la même ME (RIV09 Rivière des Roches), par un pourcentage important des taxons *Hydroptila grucheti* (14%), *Lymnaea* spp. (13%) de *Physella acuta* (7%). Les stations plus aval de cette rivière, et notamment ROC3, sont caractérisées par un cortège de Gastéropodes *Neritilia consimilis*, *Septaria borbonica*, Neritidae ou *Clithon longispina* en plus des Diptères Orthocladiinae, Simuliidae ou Tanytarsini. De même, la ME RIV03 (Rivière Ste-Suzanne) montre aussi une forte variabilité spatiale, avec dans la station amont (SSU1) une meilleure représentation des taxons Orthocladiinae, *Hydropsyche mokaensis*, *Lymnaea* spp. (23% contre 2% à SSU2) et de *Lymnaea columella* (10% à l'amont, alors que très rare à SSU2). De plus, *Afrogyrus rodriguezensis* est peu représenté en amont, alors qu'il est bien représenté en aval (0.3% contre 12%).

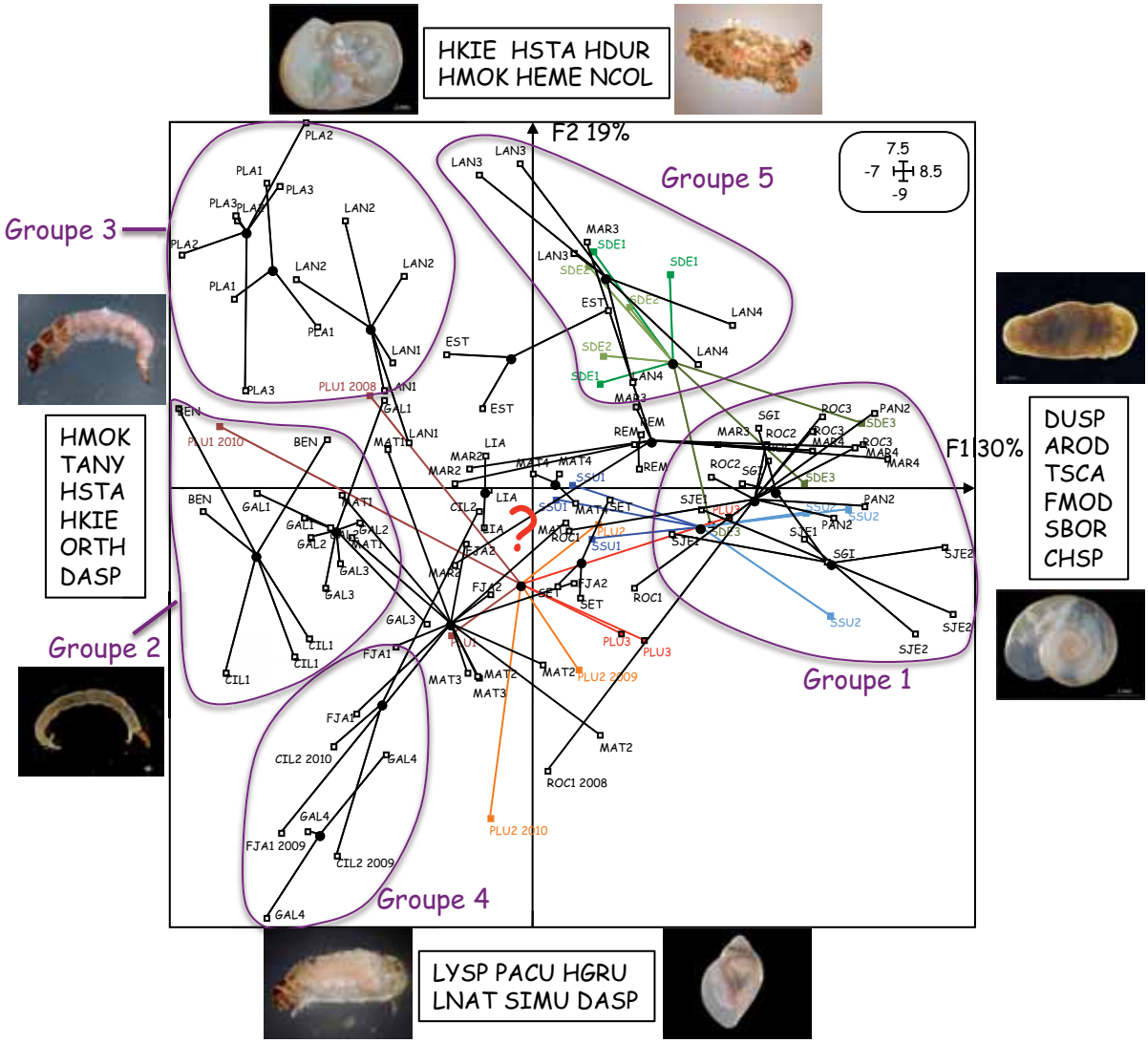


Figure 46 : Position moyenne des 24 masses d'eau cours d'eau des 126 stations-campagnes sur le plan F1-F2 de l'ACP inter-ME. Les taxons les plus structurants sur chacun des axes sont mentionnés (pour les codes, cf. Tableau 2). L'Annexe 16 présente la position des 72 taxons sur les axes F1 et F2.

Les ME des **groupes 2, 3 et 4** sont entre autres, caractérisées par un cortège d'Orthocladiinae, d'*Hydropsyche mokaensis*, de Tanypodinae, d'*Hydroptila starmüehlneri*, d'*Hydroptila kieneri* et/ou de *Dasyhelea* sp.

- **Groupe 2**, le peuplement de la ME « Cirque de Cilaos » (RIV18) montre une variabilité spatiale intra-ME importante. Le peuplement de la station BEN, avec un fort pourcentage d'*Hydroptila starmüehlneri* et d'*Hydroptila kieneri,* se rapproche des stations du groupes 3. Le peuplement de la station CIL1, avec un pourcentage d'*Hydropsyche mokaensis* relativement faible et un pourcentage de Simuliidae relativement fort, se rapproche du groupe 4 (Figure 41).

- **Groupe 3** : les ME de Grand Bassin (RIV 16, station PLA1) et Bras de la Plaine (RIV17, stations PLA2 & PLA3) assez semblables présentent, en plus du fort pourcentage d'Orthocladiinae et d'*Hydropsyche mokaensis*, de nombreux individus d'*Hydroptila kieneri* (plus de 30% dans les 3 stations) et d'*Hydroptila starmüehlneri* (*cf.* Annexe 6). Les stations amont de la Rivière Langevin (LAN1 et LAN2, ME RIV12) sont peuplées de nombreux *Hydroptila starmüehlneri* (7 et 29% d'individus collectés respectivement) et appartiennent aussi à ce groupe.

- **Groupe 4** : ME de la Rivière des Galets aval (RIV24), stations CIL2 en 2009 et 2010 (RIV18) et FJA1 (RIV05).
  Les coordonnées moyennes de la ME « Rivière des Galets aval » (RIV24, station GAL4) sont négatives sur le F1 (38% de Orthocladiinae) et négatives sur le F2 (2% d'*Hydropsyche mokaensis* mais très fort pourcentage d'*Hydroptila grucheti* (24%) et de *Lymnaea* spp. (11%)).
  Dans ce groupe 4, on retrouve aussi :
  - La station FJA1 bien représentée par les Simuliidae, *Lymnaea* spp., et en 2009 par l'explosion de *Dasyhelea* sp.[27] (30% contre moins de 1% en moyenne pour les deux autres campagnes) et moins d'*Hydropsyche mokaensis* en proportion cette année-la. Globalement, on observe moins d'*Hydropsyche mokaensis* dans cette station qu'à FJA2, qui appartient pourtant à la même ME (RIV05) mais qu'on ne retrouve pas dans le groupe 4.
  - CIL2 2009 (28% de *Physella acuta*, 6% de *Dasyhelea* sp., 33 % de Simuliidae) et CIL2 2010 avec 18% de *Physella acuta* et 31% d'*Hydroptila grucheti* (peu représenté en 2008 et encore moins en 2009). Le peuplement de CIL2 2008 est très différent de celui de 2009 et 2010 avec un fort pourcentage d'Orthocladiinae (53% contre 24 et 26% en 2009 et 2010) et d'*Hydropsyche mokaensis* (30% contre 0,4 et 12% en 2009 et 2010) et moins de *Physella acuta* (5%) cette année-là.

- **Groupe 5** : les ME de la Rivière Langevin aval (RIV13, stations LAN3 & 4) et Rivière St-Denis (RIV01 uniquement stations SDE 1 & 2).
  Globalement la position moyenne de la ME Rivière Langevin aval, sur le graphe de l'ACP, s'explique par leur proportion en taxons *Dugesia* sp., *Afrogyrus rodriguezensis* (axe F1) et en *Hydropsyche mokaensis*, *Hydroptila kieneri*, *Helisoma duryi*, Hemerodromiinae et *Hydroptila starmüehlneri* (axe F2). Cependant, la position des deux stations aval présente un écart marqué à cette moyenne pour LAN3, par la bonne

[27] *Dasyhelea* sp. explosion du nombre d'individus à l'échelle de l'île en 2009, essentiellement dans la station FJA1 et un peu dans les stations CIL2 et PLU1.

représentation des taxons *Hydroptila kieneri* (9%) Hemerodromiinae (6%) et *Hydroptila starmüehlneri* (4%) et pour LAN4 par *Dugesia* sp. et *Afrogyrus rodriguezensis* (10 et 2%).
Globalement, la position moyenne de la ME de la Rivière St-Denis (RIV01, une seule ME pour toute la rivière et donc pour les 3 stations SDE1, 2 & 3) se rapproche de la ME de la Rivière Langevin aval par la bonne représentation des taxons *Dugesia* sp. et *Afrogyrus rodriguezensis* (positif sur l'axe F1) et *Helisoma duryi* et *Hydropsyche mokaensis* (positif sur l'axe F2). Cependant, la position des stations montrent que seules les stations amont de cette ME appartiennent réellement à ce groupe 5, la station SDE3 présentant un écart important à la moyenne. Les stations SDE1 et SDE2 sont donc semblables et sont essentiellement marquées par un pourcentage important d'*Hydropsyche mokaensis* (21 et 45%). De plus, même si le pourcentage varie entre ces deux stations, on retrouve un cortège de taxons tels que les *Helisoma duryi*, *Hydroptila kieneri*, Hemerodromiinae, *Afrogyrus rodriguezensis* ou les *Dugesia* sp.. On notera quand même une abondance bien plus importante d'*Afrogyrus rodriguezensis* dans la station amont (*cf.* Annexes 6 & 10) et un pourcentage relativement important d'*Helisoma duryi* à SDE1 (10%) qui repose uniquement sur la campagne de 2010, campagne au cours de laquelle, pour des raisons d'accessibilité nous avons échantillonné à 115m d'altitude au lieu de 260m. SDE3 présente un peuplement bien différent avec 37% d'*Hydroptila gracheti*, 21% de Simuliidae et, comme dans les ME du groupe 1, très peu d'*Hydropsyche mokaensis* et une bonne représentation des Planaires *Dugesia* sp.

Enfin, on notera tout un cortège de ME dont la position moyenne des coordonnées factorielles ne montre pas de tendance claire et qui se retrouvent donc près du centre du graphe de l'ACP inter-ME (Figure 41). Cette position moyenne est expliquée par une grande variabilité spatiale intra-ME pour les ME telles que RIV02 (Rivières des Pluies), RIV10 (Rivière des Marsouins) ou RIV05 (Cirque de Salazie, stations MAT1, 2 &3 et FJA1 & 2).

La Rivière des Marsouins, par exemple, présente un gradient amont-aval marqué (*cf.* 2.2.4.2 Variabilité spatio-temporelle de la richesse taxonomique). La station MAR4, tirée sur le côté positif de l'axe F1, se retrouve dans le même groupe que les petites rivières de basses altitudes (groupe 1) avec un très fort pourcentage de *Septaria borbonica* (19%, espèce dominante dans la station), 13% d'*Afrogyrus rodriguezensis*, 10% de *Clithon longispina* et 5% de *Dugesia* sp.. Dans la station MAR3, les *Dugesia* sp. et *Helisoma duryi* sont encore présents, mais les taxons caractéristiques sont surtout les Orthocladiinae, *Hydropsyche mokaensis* et les *Hydroptila kieneri* (coordonnées négatives sur l'axe F1 et positives sur l'axe F2). Cette tendance est encore plus forte pour MAR2, avec notamment un peuplement dominé par les Orthocladiinae (79% des effectifs).

De même, les stations de la ME du Cirque de Salazie présentent une grande variabilité spatiale de leur peuplement. La station MAT1, caractérisée par un fort pourcentage d'Orthocladiinae et d'*Hydropsyche mokaensis,* se rapproche des stations de tête de bassin du groupe 2. La station FJA1 par sa composition faunistique appartient au groupe 4 (*cf.* plus haut) et les stations MAT2 et MAT3, caractérisées par un fort pourcentage d'Orthocladiinae, de *Physella acuta*, d'*Hydroptila gracheti* et de *Lymnaea* spp., se retrouvent plutôt au centre du graphe.

Le peuplement de la ME de la Rivière des Pluies (RIV02) montre, en plus d'une variabilité spatiale forte, une importante variabilité temporelle. PLU1 se retrouve, au moins pour les années 2008 et 2010, avec les stations de tête de bassin (groupes 2 & 3), de par un cortège de taxons tels que les Orthocladiinae, les *Hydropsyche mokaensis*, les *Hydroptila*

grucheti, les *Dasyhelea* sp., les Tanypodinae et les *Hydroptila kieneri*. En 2009, avec une chute spectaculaire d'*Hydropsyche mokaensis* dans cette station (moins de 1% contre 35 et 17% en 2008 et 2010 respectivement) due à une explosion d'Orthocladiinae (76%) et un fort pourcentage d'*Hydroptila grucheti* (12%), cette station se retrouve dans une position intermédiaire. De même, la station PLU2 montre une forte variabilité temporelle, reposant essentiellement sur l'augmentation des *Hydroptila grucheti* avec 7, 23 et 50% des effectifs en 2008, 2009 et 2010 respectivement.

La ME de la Rivière de l'Est (RIV11), avec un peuplement composé d'Orthocladiinae (59%), d'*Hydropsyche mokaensis* (14%) de Simuliidae (11%) de Tanypodinae (7%) mais aussi avec une relative bonne représentation de *Nigrobaetis colonus* (Annexe 6 et 10), se retrouve aussi dans une position intermédiaire.

De même, la ME de la Rivière du Mât aval (RIV08), avec un peuplement dominé par les Orthocladiinae (77%) mais aussi le relativement faible pourcentage d'*Hydropsyche mokaensis* (12%) et une bonne représentation de taxons tels que les Simuliidae et les *Physella acuta,* se retrouve aussi dans une position intermédiaire. Cette ME se démarque des ME de petits cours d'eau de basses altitudes (groupe 1) par l'absence de taxons tels que *Septaria borbonica*, *Thiara scabra*, Chironomini ou *Afrogyrus rodriguezensis,* ou par l'abondance faible de *Dugesia* sp..

Enfin, La ME de la Rivière des Remparts aval (RIV15) a aussi une position intermédiaire avec un peuplement composé d'Orthocladiinae et d'*Hydropsyche mokaensis* mais aussi de Simuliidae, Tanytarsini, *Hydroptila grucheti*, *Ferrissia modesta*, *Septaria borbonica* et de *Dugesia* sp..

Conclusions :

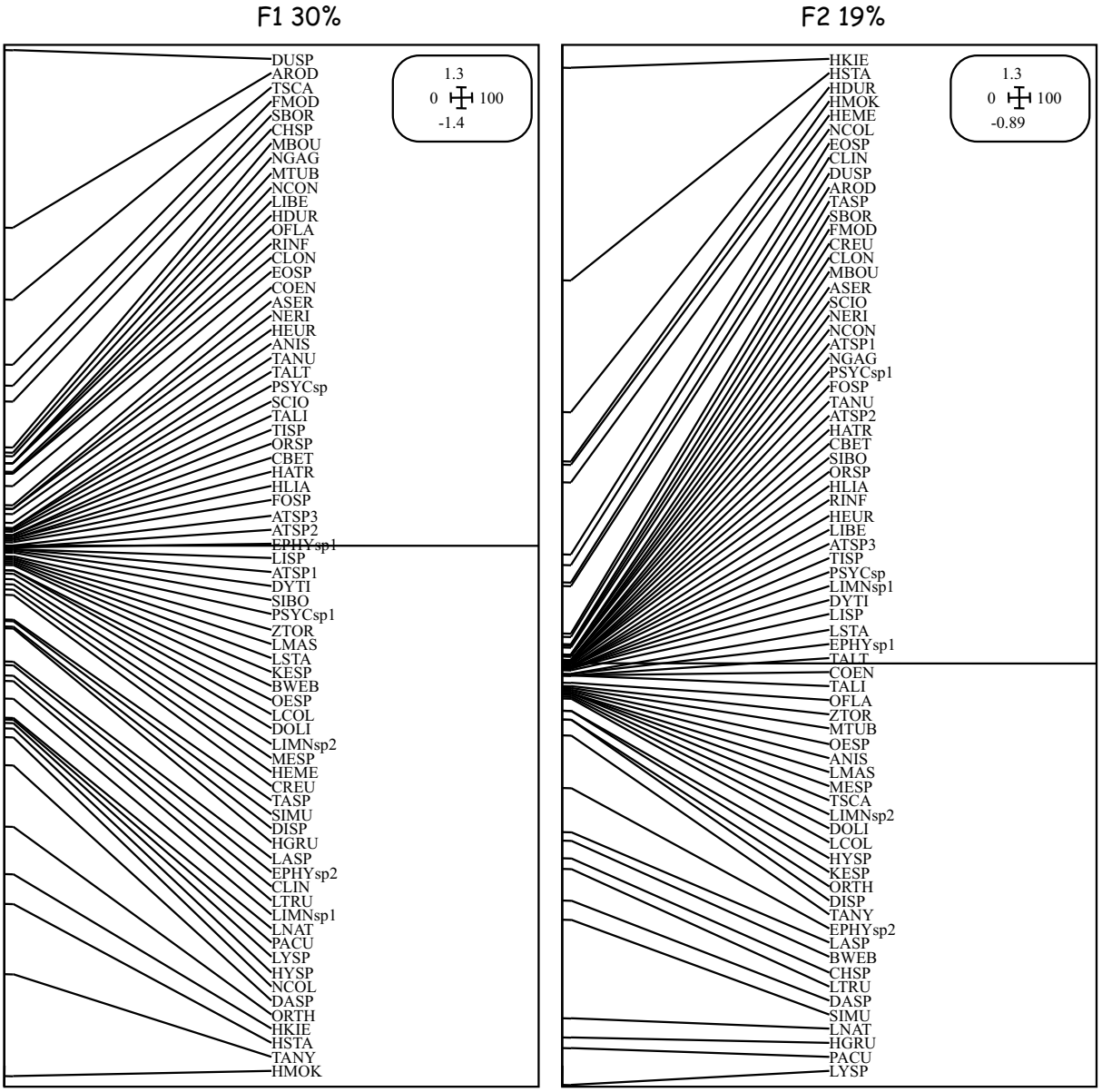
→L'analyse inter-ME explique un fort pourcentage de la variabilité spatiale du jeu de données (50%).

→Globalement, 5 groupes de ME sont discriminés mais dans certains cas, la limite des groupes n'est pas très claire.

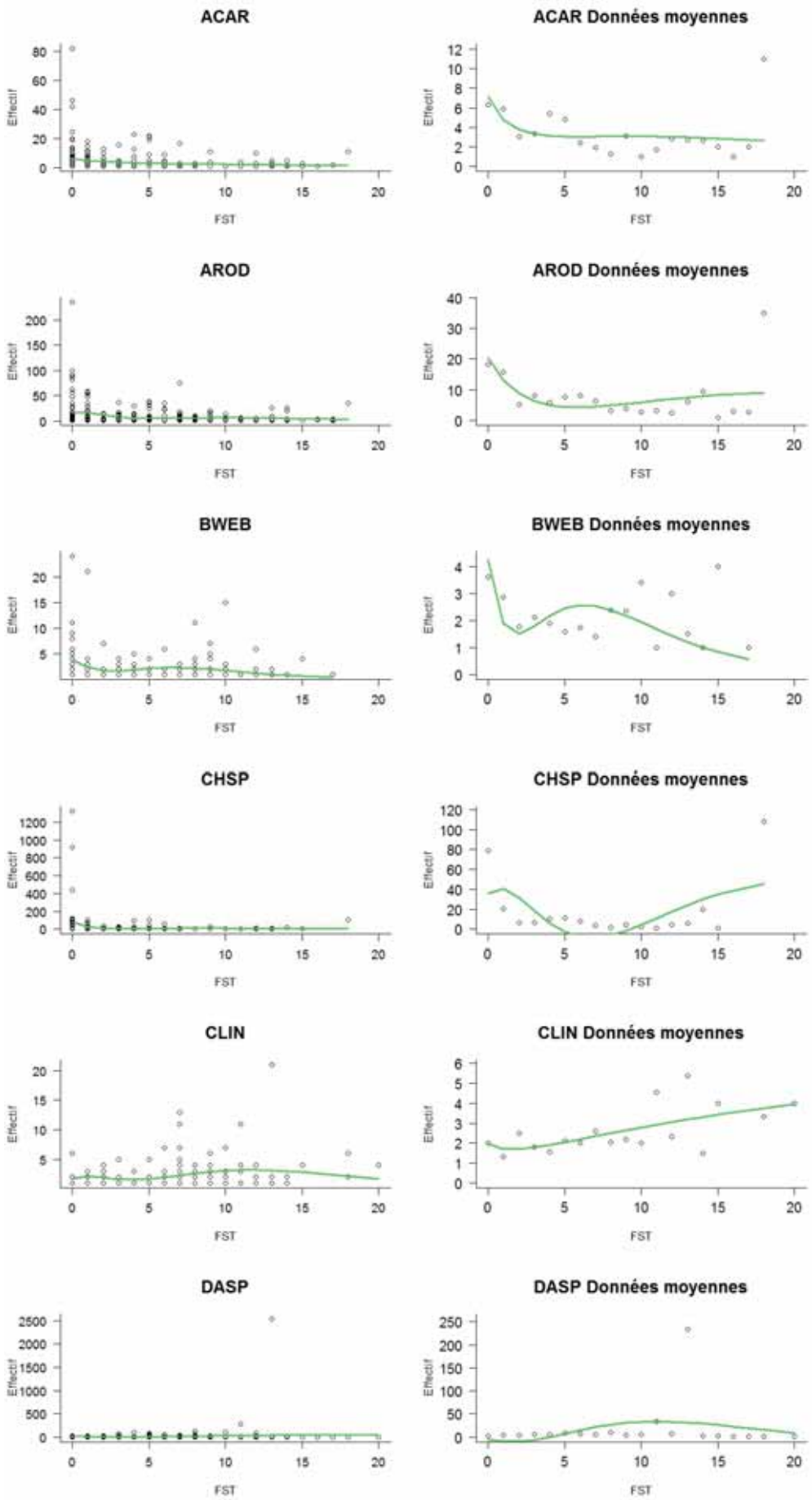
→En effet, la composition faunistique montre une forte variabilité spatiale intra-ME qui repose entre autres, pour certaines rivières, sur le gradient amont-aval.

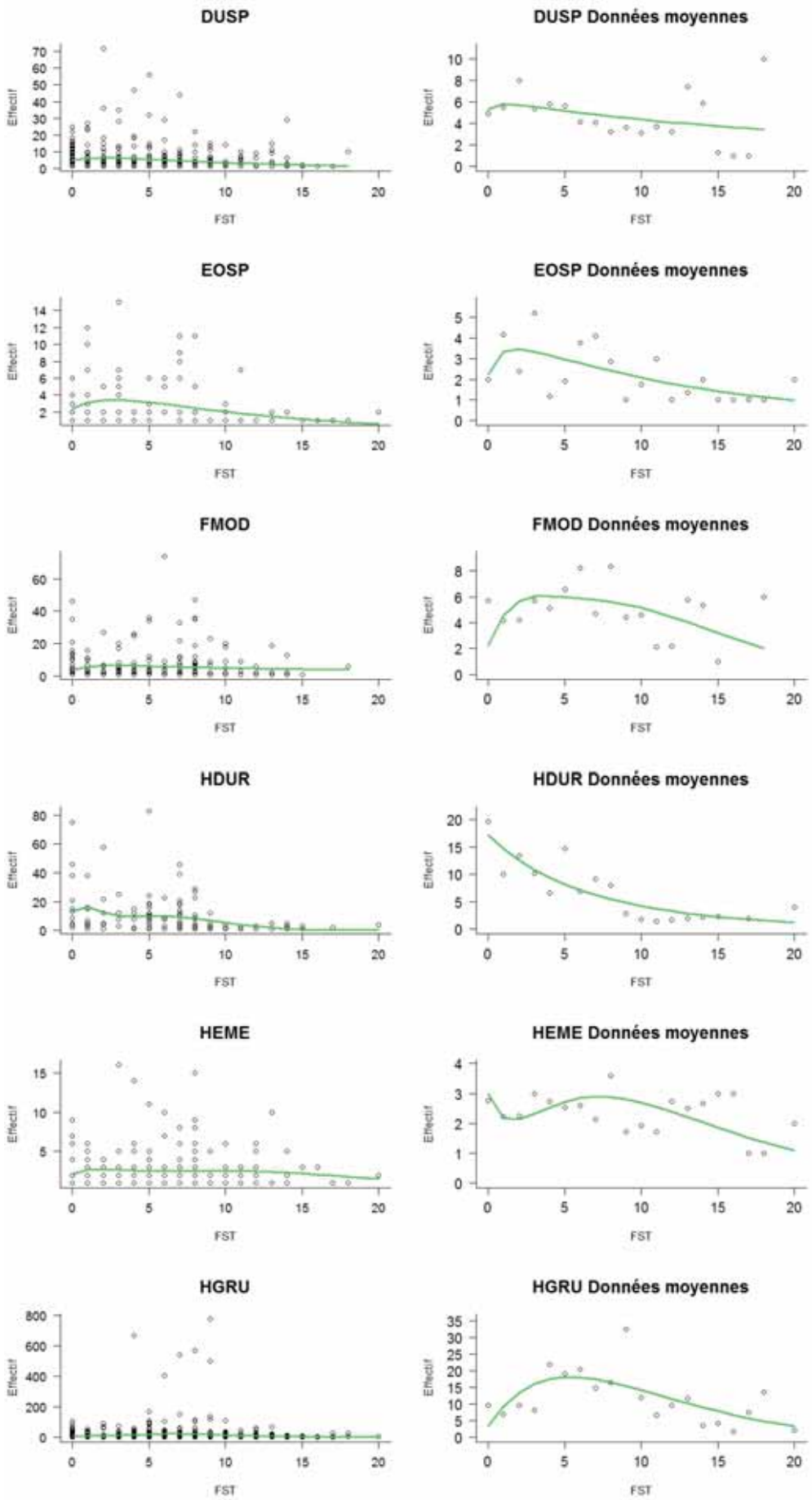
→Pour de rares cas, comme par exemple la ME de la Rivière des Pluies ou ME du Bras de Cilaos, à cette variabilité spatiale, se superpose à une forte variabilité temporelle.

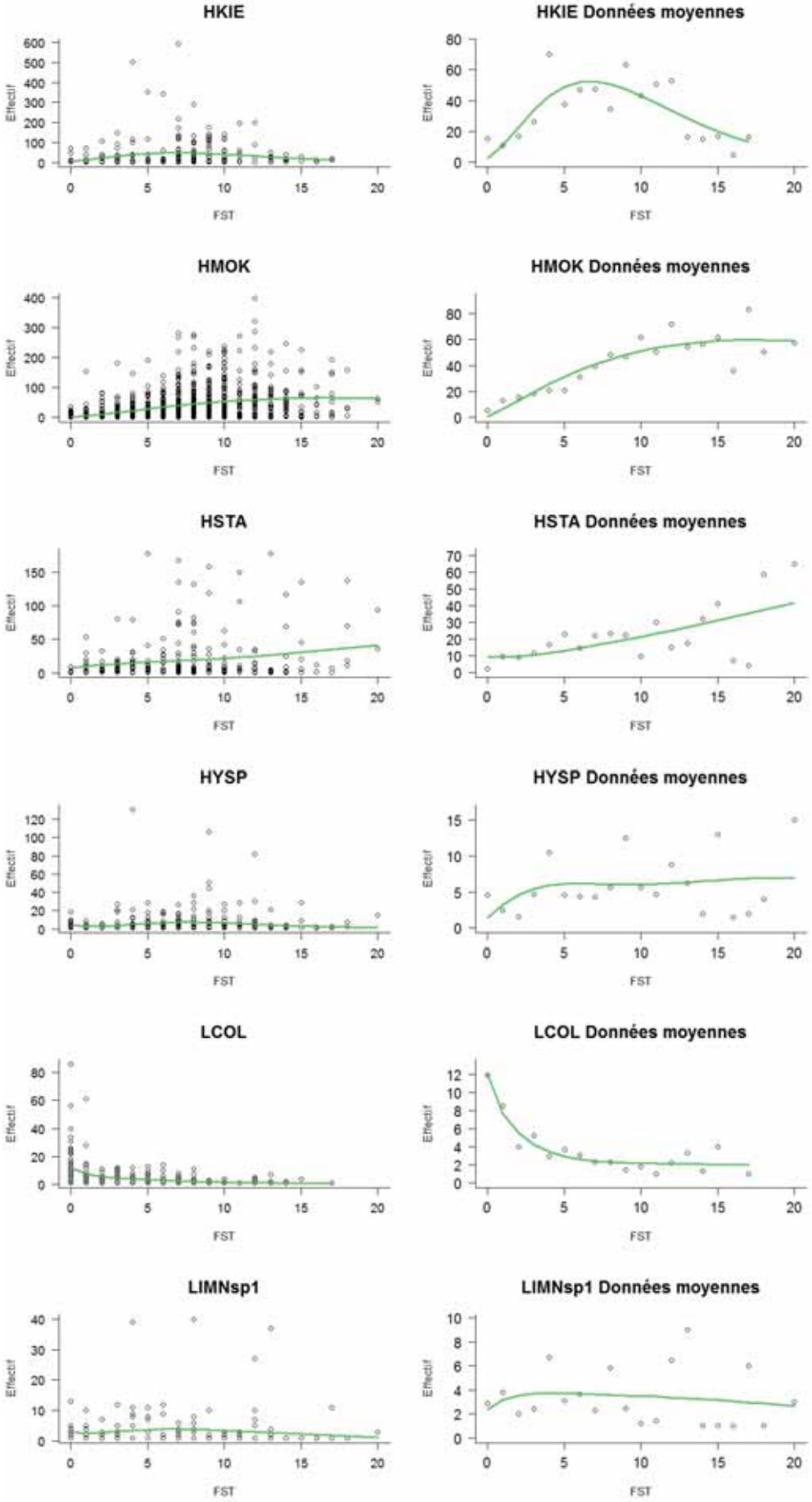
<u>Annexe 16</u> : Position des taxons sur l'axe F1 et F2 de l'ACP inter-ME. Le trait horizontal correspond à une valeur de coordonnée factorielle nulle. Au dessus du trait, les coordonnées factorielles sont positives ; en dessous, elles sont négatives.

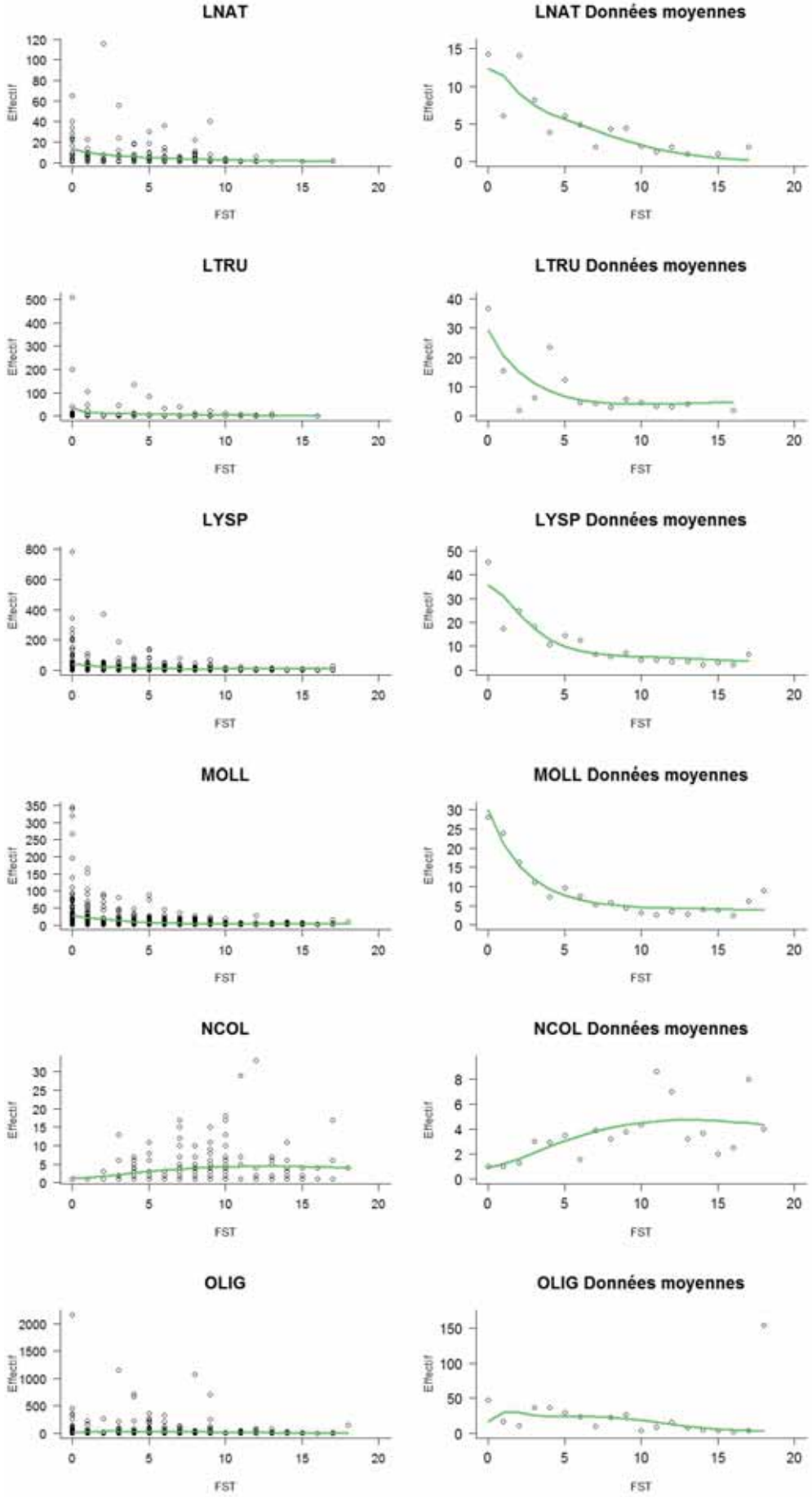


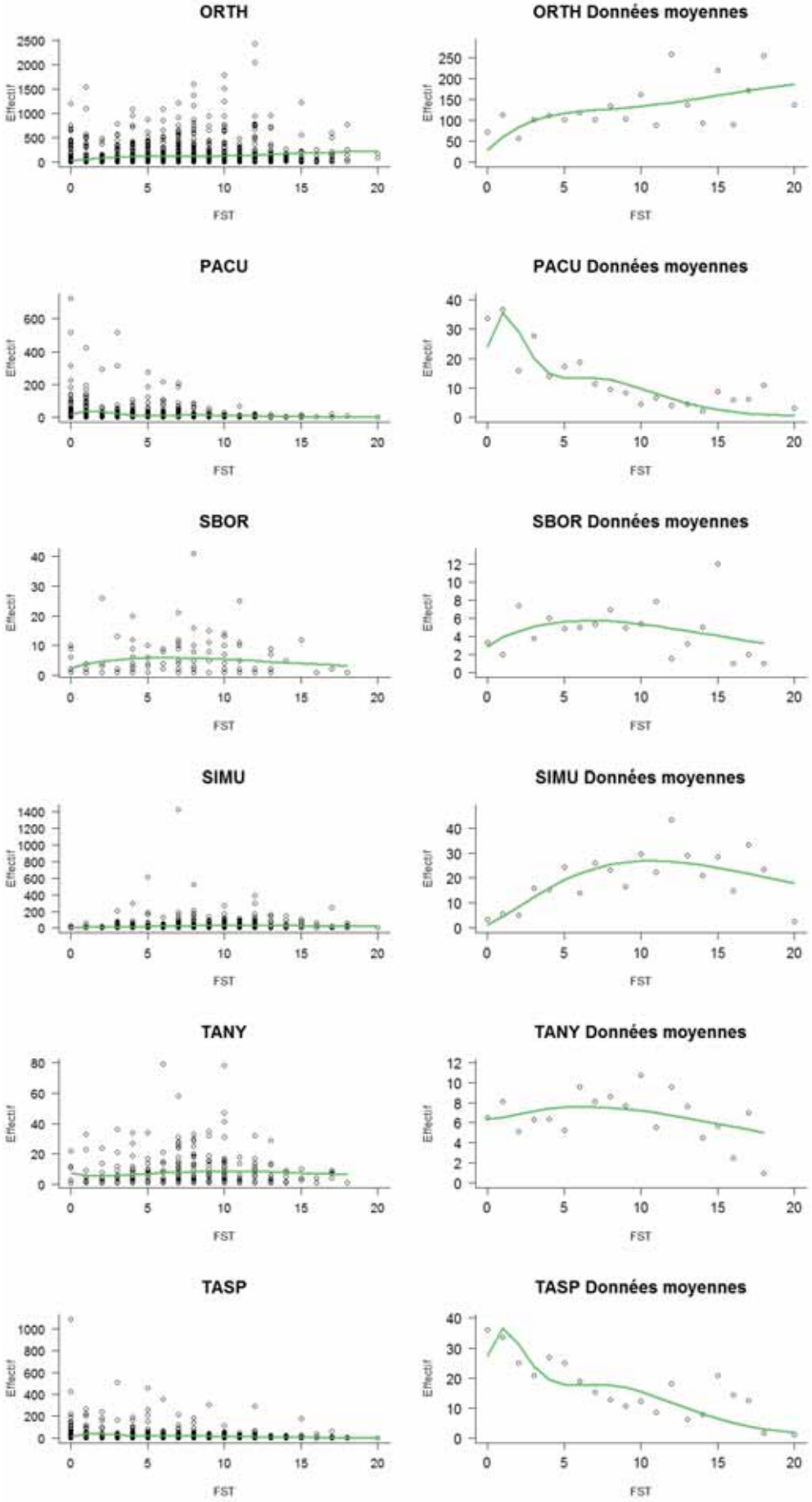
<u>Annexe 17</u> : Courbes de préférences hydrauliques pour les taxons les mieux représentés (présents au moins dans 100 échantillons dans l'ensemble des échantillons des campagnes d'échantillonnage 2008, 2009 et 2010). Pour chaque taxon, à gauche : graphe des valeurs d'abondances brutes, à droite : graphe des valeurs d'abondances moyennes par FST.

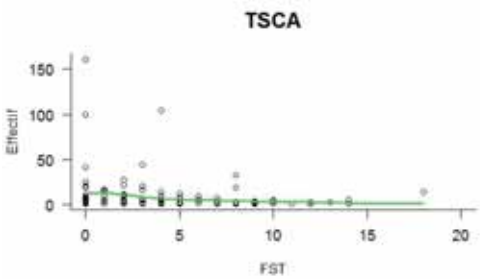

ACAR
ACAR Données moyennes
AROD
AROD Données moyennes
BWEB
BWEB Données moyennes
CHSP
CHSP Données moyennes
CLIN
CLIN Données moyennes
DASP
DASP Données moyennes
Effectif
FST

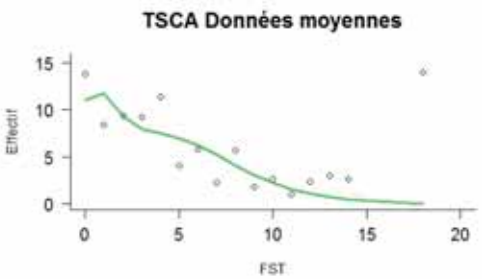

DUSP
DUSP Données moyennes
EOSP
EOSP Données moyennes
FMOD
FMOD Données moyennes
HDUR
HDUR Données moyennes
HEME
HEME Données moyennes
HGRU
HGRU Données moyennes
Effectif
FST


HKIE
HKIE Données moyennes
HMOK
HMOK Données moyennes
HSTA
HSTA Données moyennes
HYSP
HYSP Données moyennes
LCOL
LCOL Données moyennes
LIMNsp1
LIMNsp1 Données moyennes
Effectif
FST

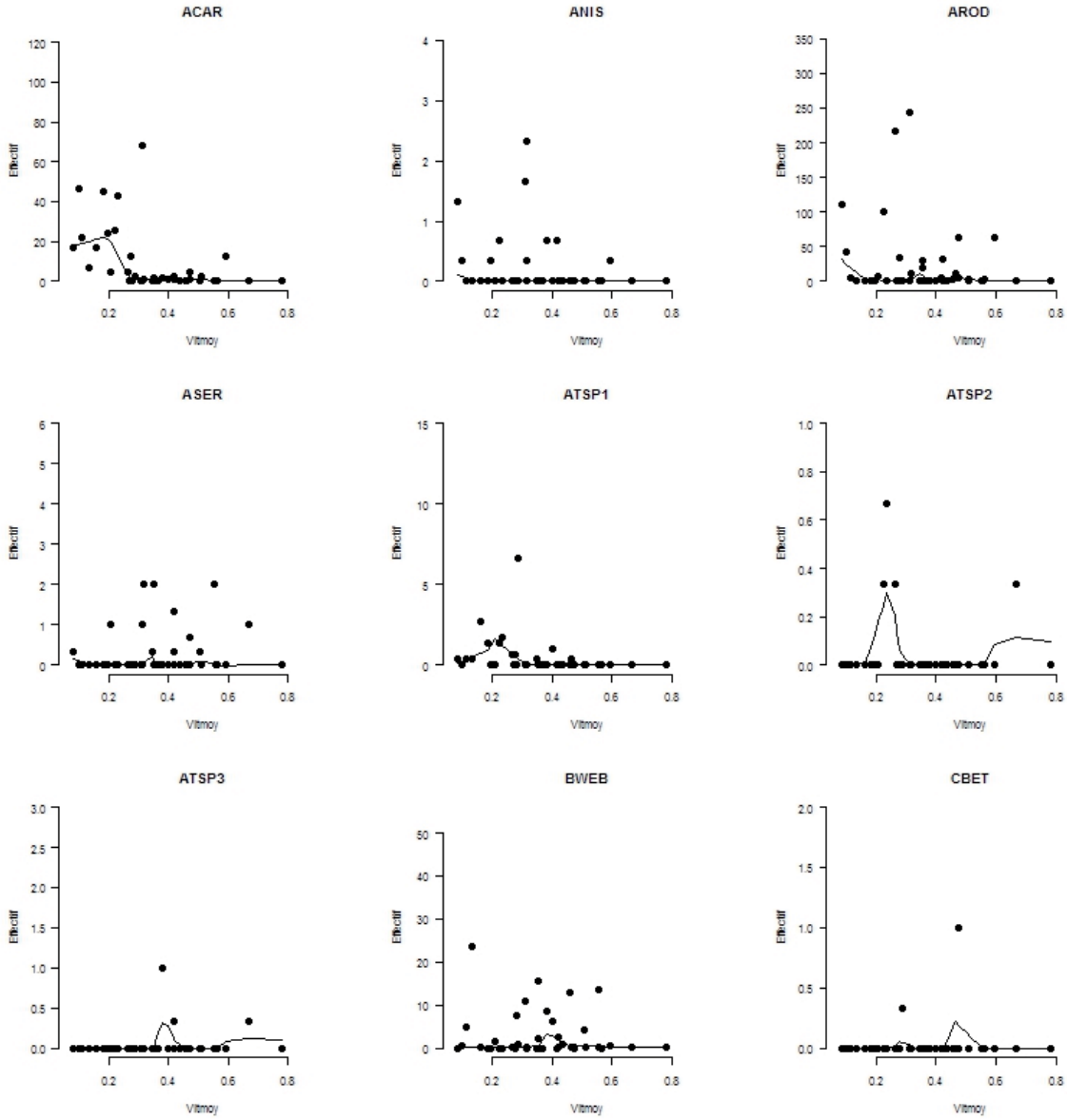

LNAT
LNAT Données moyennes
LTRU
LTRU Données moyennes
LYSP
LYSP Données moyennes
MOLL
MOLL Données moyennes
NCOL
NCOL Données moyennes
OLIG
OLIG Données moyennes
Effectif
FST

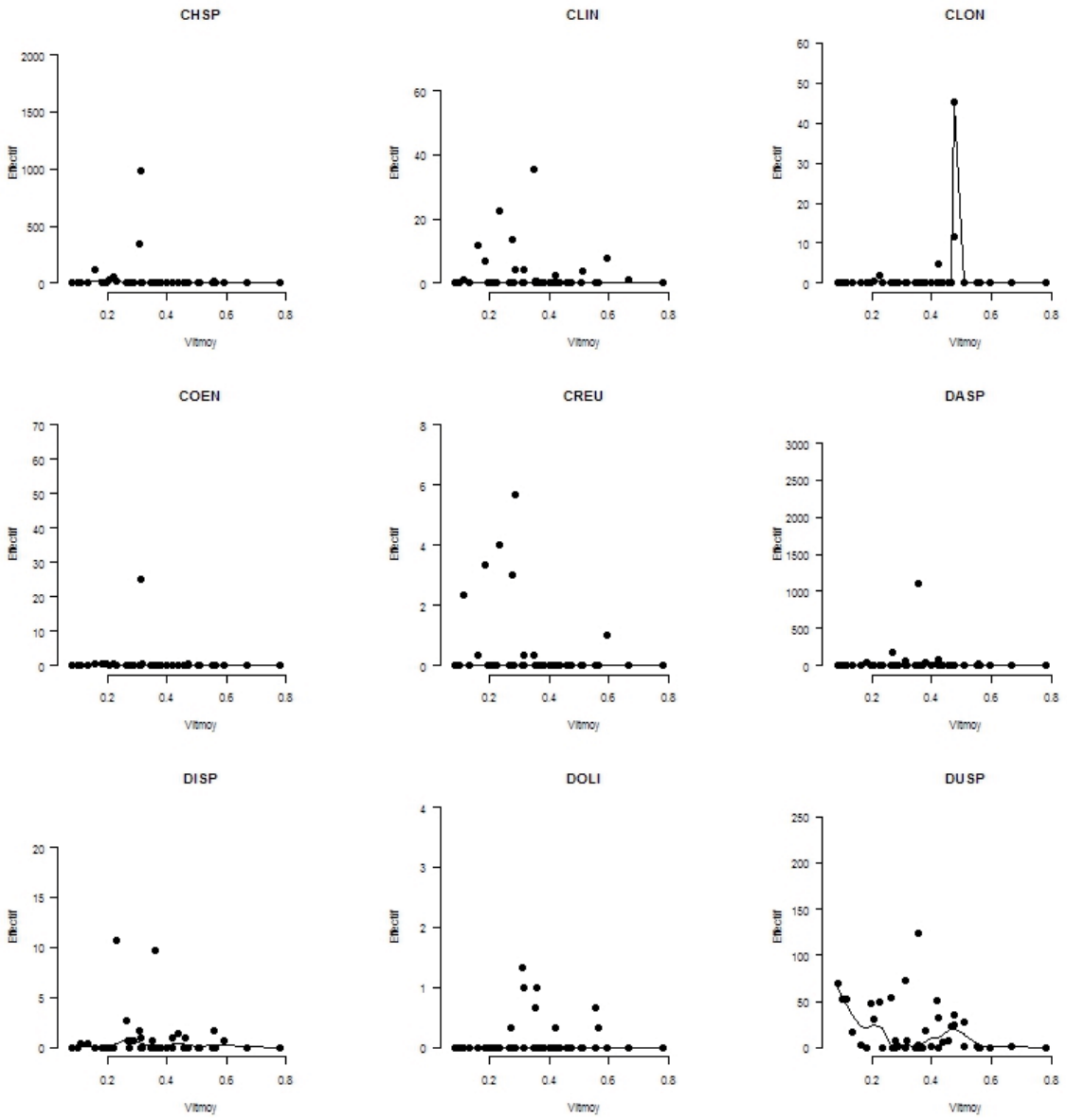

ORTH
ORTH Données moyennes
PACU
PACU Données moyennes
SBOR
SBOR Données moyennes
SIMU
SIMU Données moyennes
TANY
TANY Données moyennes
TASP
TASP Données moyennes
Effectif
FST

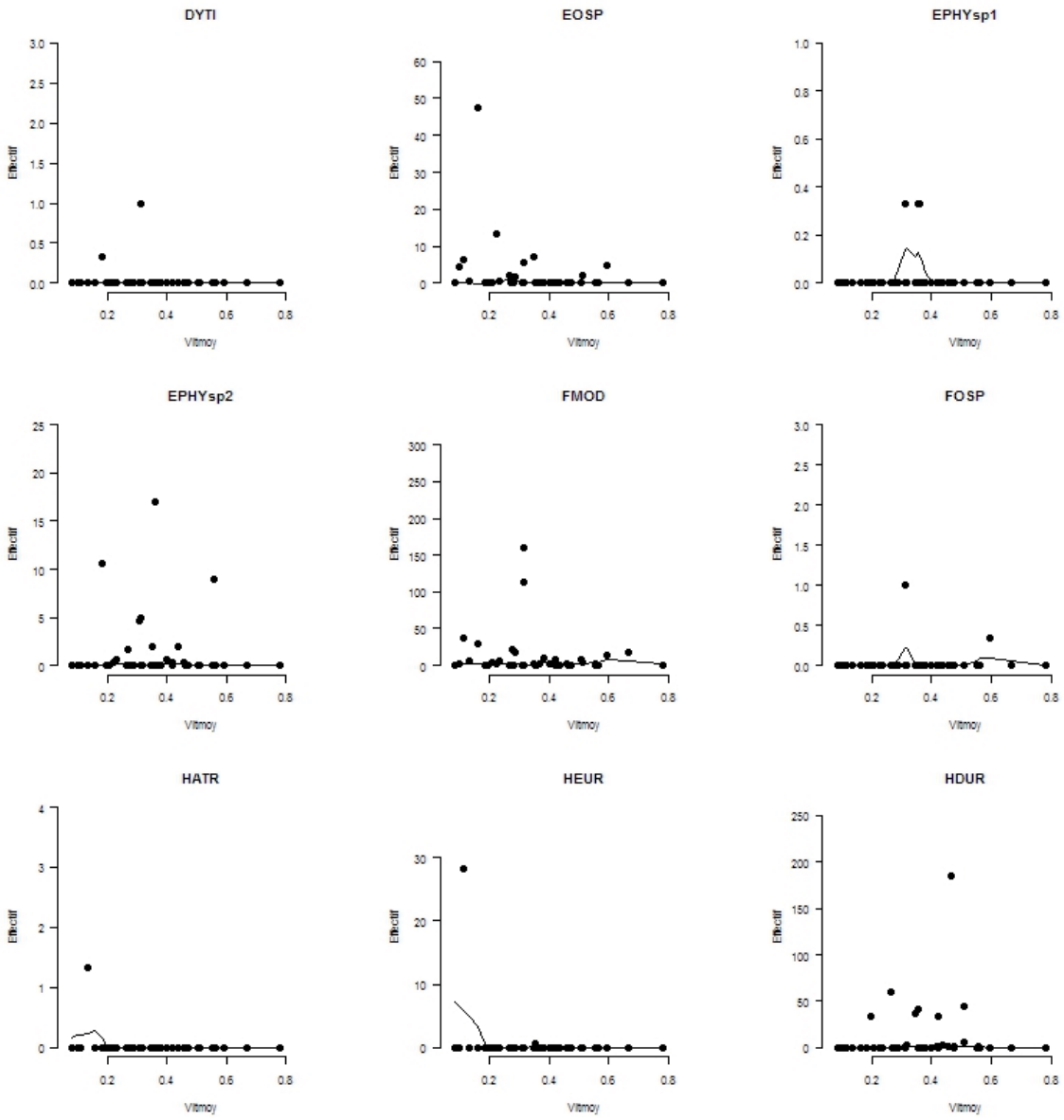

TSCA
Effectif
150
100
50
0
0
5
10
15
20
FST

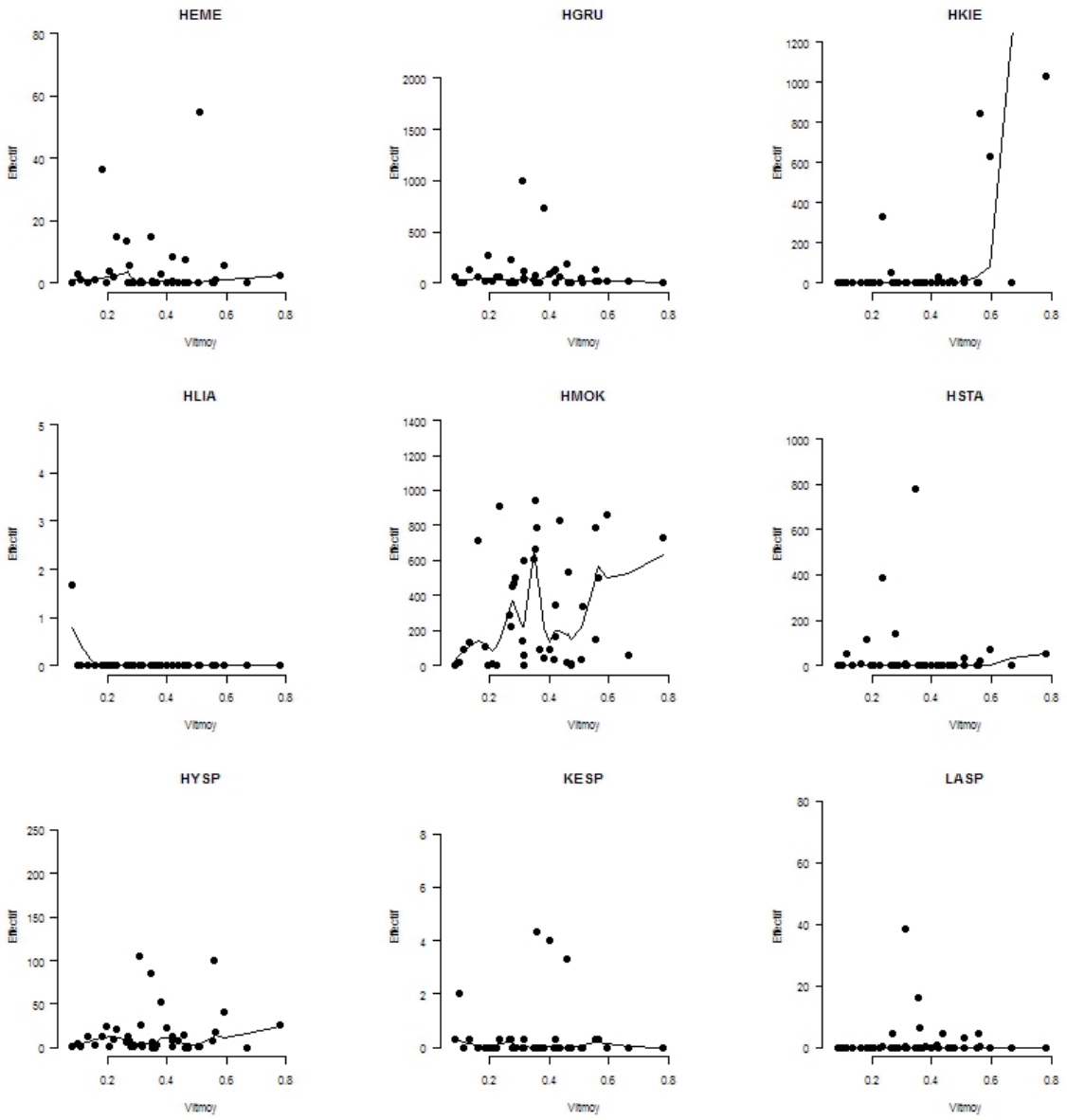

TSCA Données moyennes
Effectif
15
10
5
0
0
5
10
15
20
FST

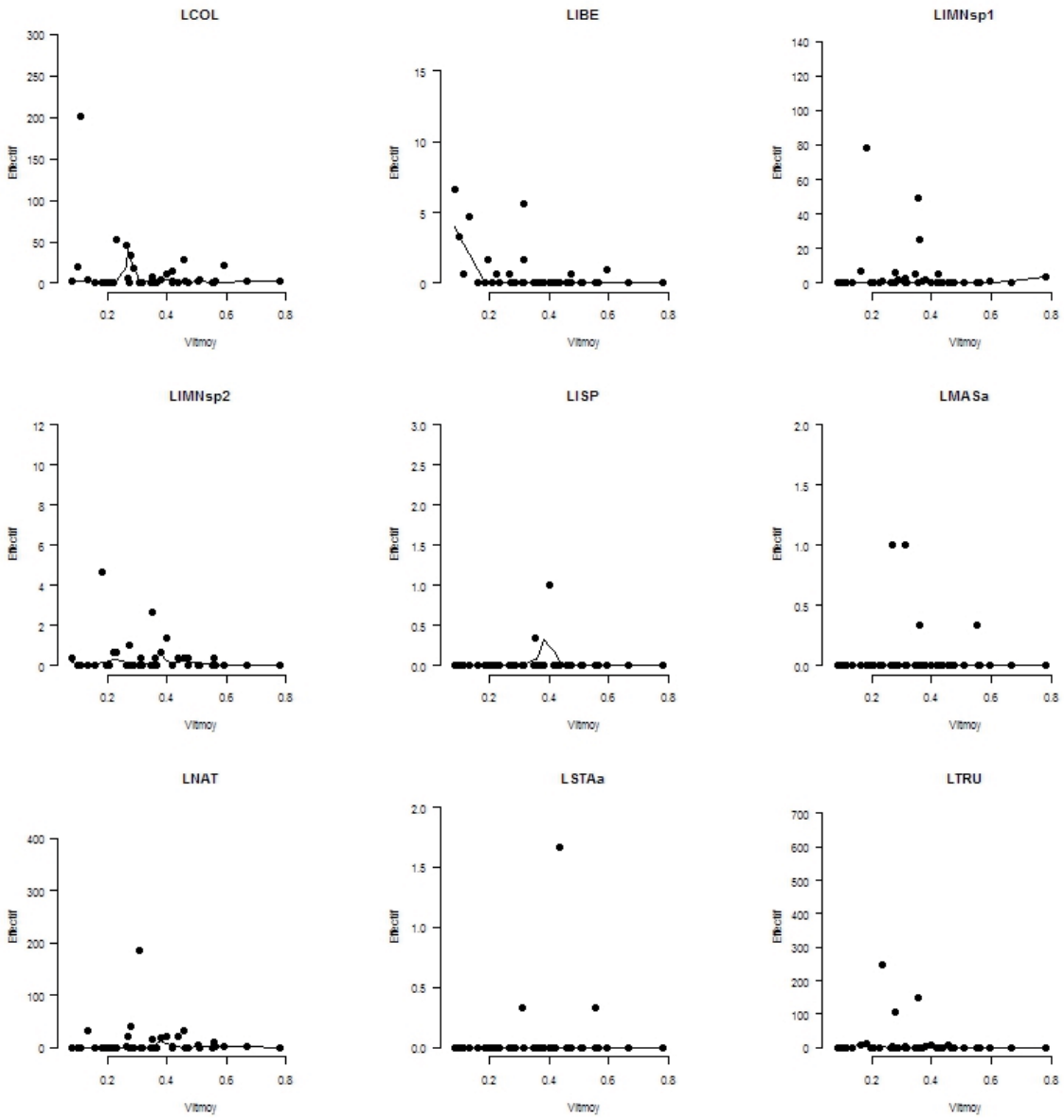
Annexe 18 : Abondances de chaque taxon en fonction de la vitesse moyenne du courant, de la profondeur moyenne, de l'altitude, de la distance à la mer et à la source de chaque station. Chaque point correspond à une station-campagne (126 stations-campagnes).

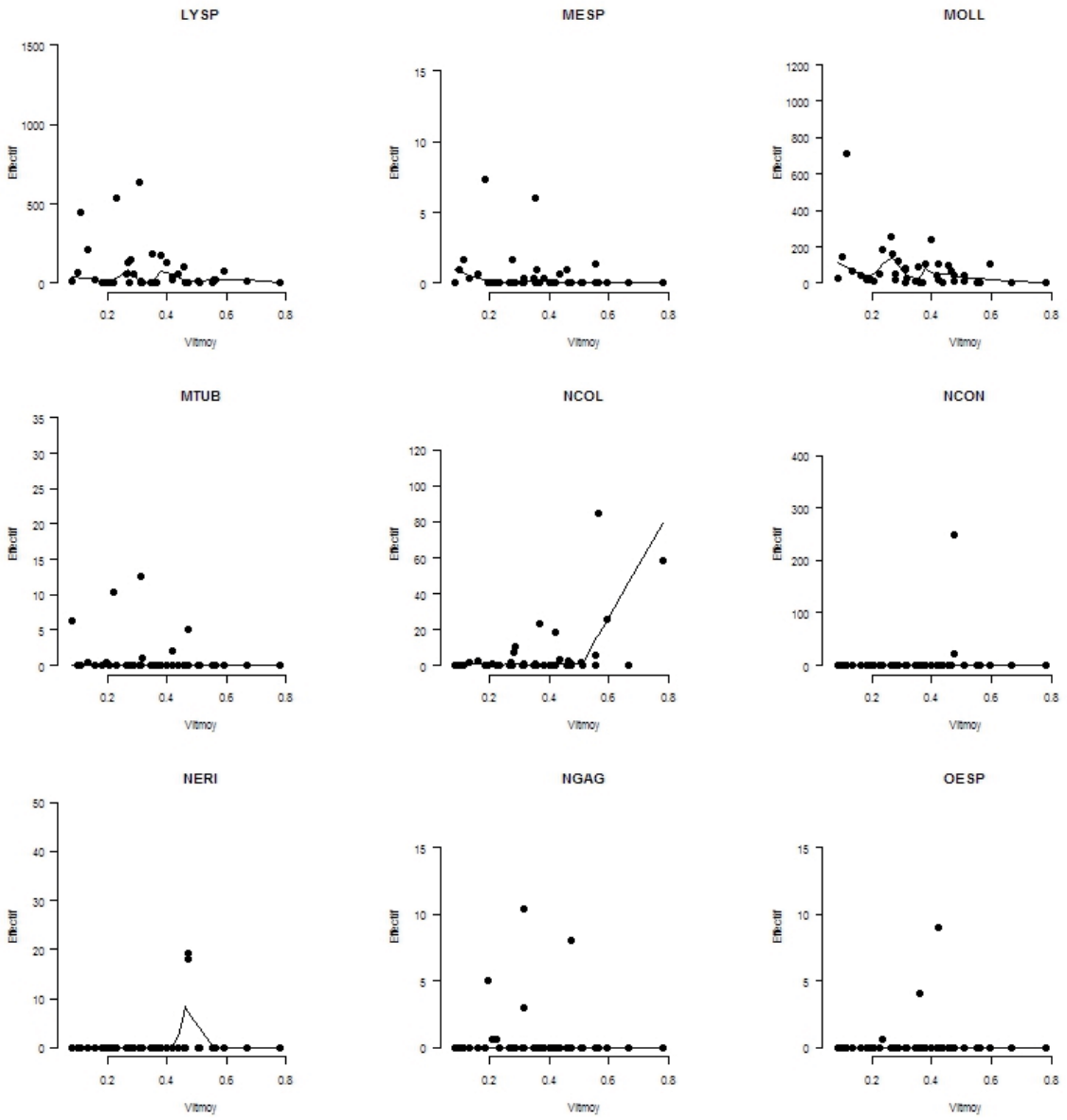

ACAR
ANIS
AROD
ASER
ATSP1
ATSP2
ATSP3
BWEB
CBET
Effectif
Vitmoy

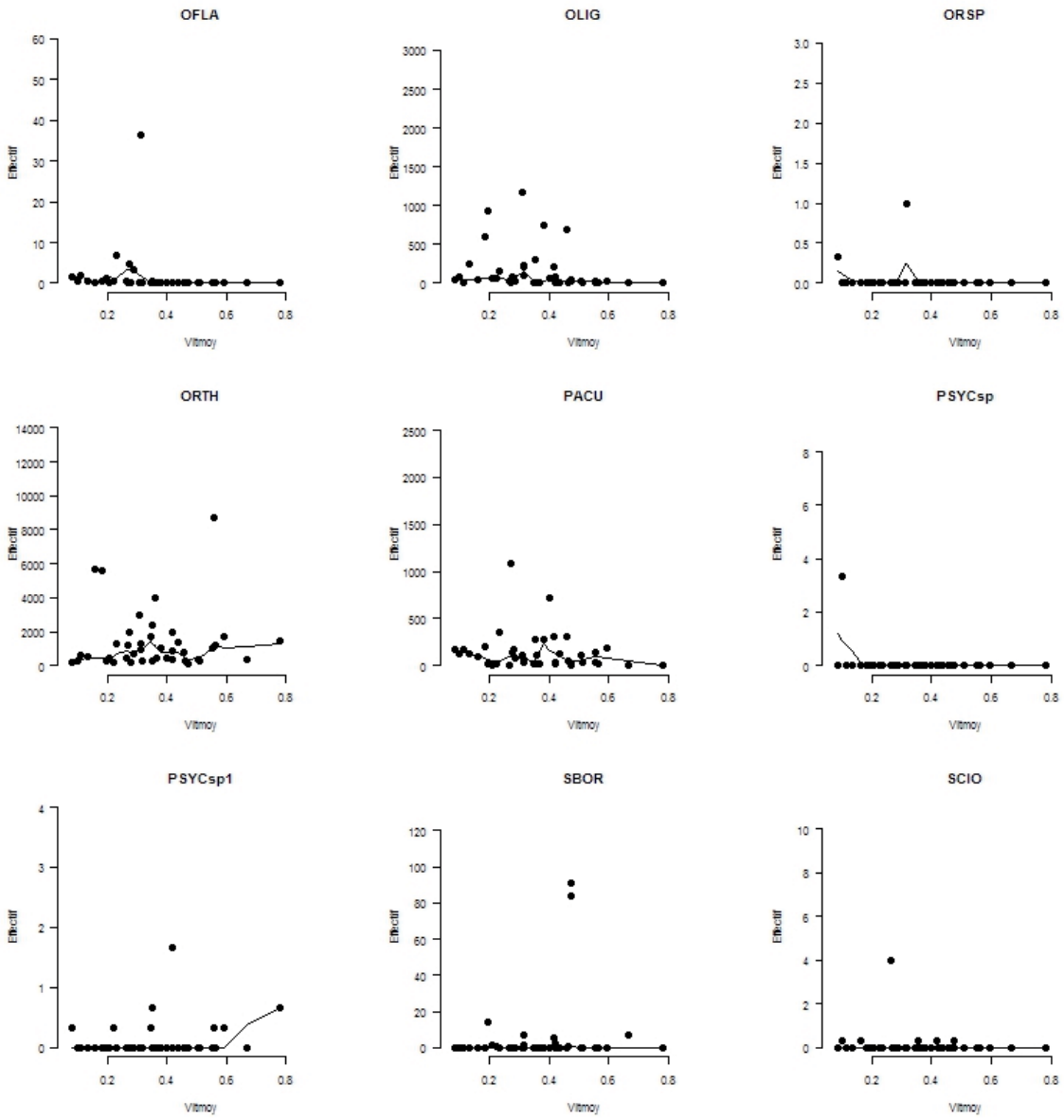

CHSP
CLIN
CLON
COEN
CREU
DASP
DISP
DOLI
DUSP
Effectif
Vitmoy

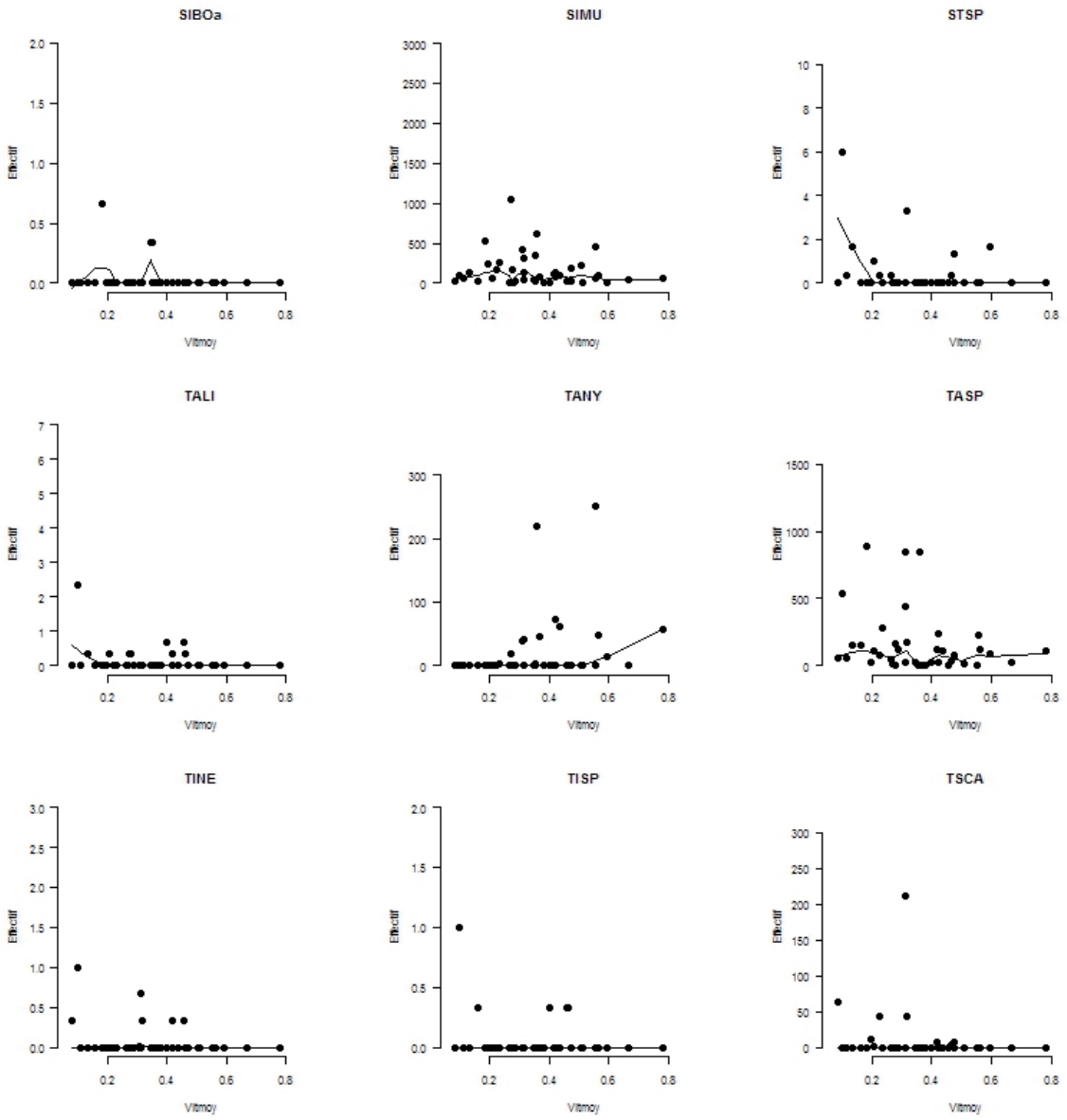

DYTI
EOSP
EPHYsp1
EPHYsp2
FMOD
FOSP
HATR
HEUR
HDUR
Effectif
Vitmoy

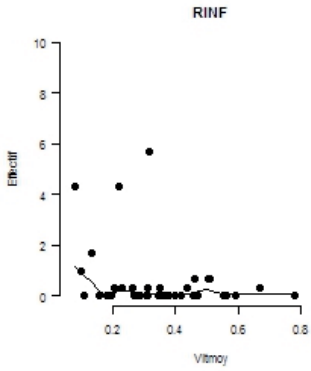

HEME
HGRU
HKIE
HLIA
HMOK
HSTA
HYSP
KESP
LASP
Effectif
Vitmoy

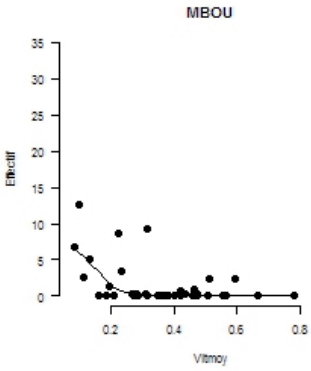

LCOL
LIBE
LIMNsp1
LIMNsp2
LISP
LMASa
LNAT
LSTAa
LTRU
Effectif
Vitmoy

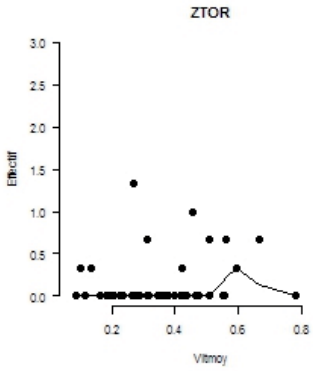

LYSP
MESP
MOLL
MTUB
NCOL
NCON
NERI
NGAG
OESP
Effectif
Vitmoy

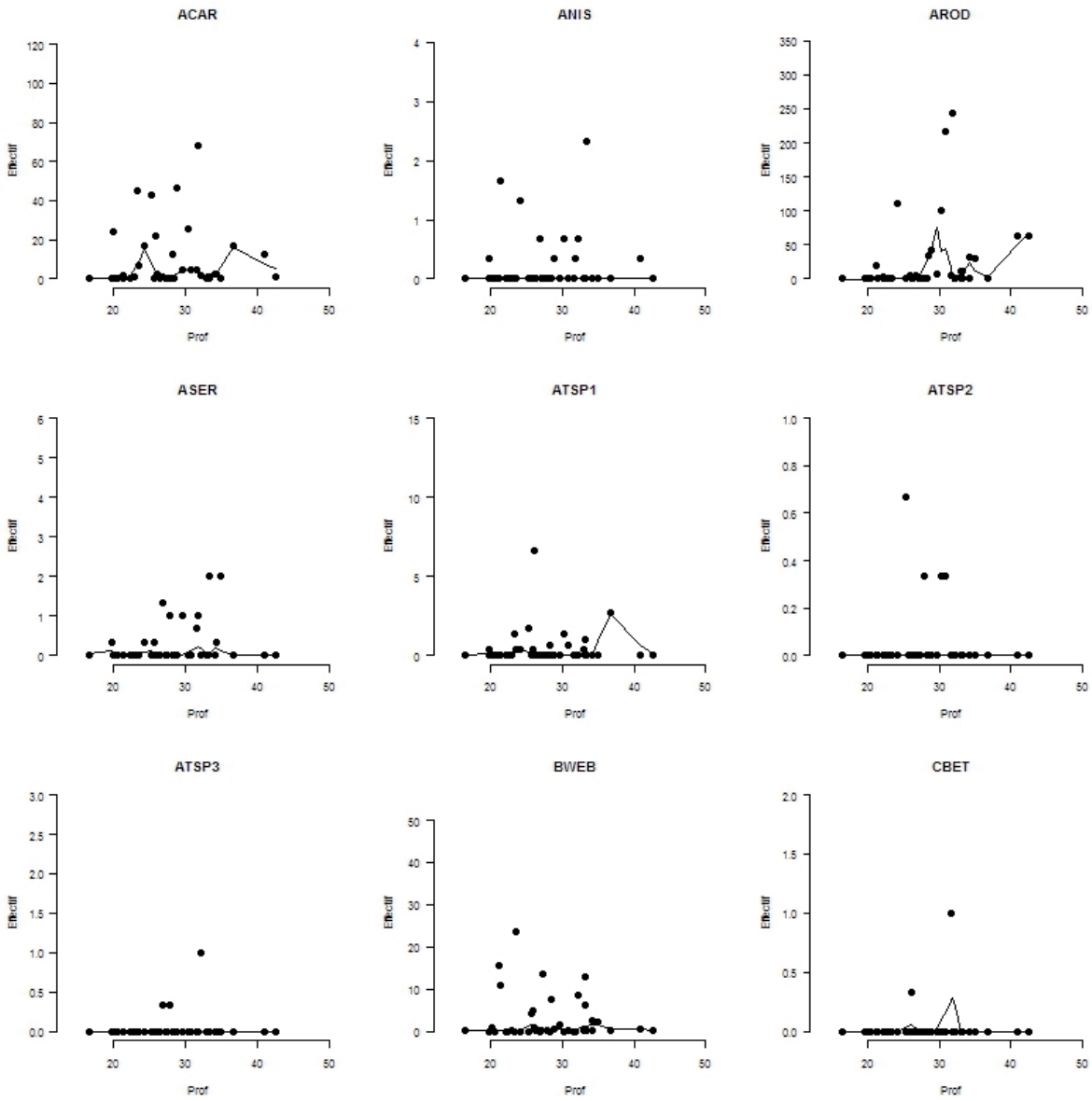

OFLA
OLIG
ORSP
ORTH
PACU
PSYCsp
PSYCsp1
SBOR
SCIO
Effectif
Vitmoy

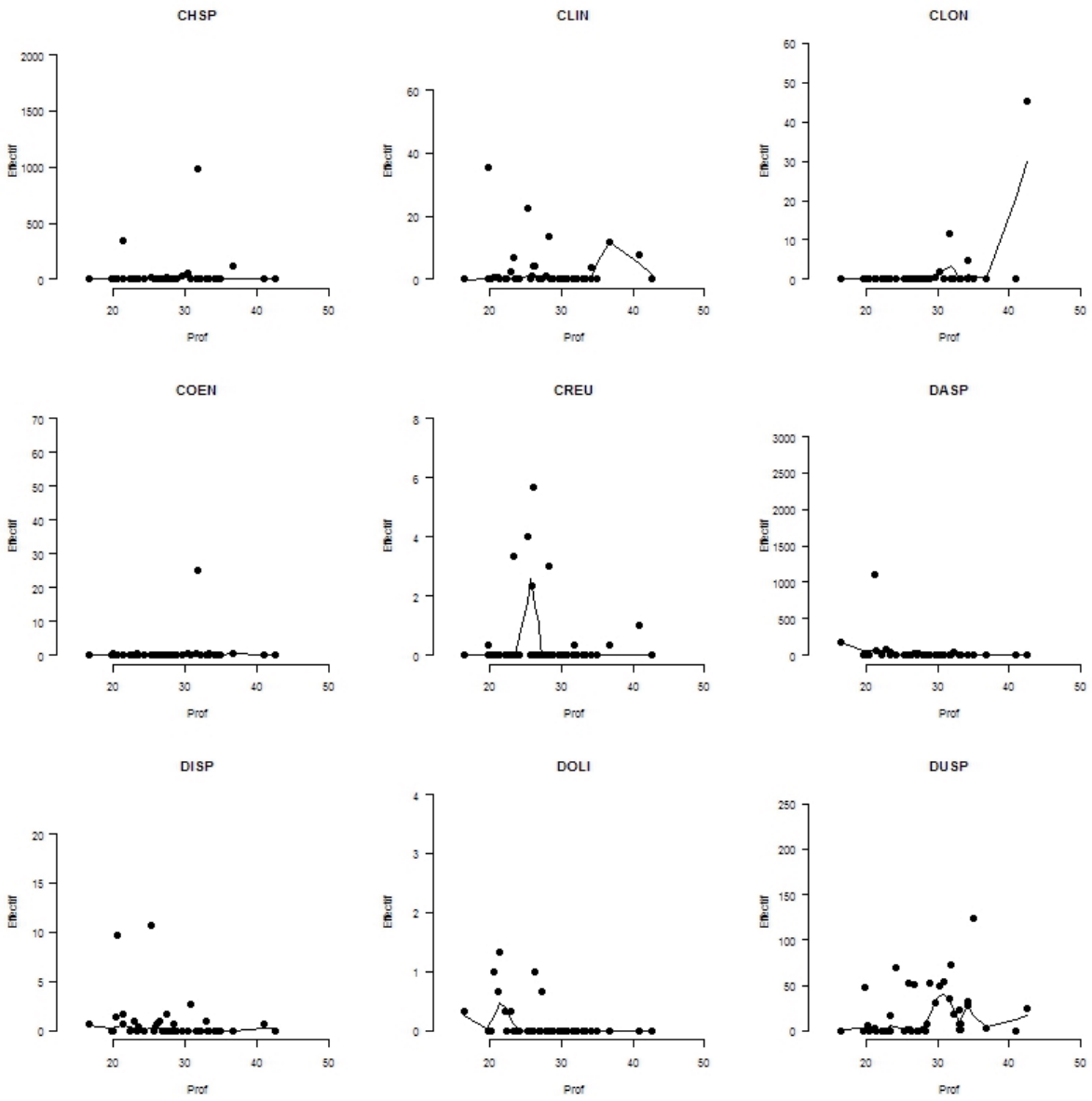

SIBOa
SIMU
STSP
TALI
TANY
TASP
TINE
TISP
TSCA
Effectif
Vitmoy

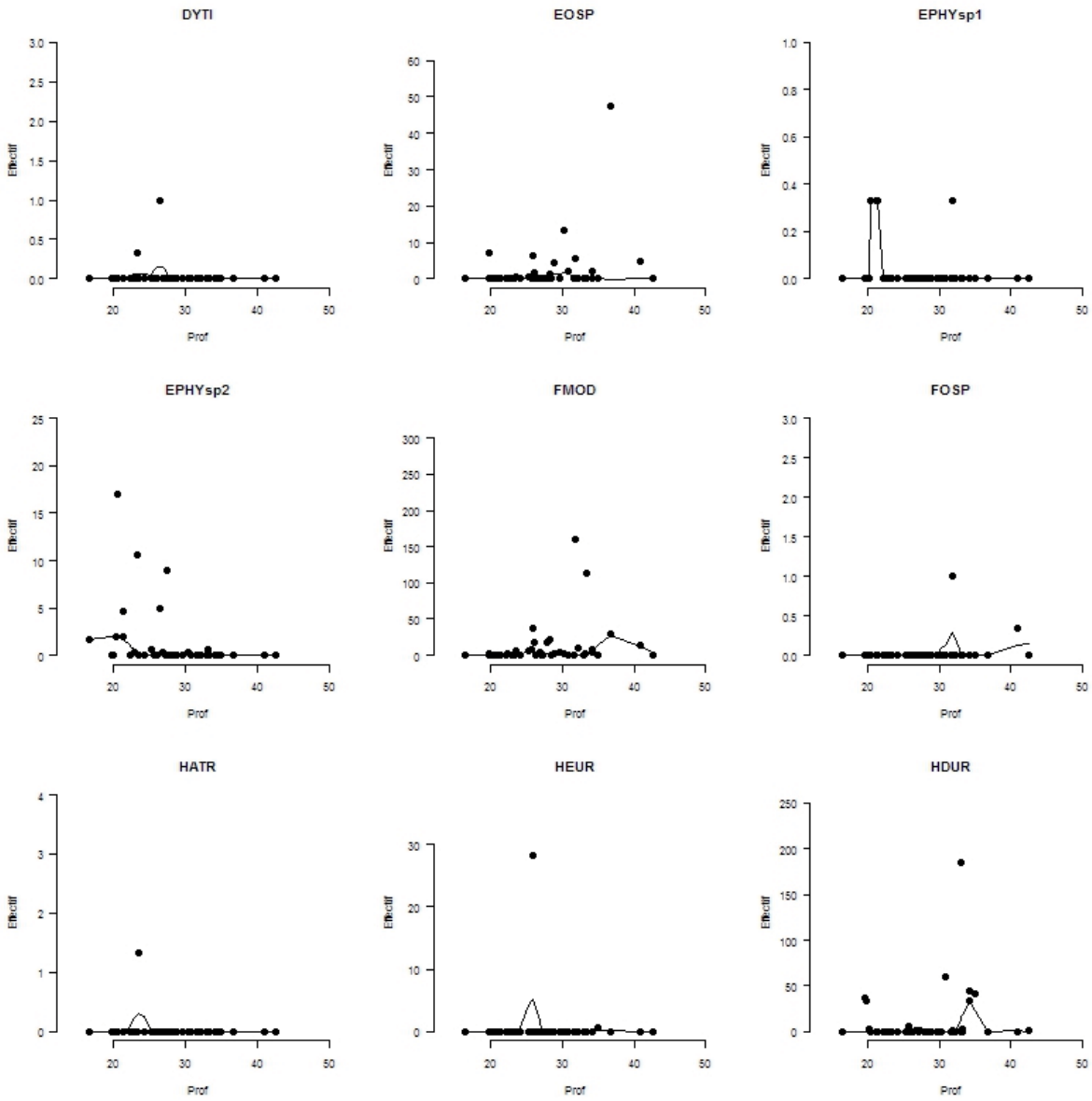

RINF
Effectif
Vitmoy

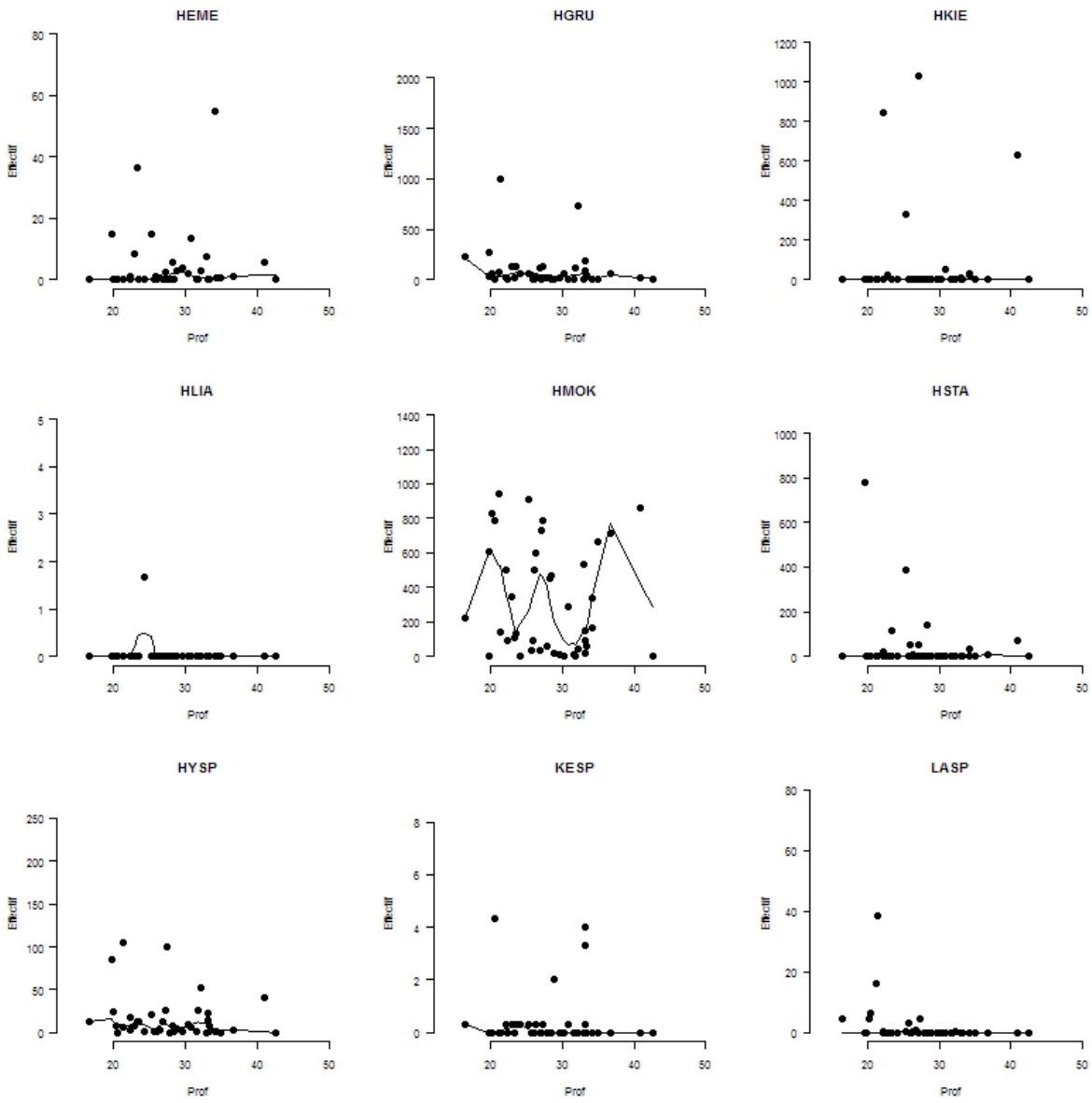

MBOU
Effectif
Vitmoy

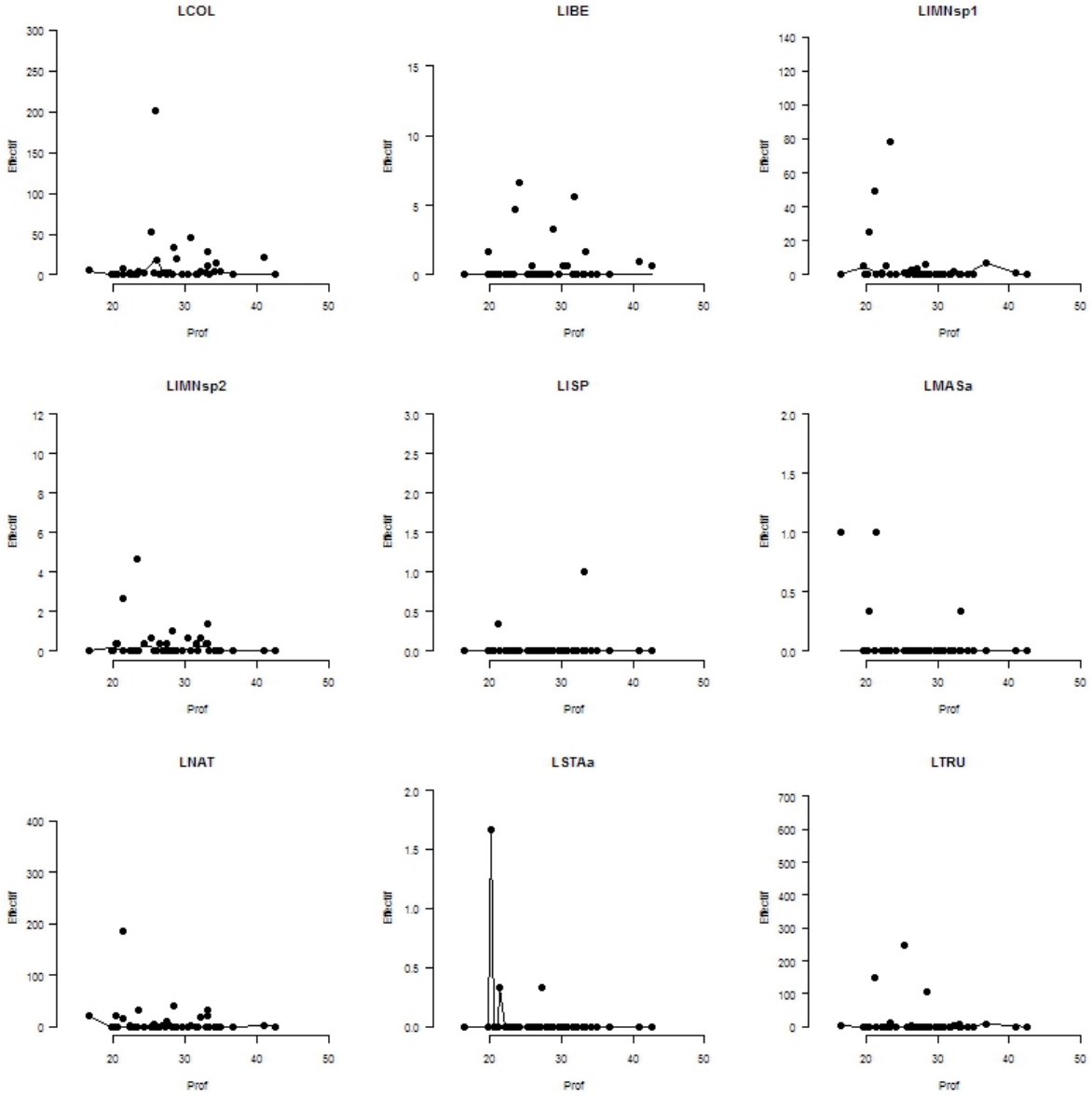

ZTOR
Effectif
Vitmoy

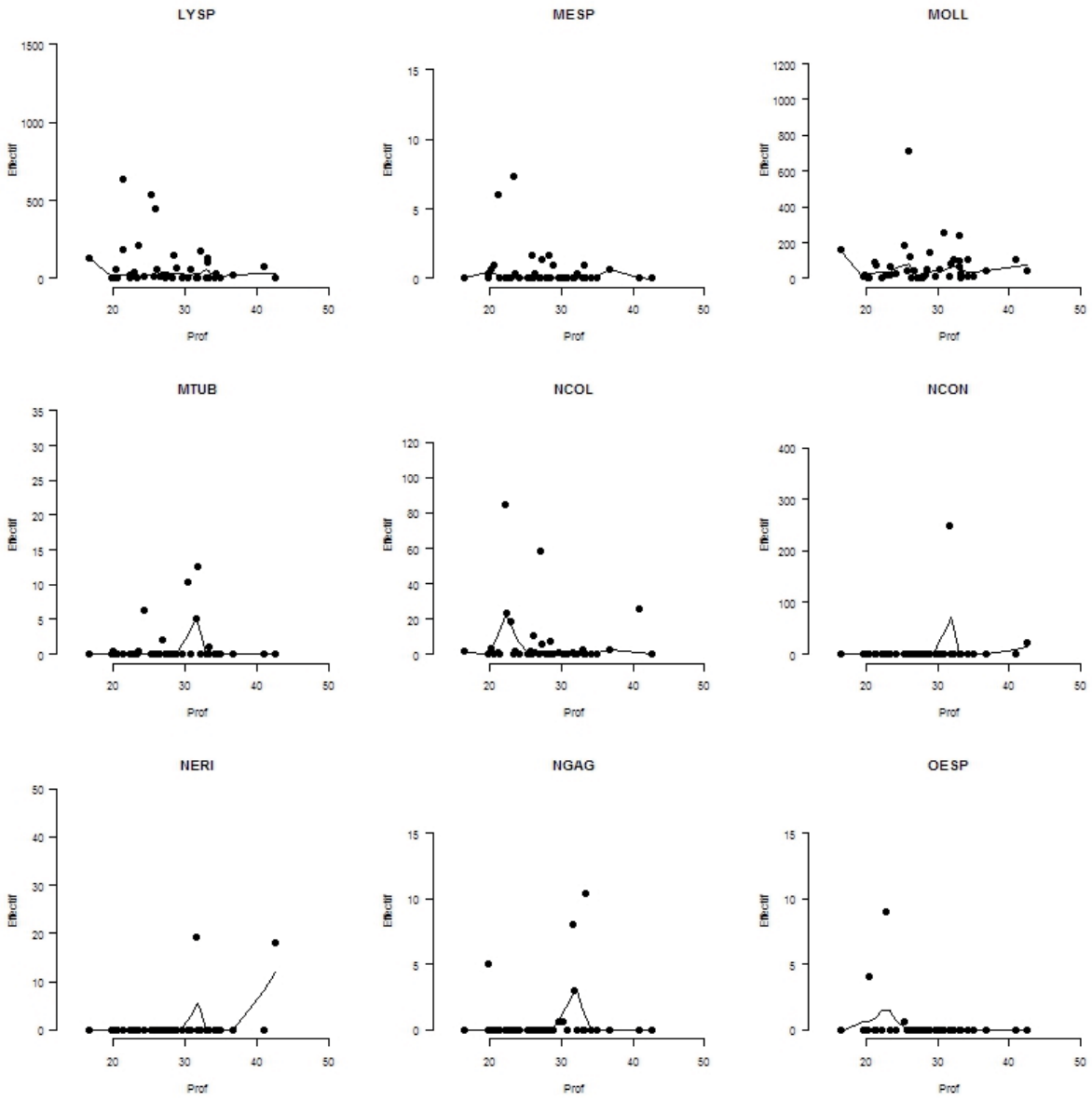

ACAR
ANIS
AROD
ASER
ATSP1
ATSP2
ATSP3
BWEB
CBET
Effectif
Prof

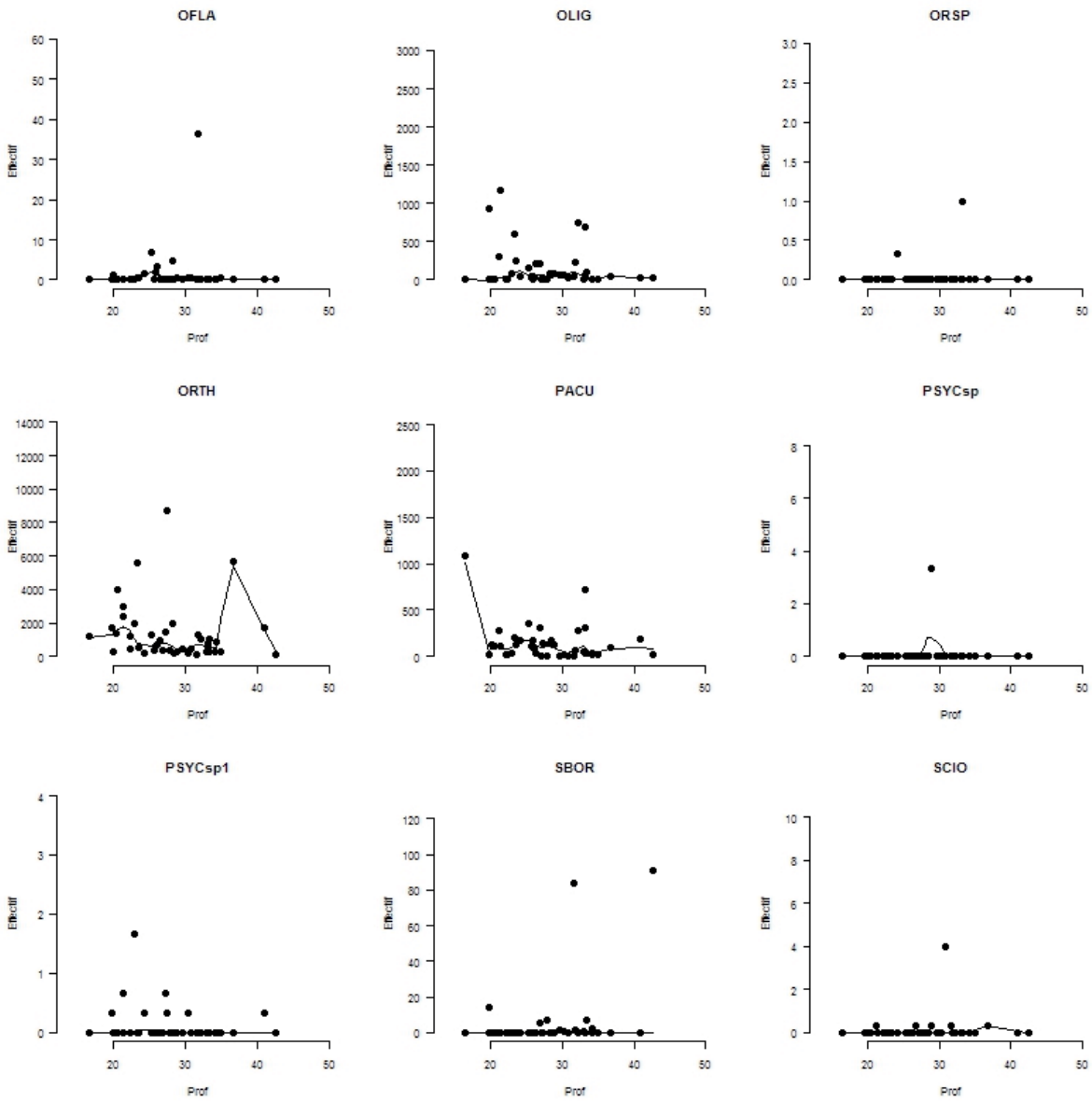

CHSP
CLIN
CLON
COEN
CREU
DASP
DISP
DOLI
DUSP
Effectif
Prof

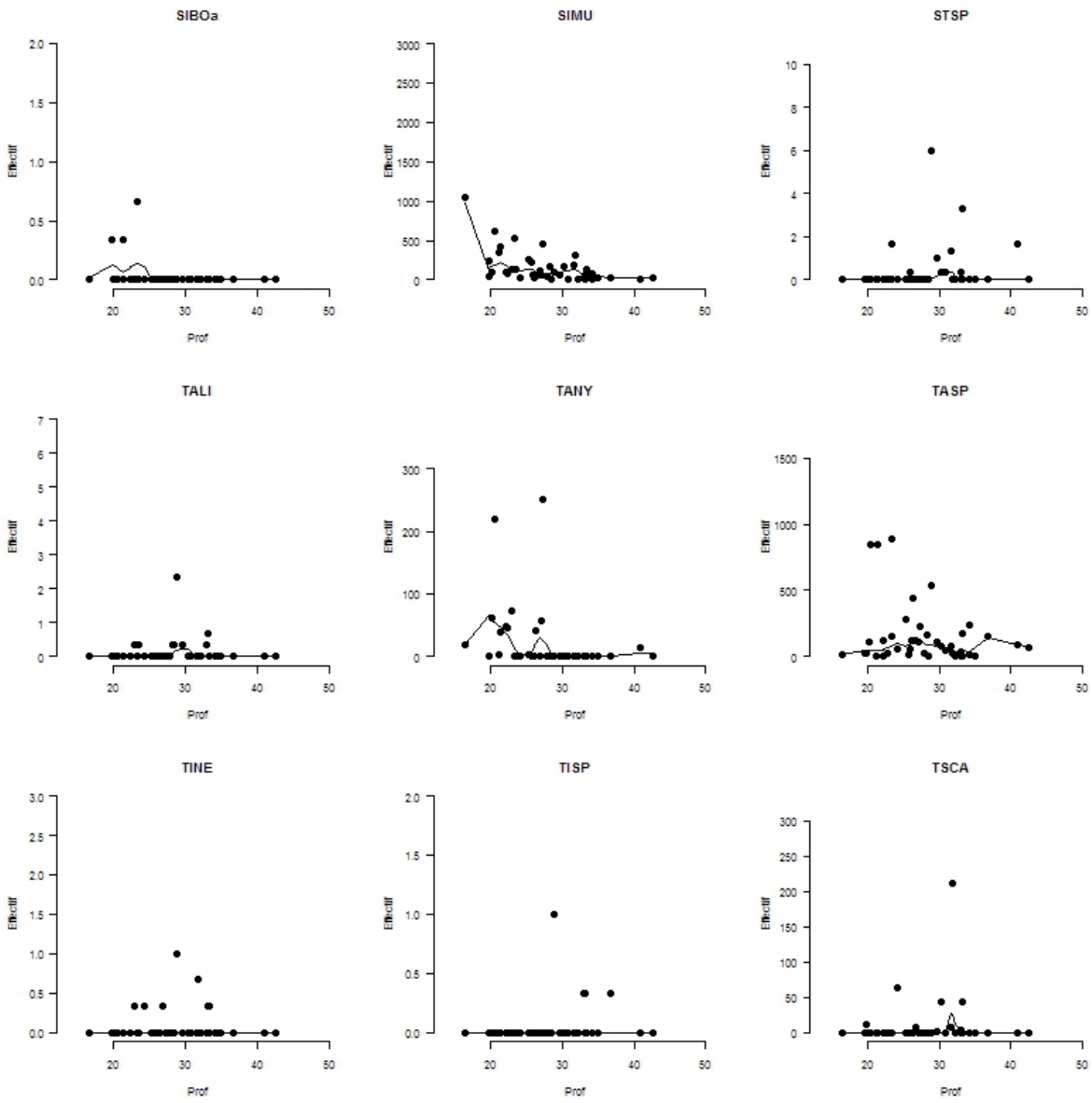

DYTI
EOSP
EPHYsp1
EPHYsp2
FMOD
FOSP
HATR
HEUR
HDUR
Effectif
Prof

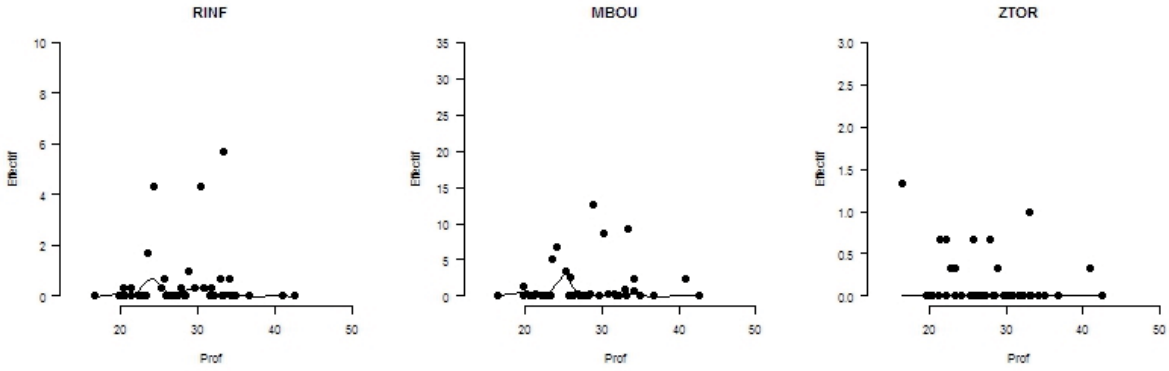

HEME
HGRU
HKIE
HLIA
HMOK
HSTA
HYSP
KESP
LASP
Effectif
Prof

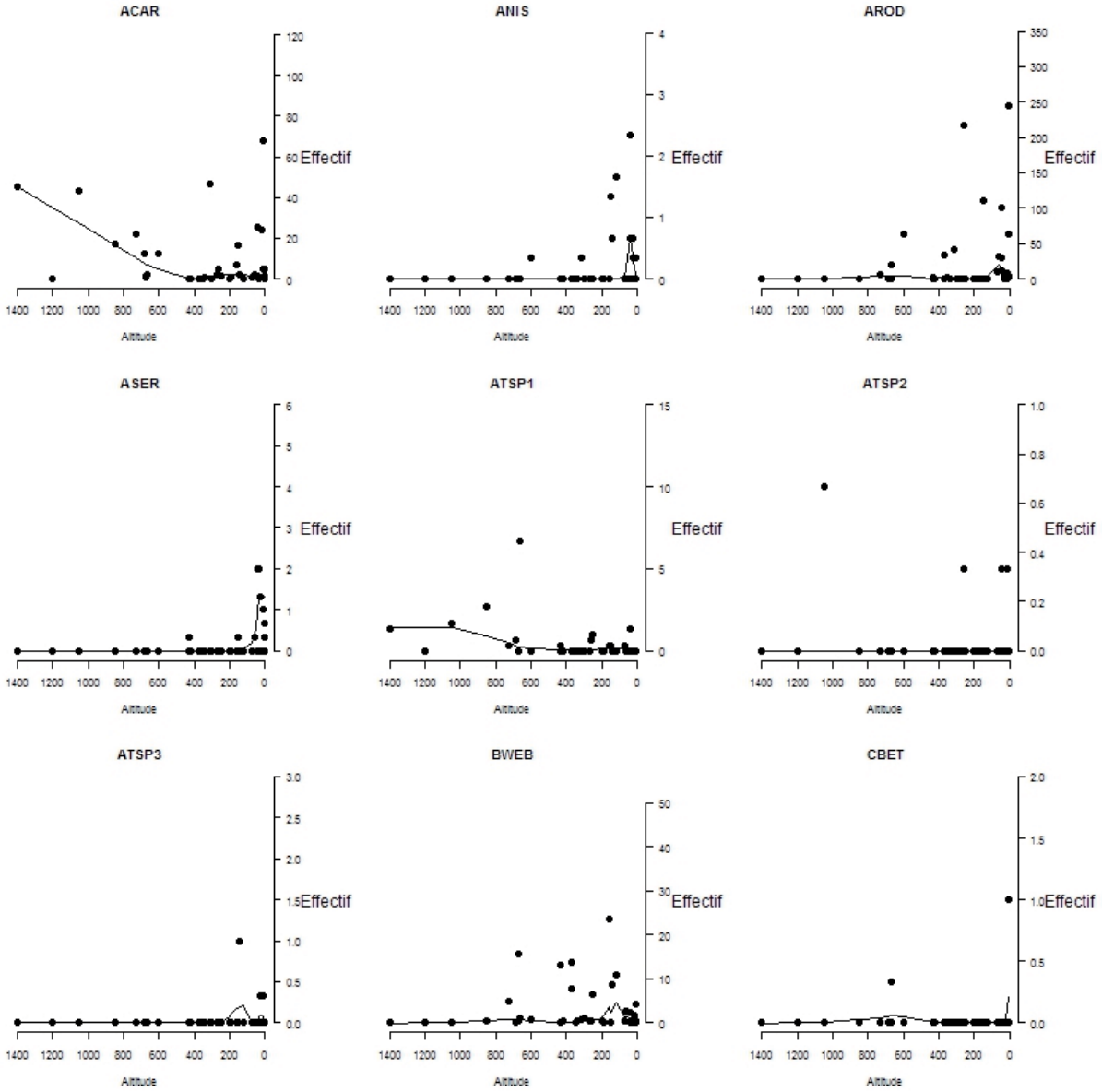

LCOL
LIBE
LIMNsp1
LIMNsp2
LISP
LMASa
LNAT
LSTAa
LTRU
Effectif
Prof

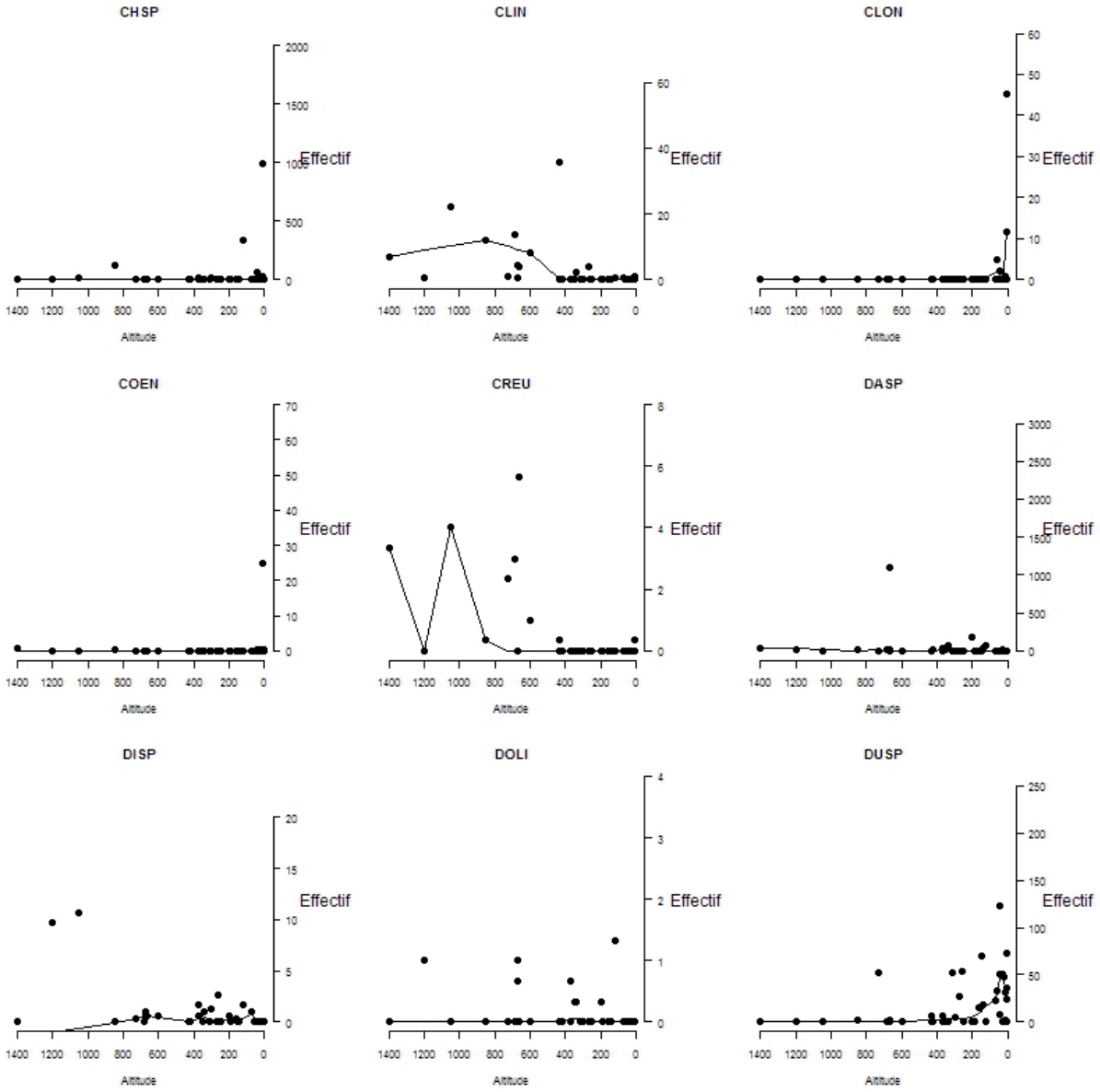

LYSP
MESP
MOLL
MTUB
NCOL
NCON
NERI
NGAG
OESP
Effectif
Prof

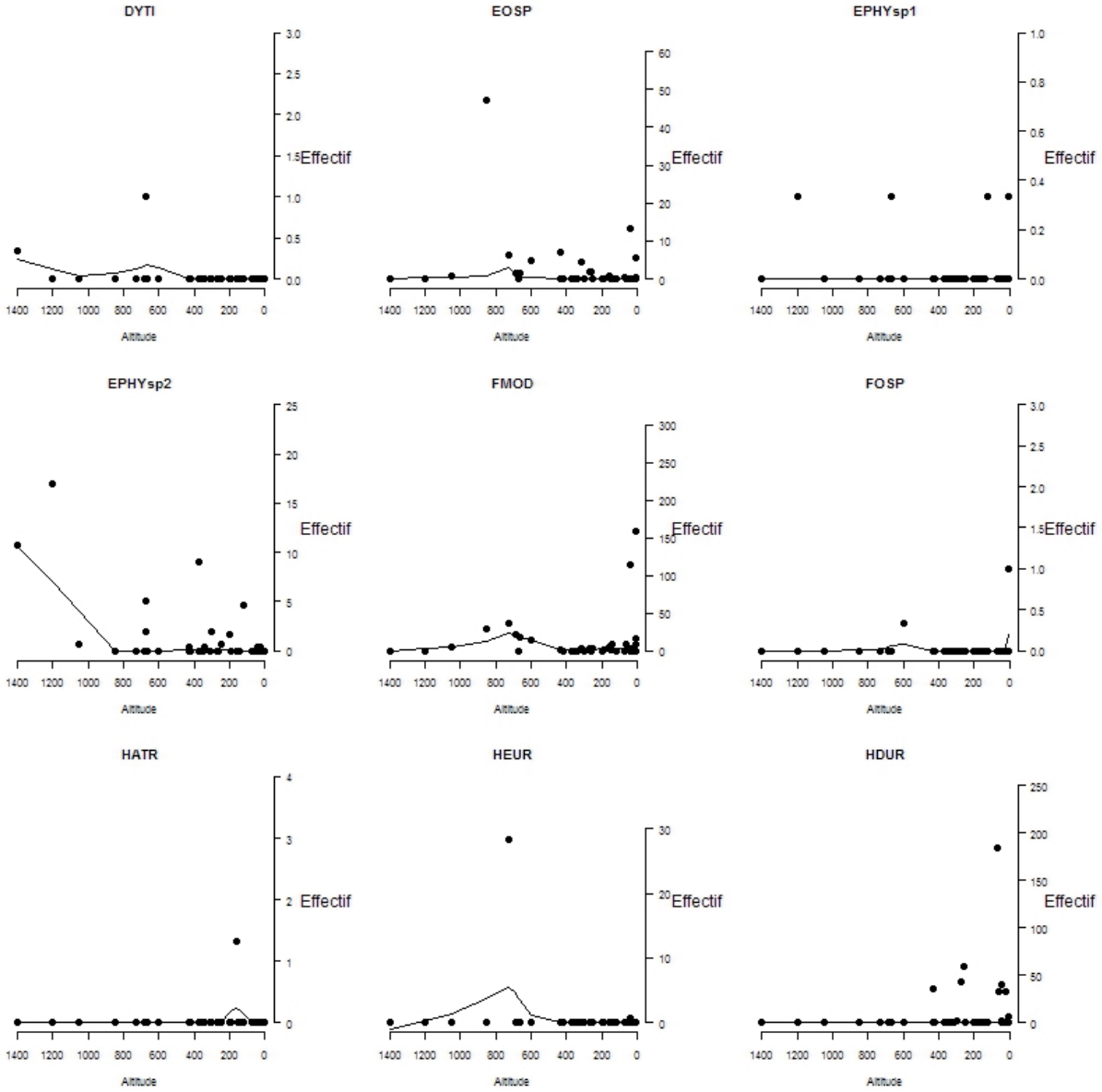

OFLA
OLIG
ORSP
ORTH
PACU
PSYCsp
PSYCsp1
SBOR
SCIO
Effectif
Prof

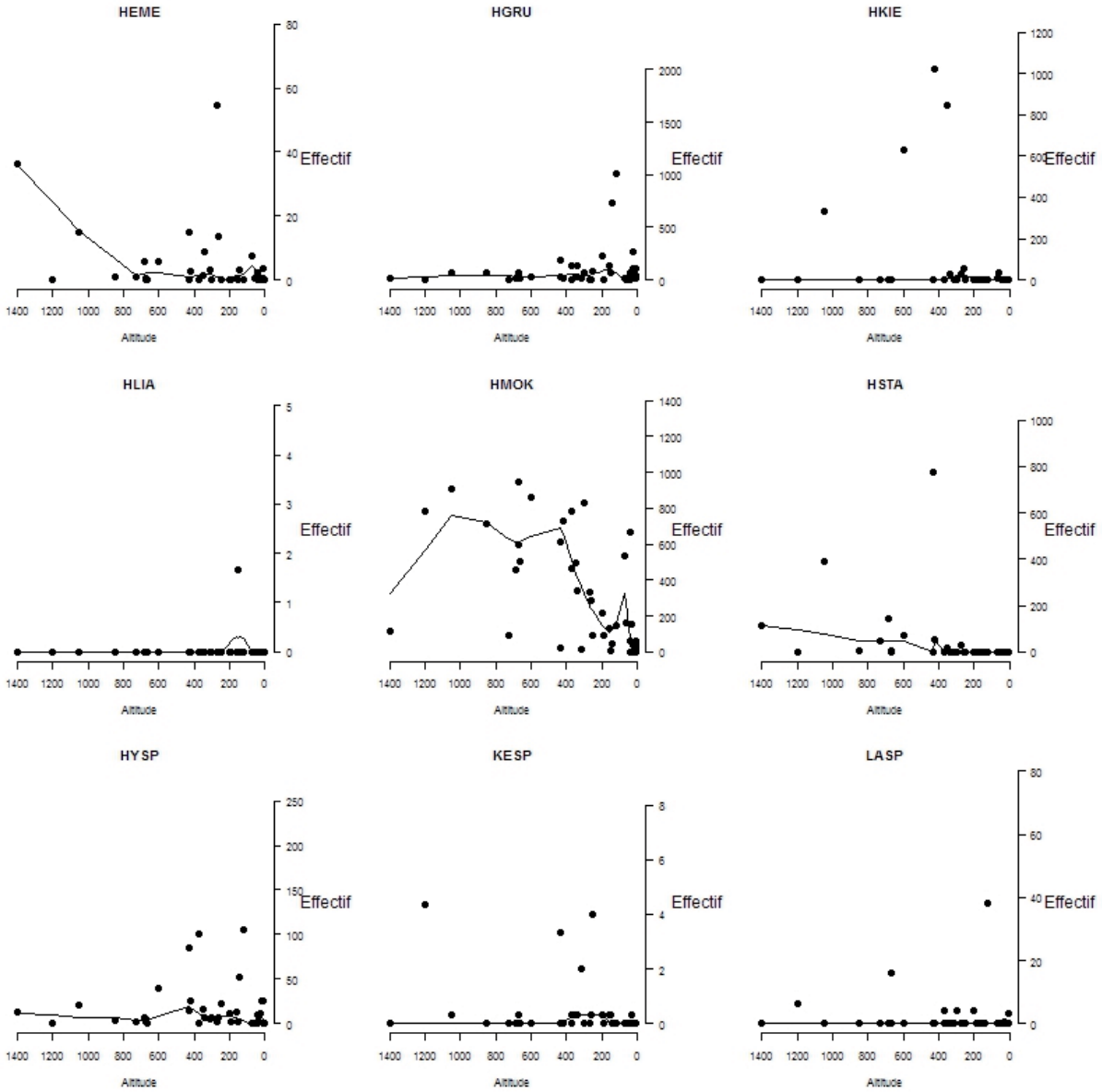

SIBOa
SIMU
STSP
TALI
TANY
TASP
TINE
TISP
TSCA
Effectif
Prof

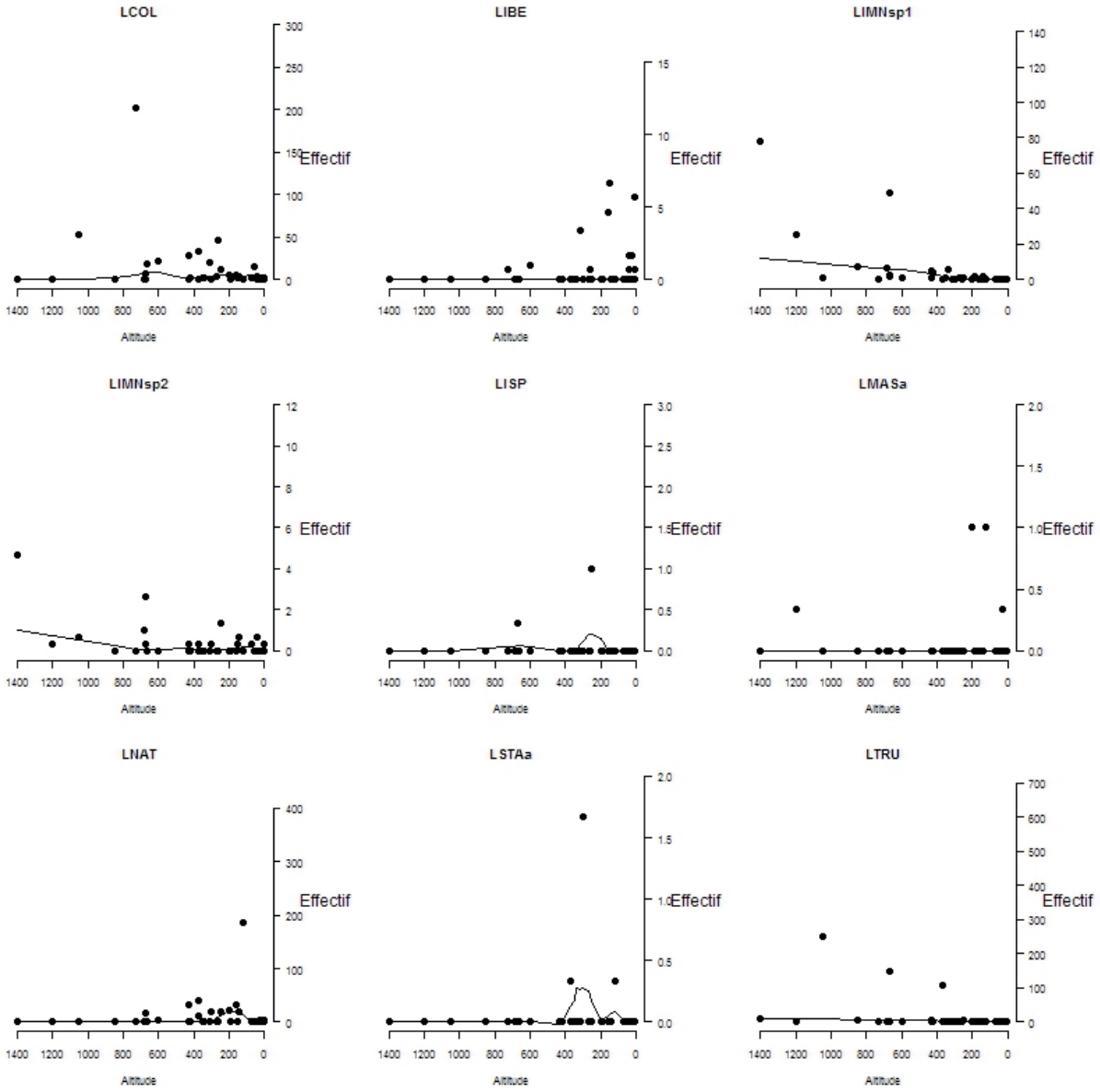

RINF
MBOU
ZTOR
Effectif
Prof

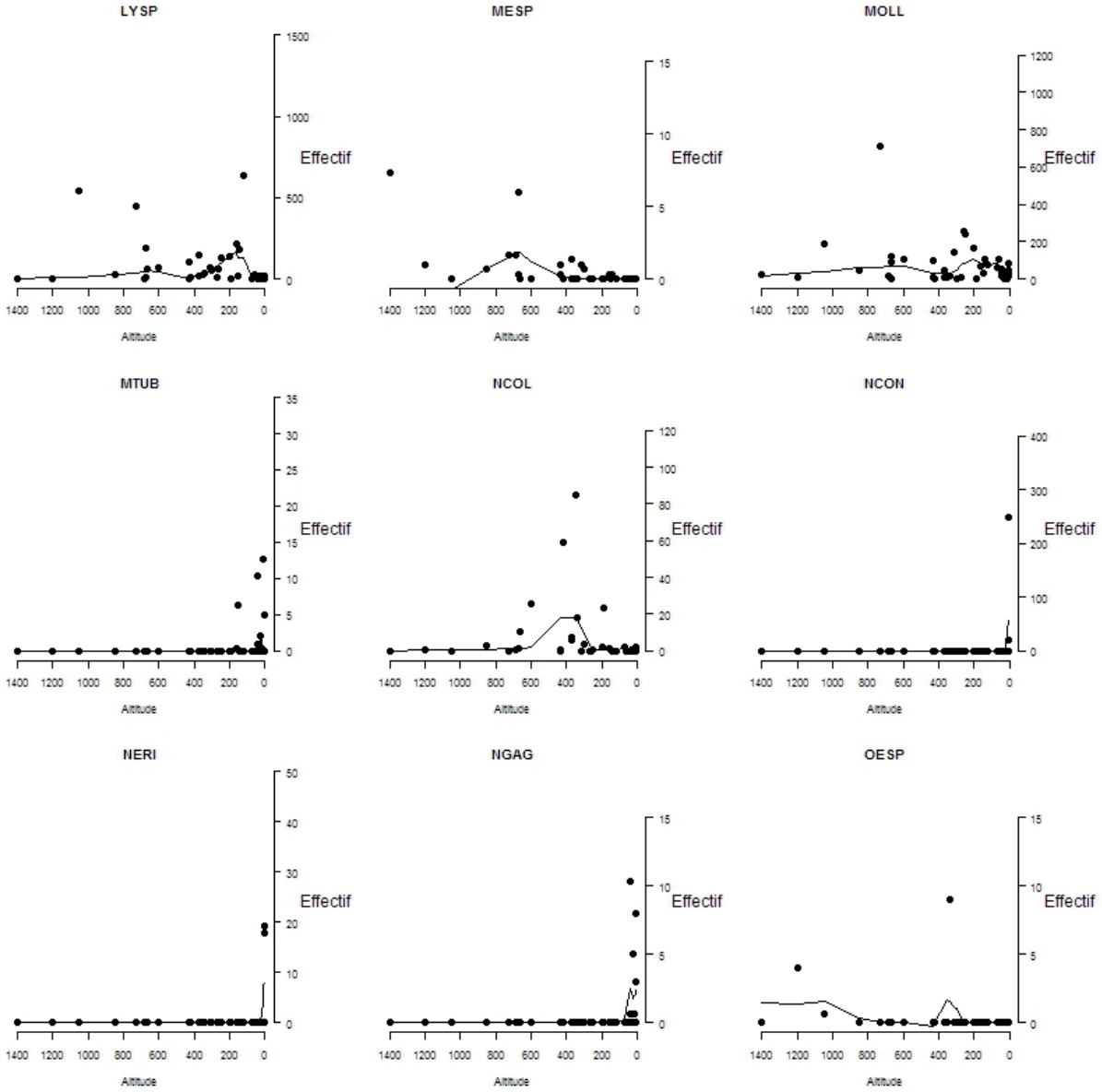

ACAR
ANIS
AROD
ASER
ATSP1
ATSP2
ATSP3
BWEB
CBET
Effectif
Altitude

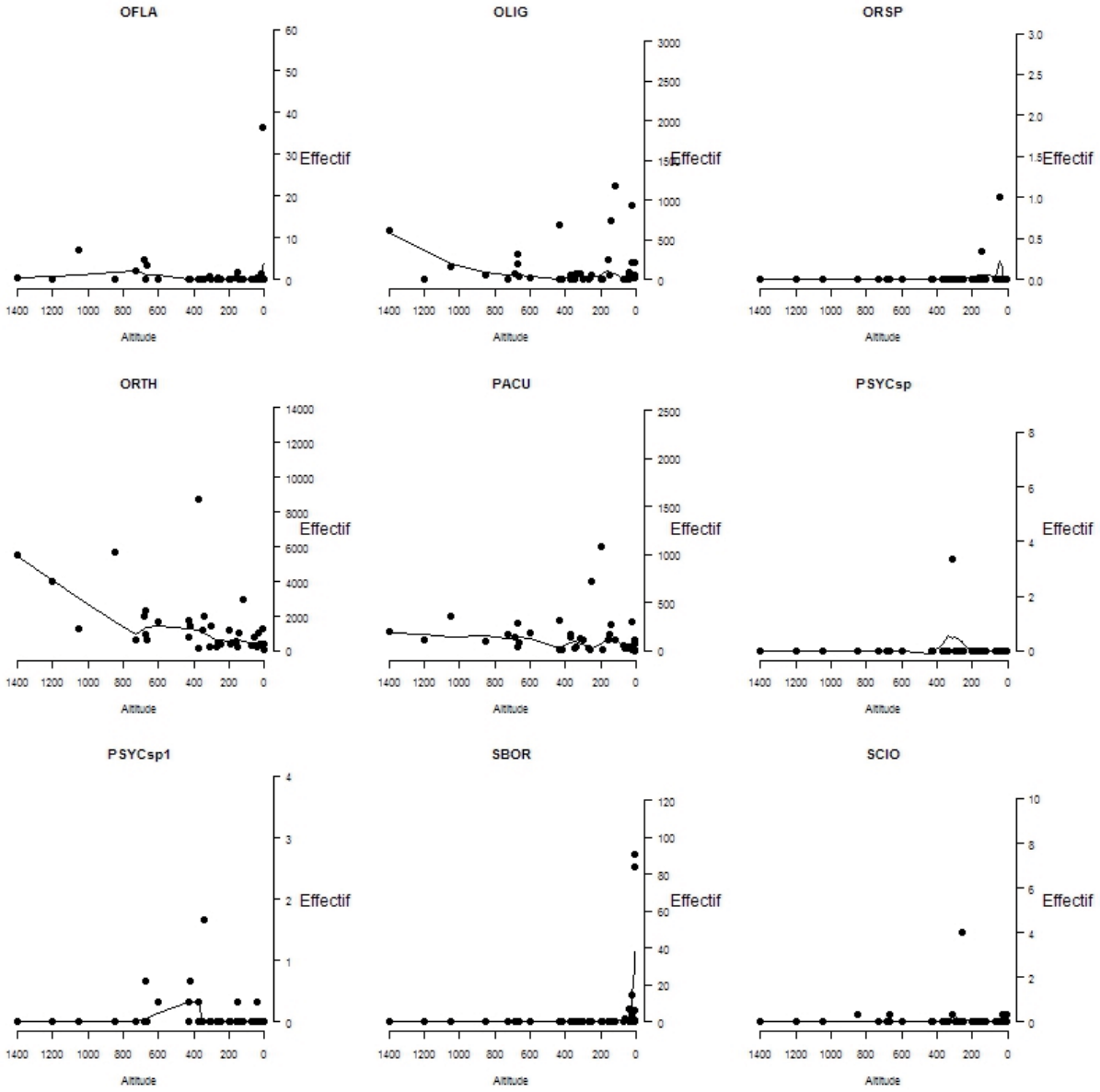

CHSP
CLIN
CLON
COEN
CREU
DASP
DISP
DOLI
DUSP
Effectif
Altitude

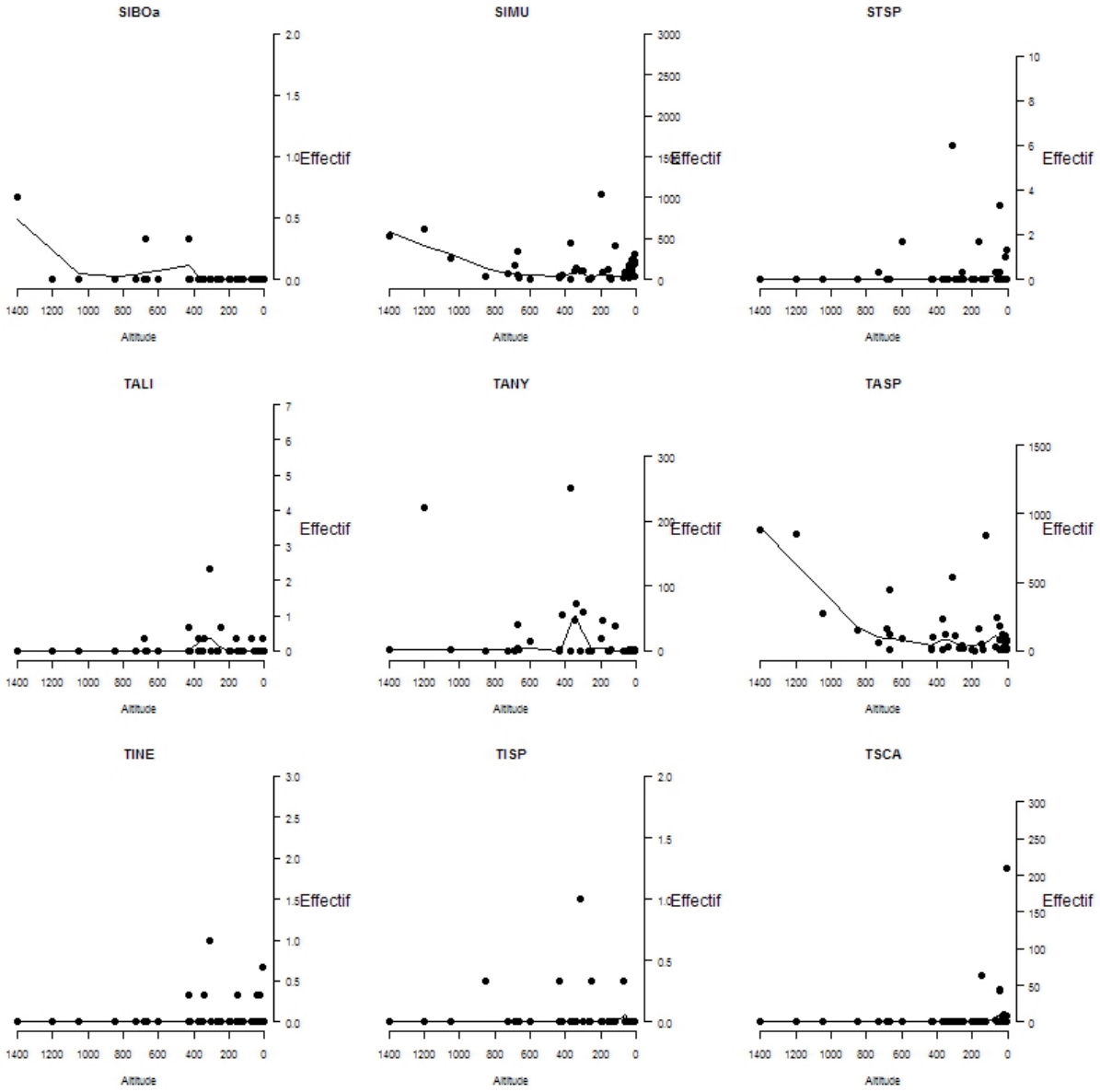

DYTI
EOSP
EPHYsp1
EPHYsp2
FMOD
FOSP
HATR
HEUR
HDUR
Effectif
Altitude

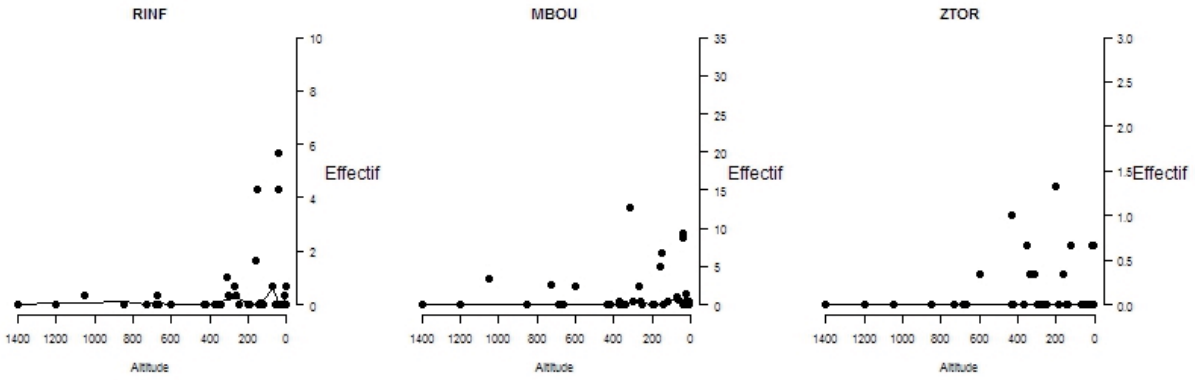

HEME
HGRU
HKIE
HLIA
HMOK
HSTA
HYSP
KESP
LASP
Effectif
Altitude

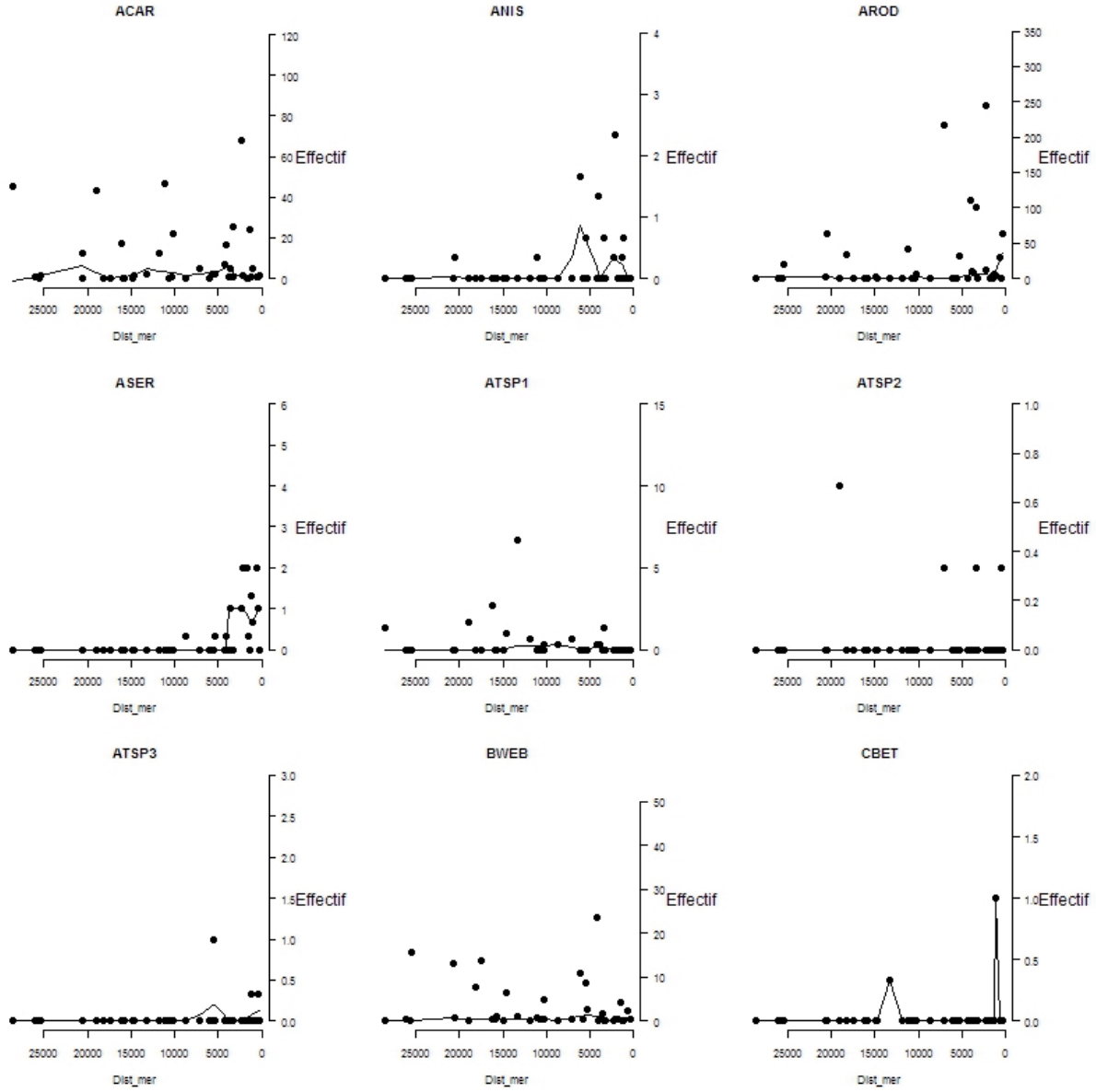

LCOL
LIBE
LIMNsp1
LIMNsp2
LISP
LMASa
LNAT
LSTAa
LTRU
Effectif
Altitude

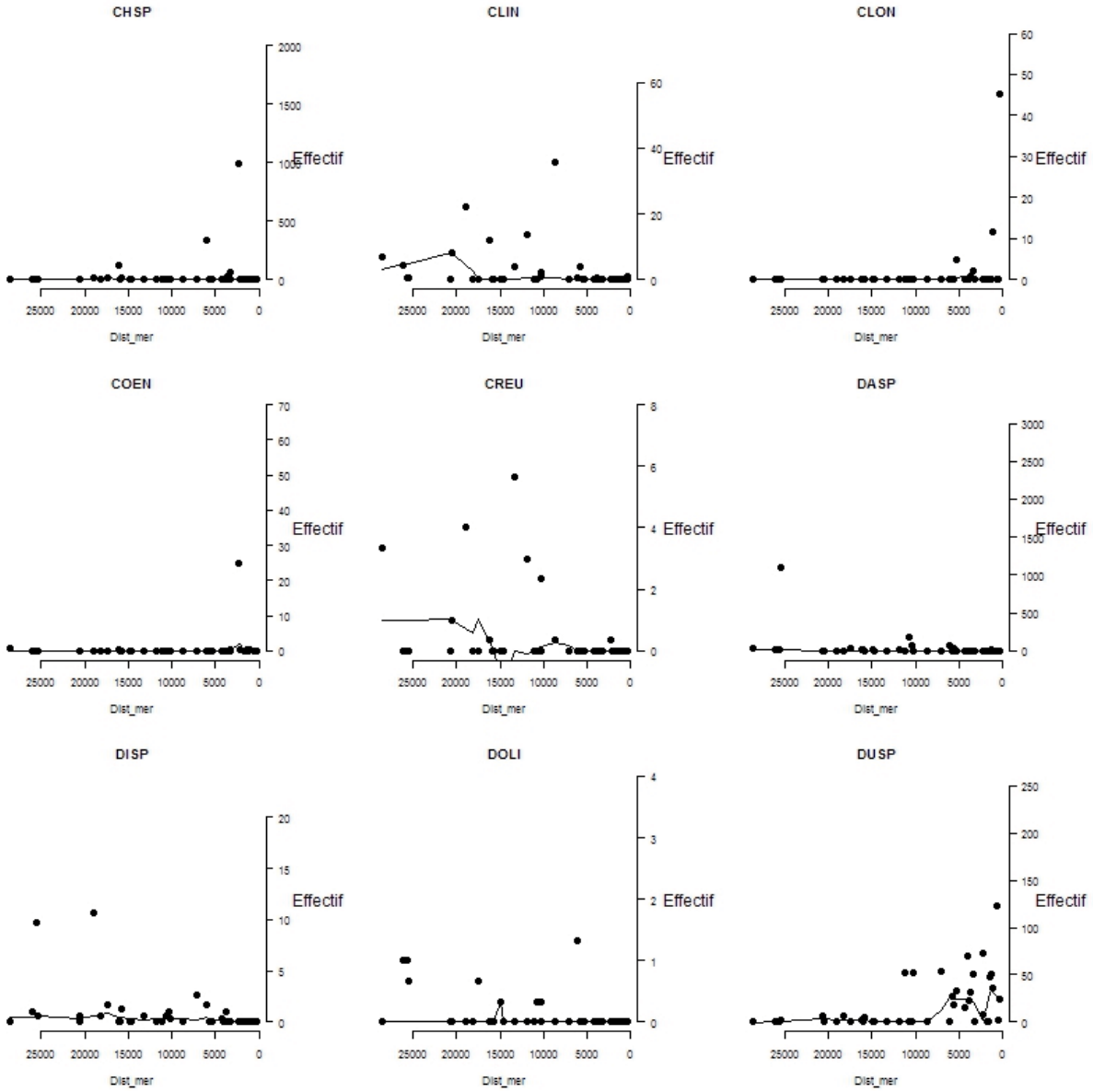

LYSP
MESP
MOLL
MTUB
NCOL
NCON
NERI
NGAG
OESP
Effectif
Altitude

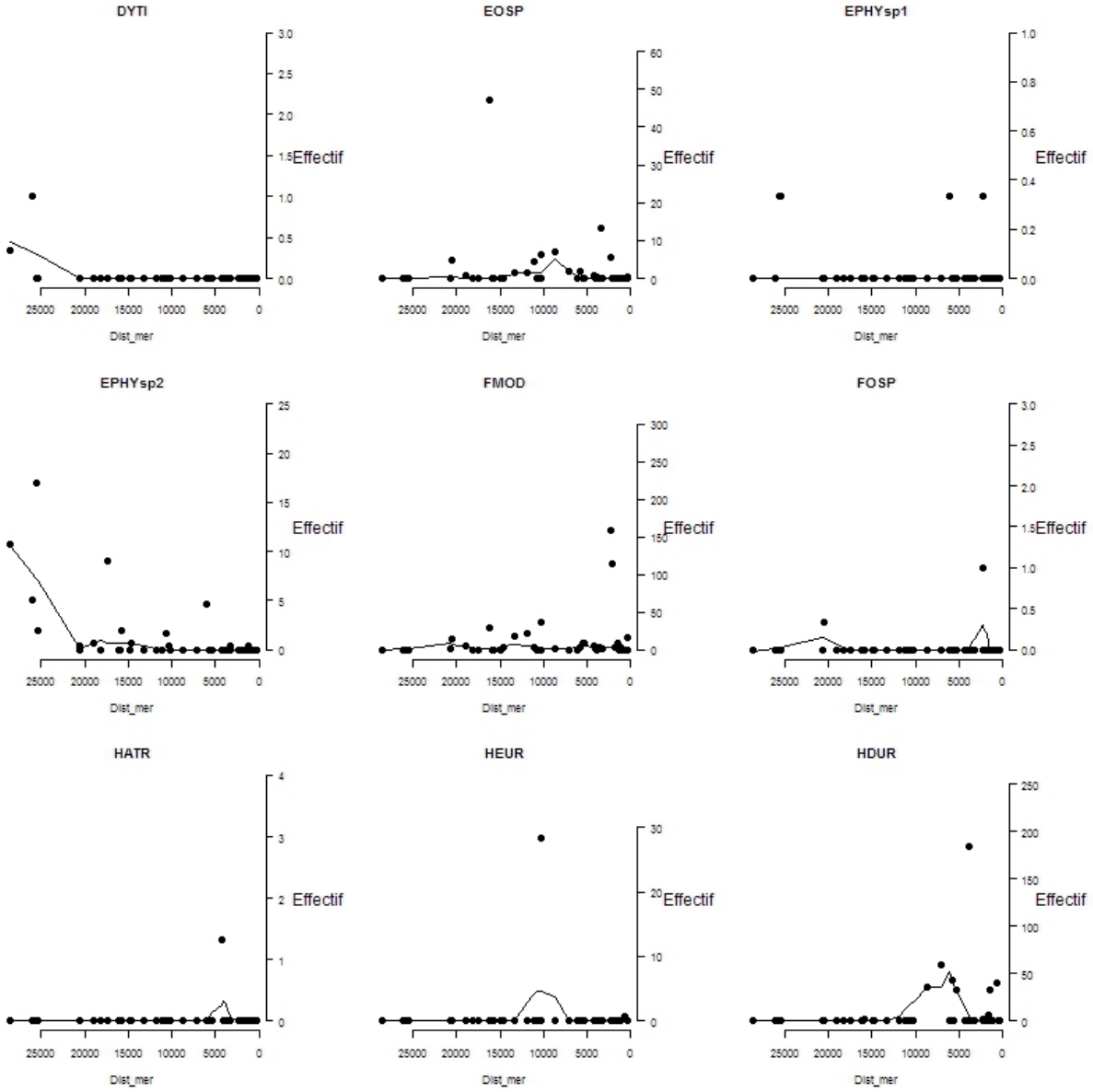

OFLA
OLIG
ORSP
ORTH
PACU
PSYCsp
PSYCsp1
SBOR
SCIO
Effectif
Altitude

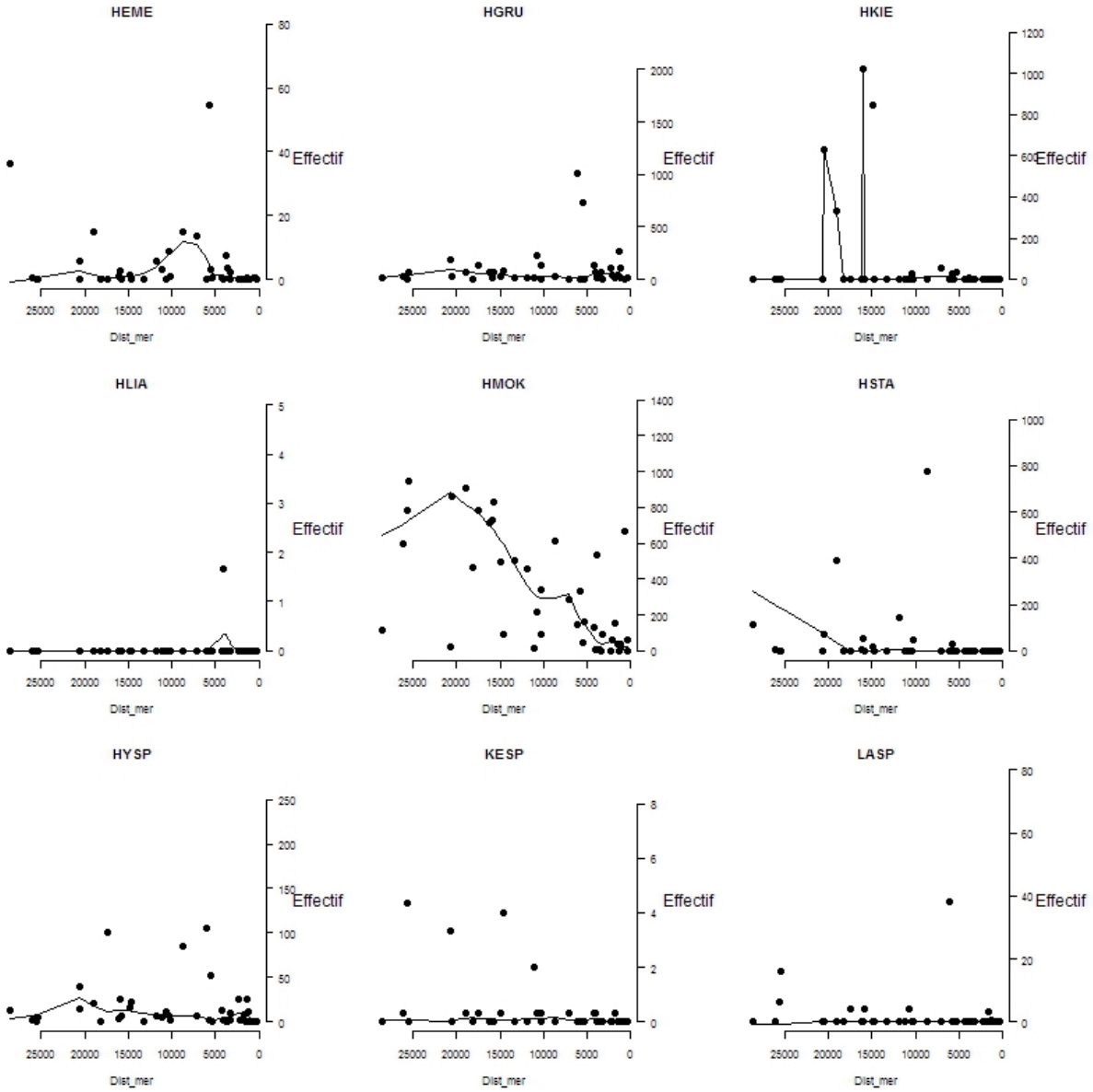

SIBOa
SIMU
STSP
TALI
TANY
TASP
TINE
TISP
TSCA
Effectif
Altitude

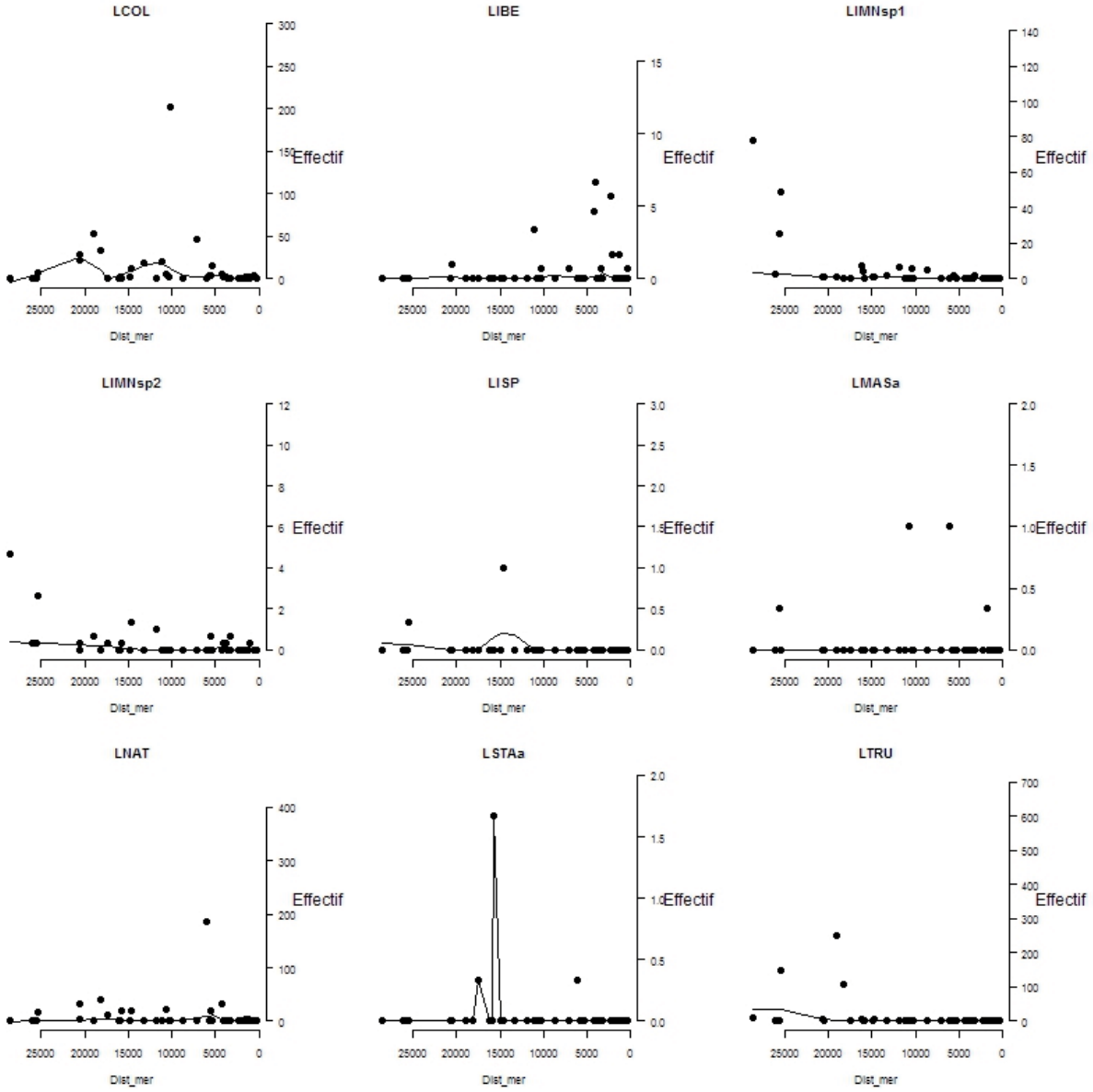

RINF
MBOU
ZTOR
Effectif
Effectif
Effectif
Altitude
Altitude
Altitude

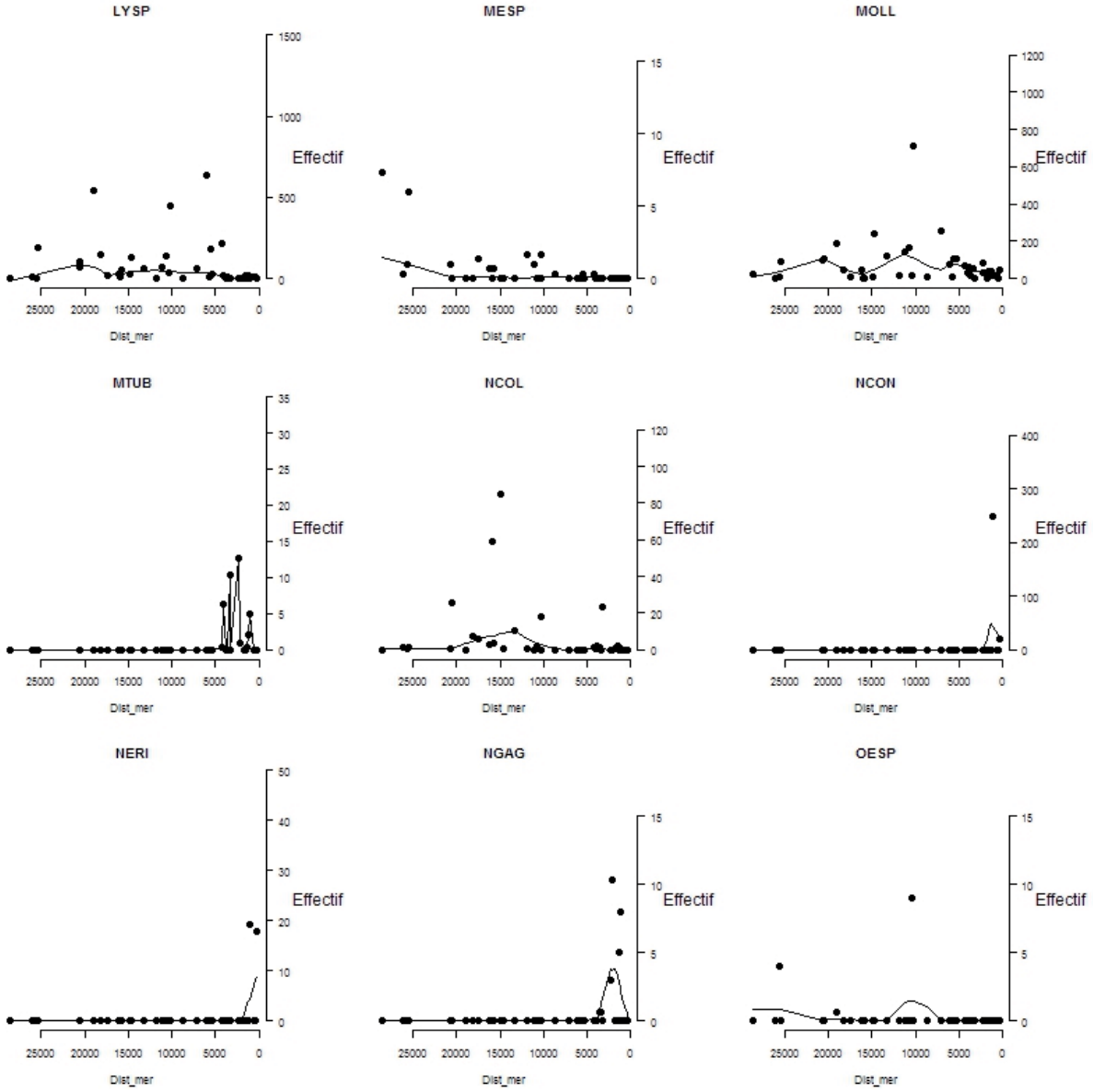

ACAR
ANIS
AROD
ASER
ATSP1
ATSP2
ATSP3
BWEB
CBET
Effectif
Dist_mer

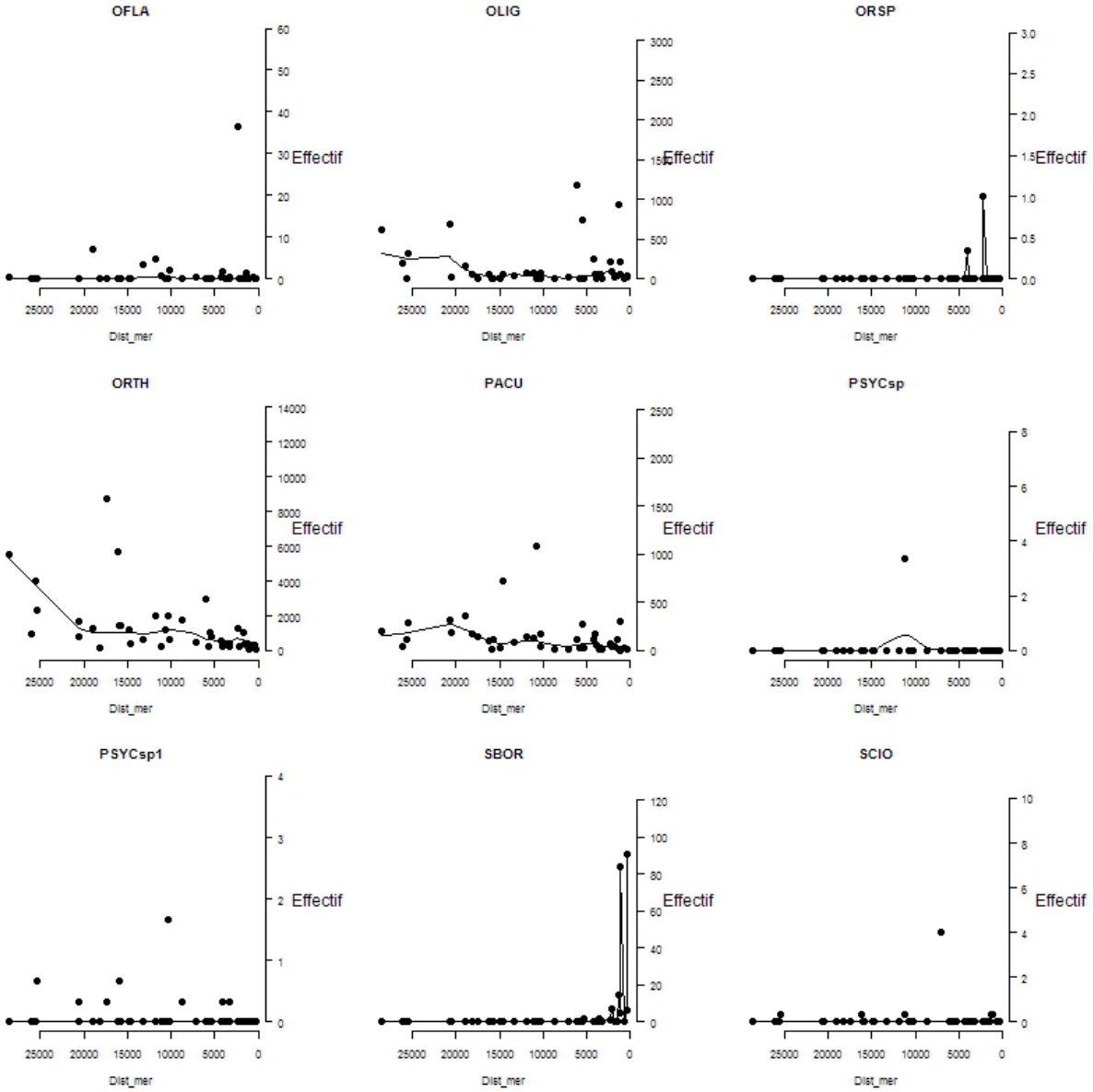

CHSP
CLIN
CLON
COEN
CREU
DASP
DISP
DOLI
DUSP
Effectif
Dist_mer

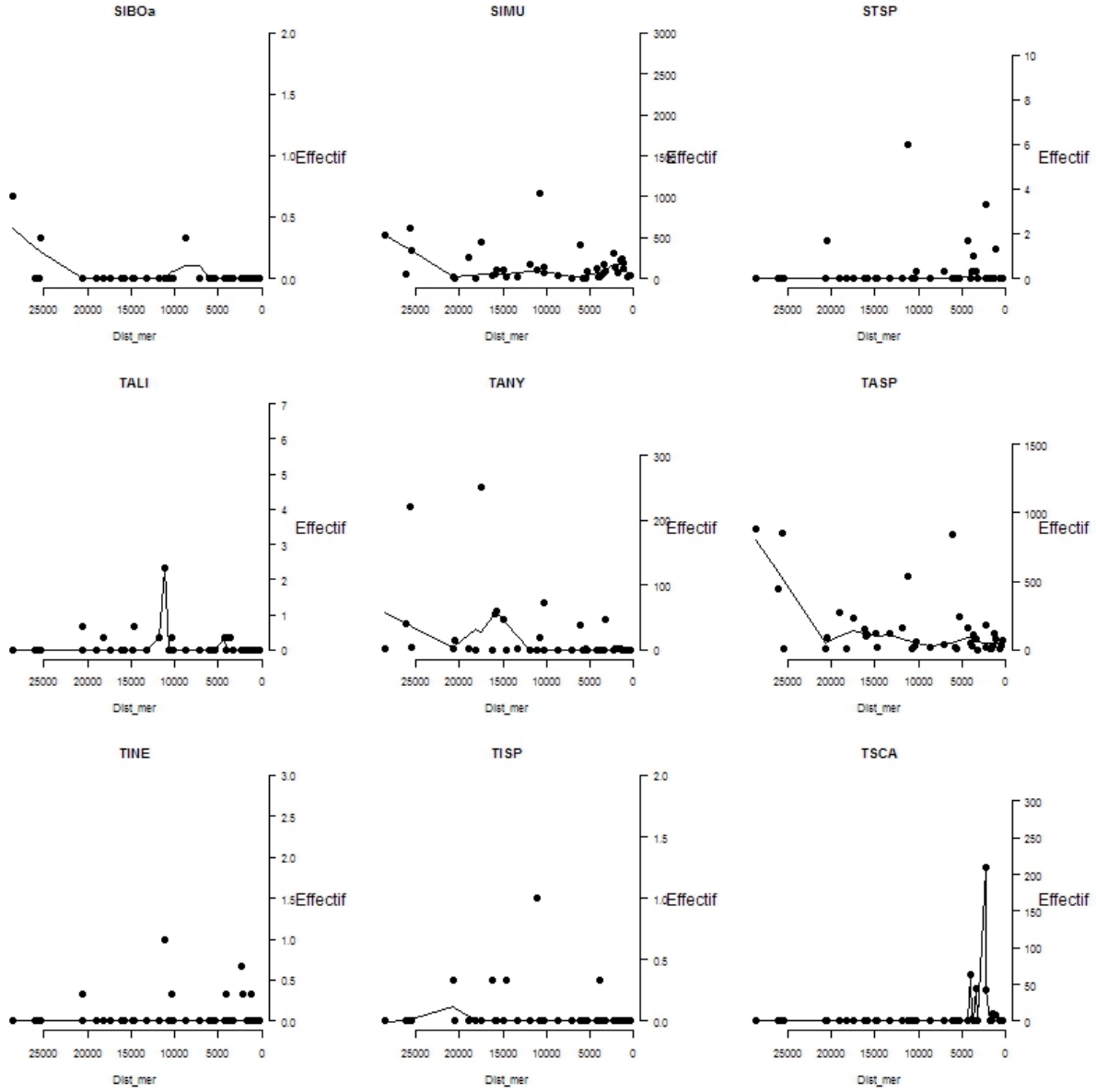

DYTI
EOSP
EPHYsp1
EPHYsp2
FMOD
FOSP
HATR
HEUR
HDUR
Effectif
Dist_mer

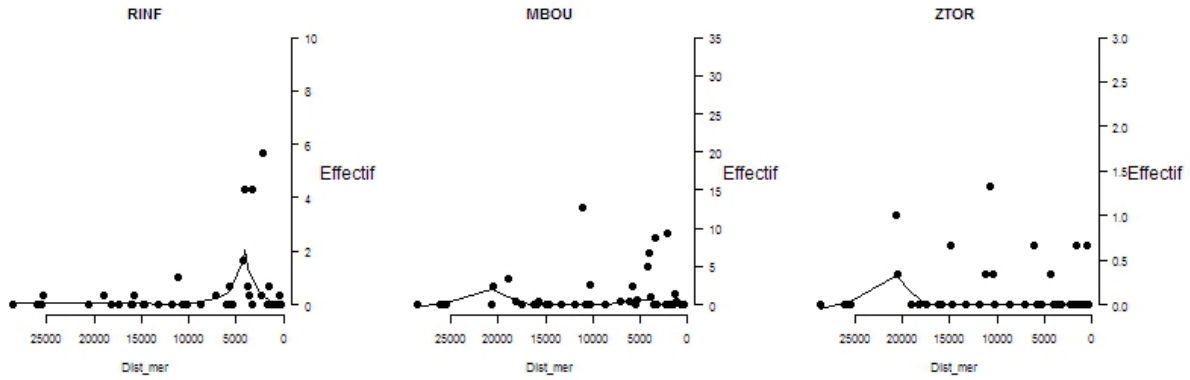

HEME
HGRU
HKIE
HLIA
HMOK
HSTA
HYSP
KESP
LASP
Effectif
Dist_mer

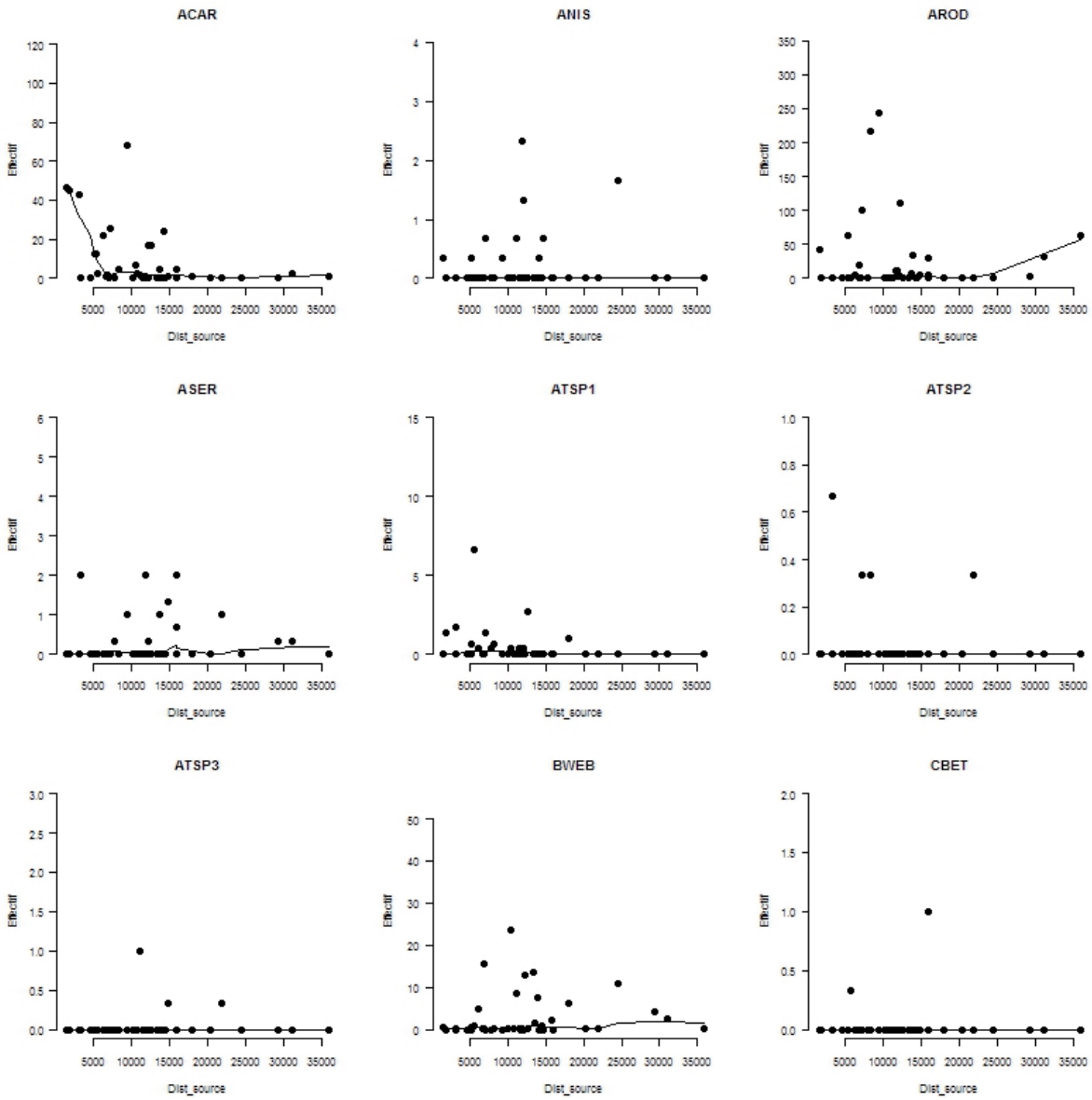

LCOL
LIBE
LIMNsp1
LIMNsp2
LISP
LMASa
LNAT
LSTAa
LTRU
Effectif
Dist_mer

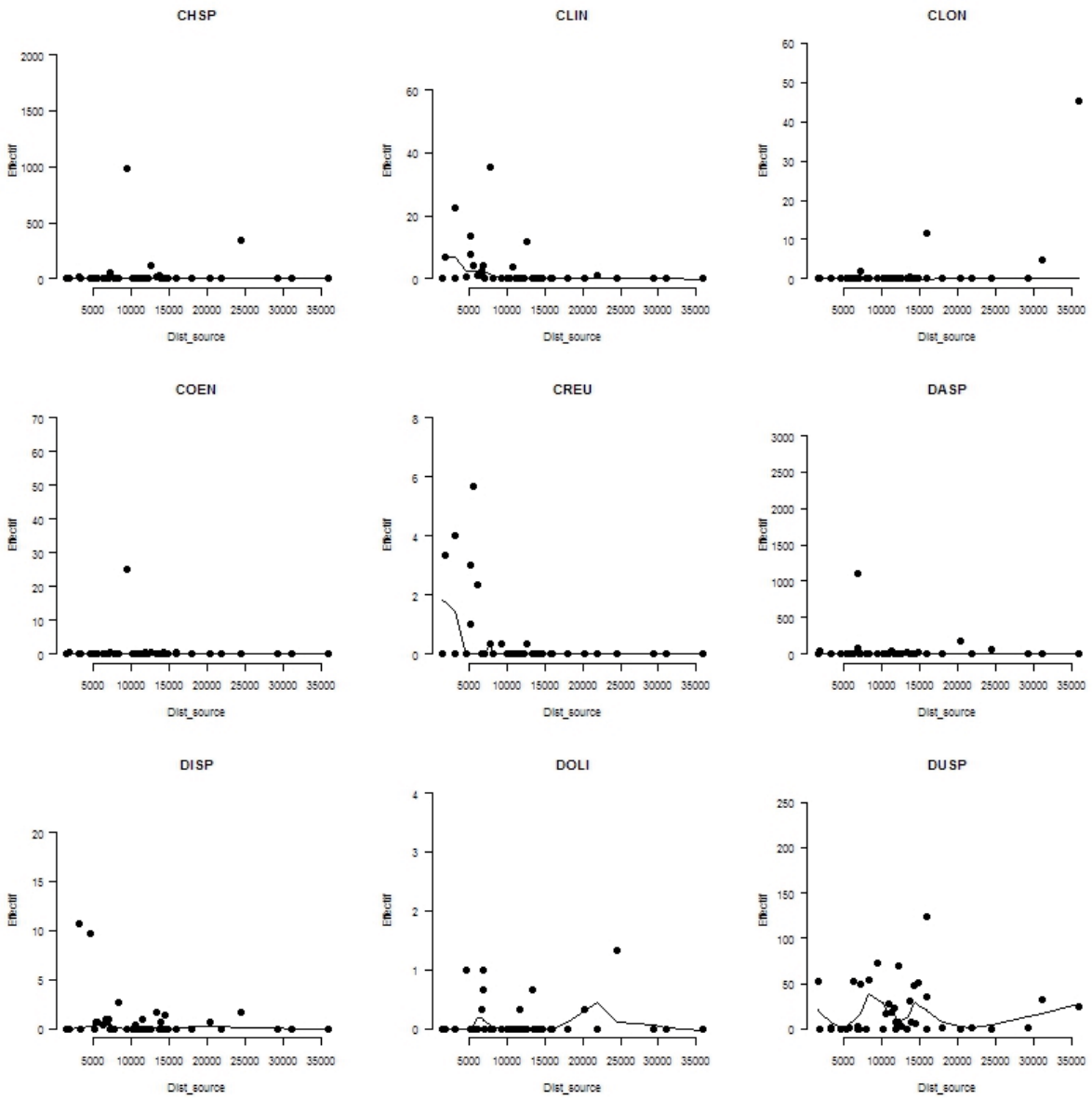

LYSP
MESP
MOLL
MTUB
NCOL
NCON
NERI
NGAG
OESP
Effectif
Dist_mer

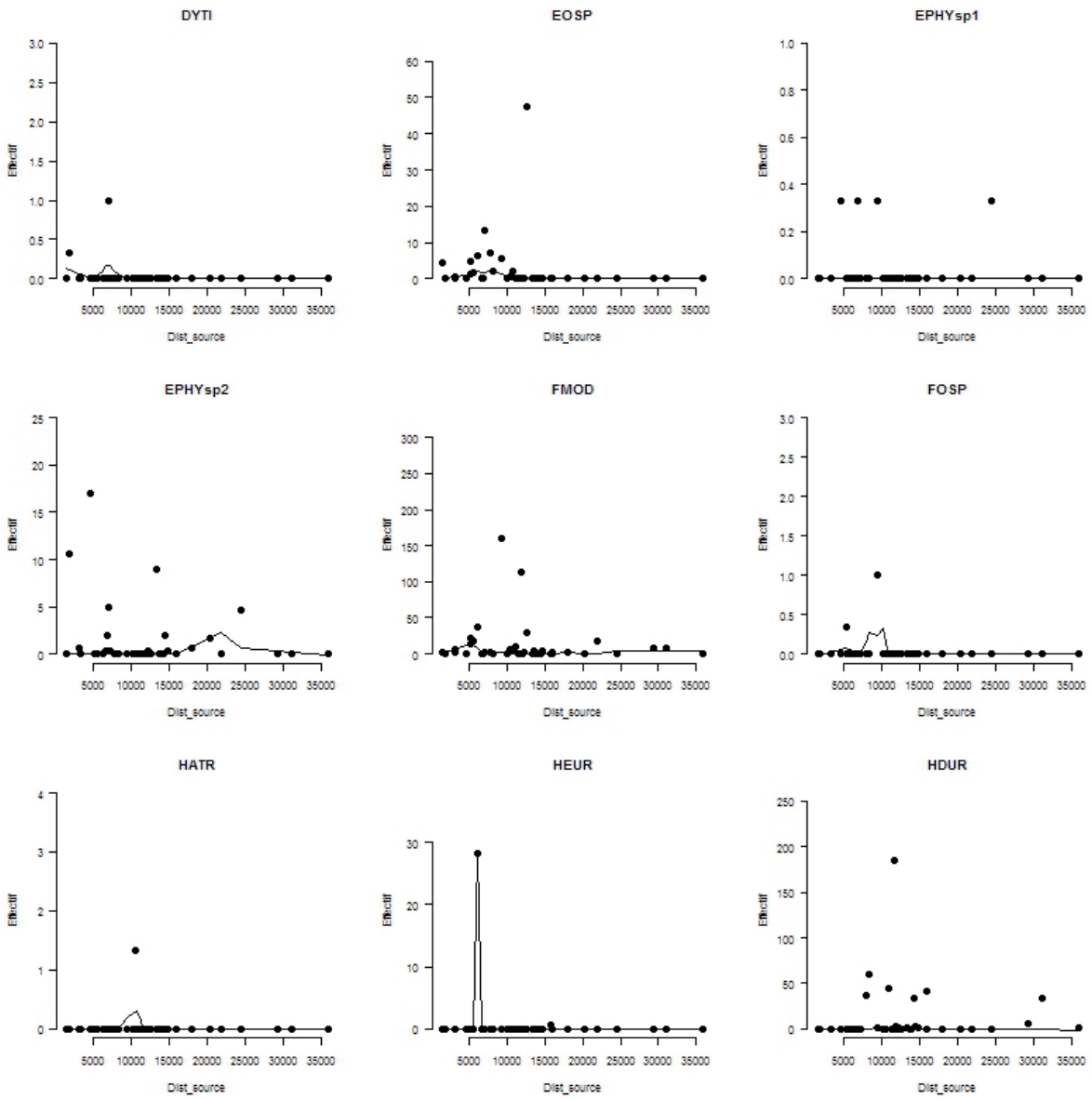

OFLA
OLIG
ORSP
ORTH
PACU
PSYCsp
PSYCsp1
SBOR
SCIO
Effectif
Dist_mer

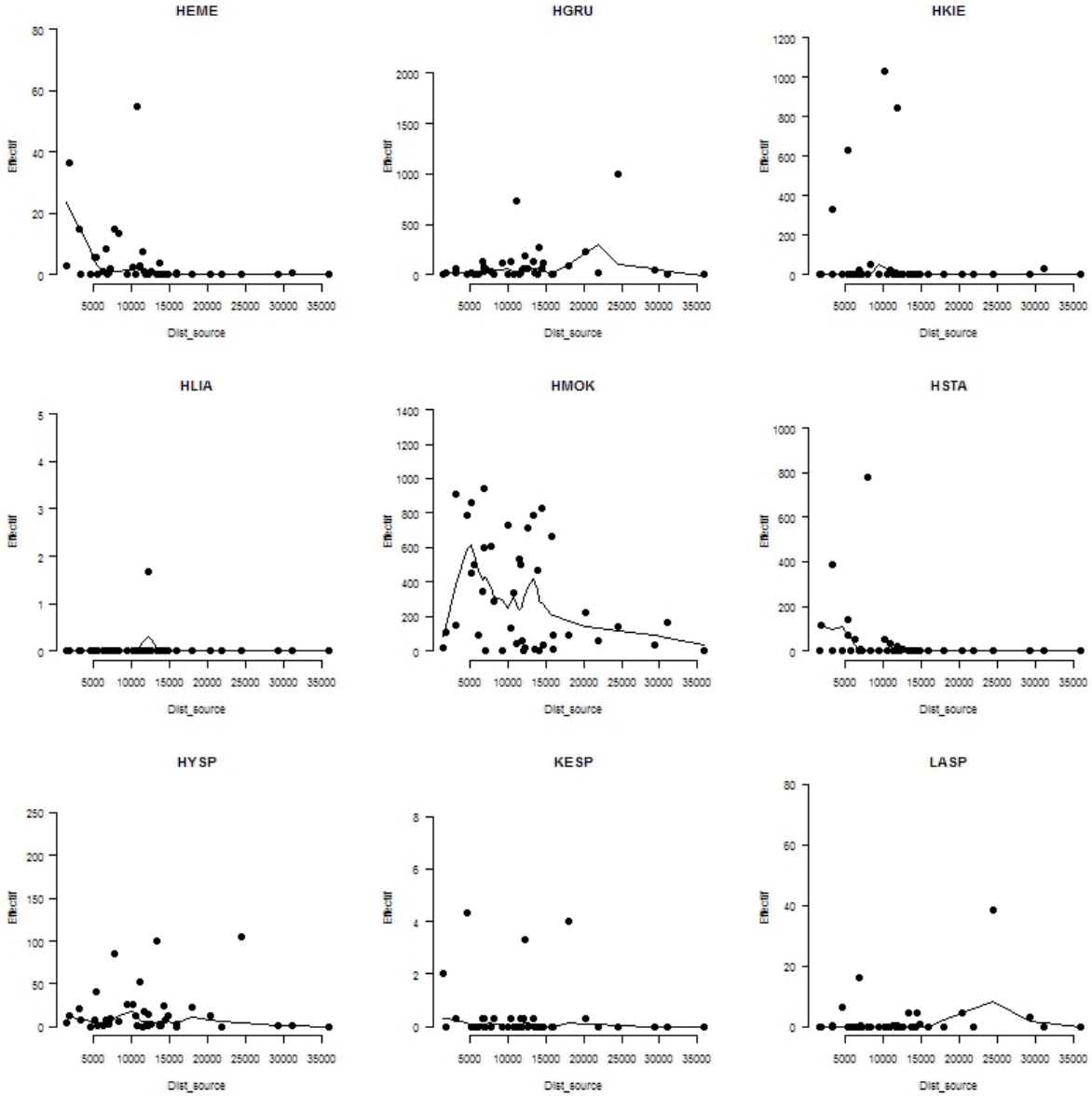

SIBOa
SIMU
STSP
TALI
TANY
TASP
TINE
TISP
TSCA
Effectif
Dist_mer

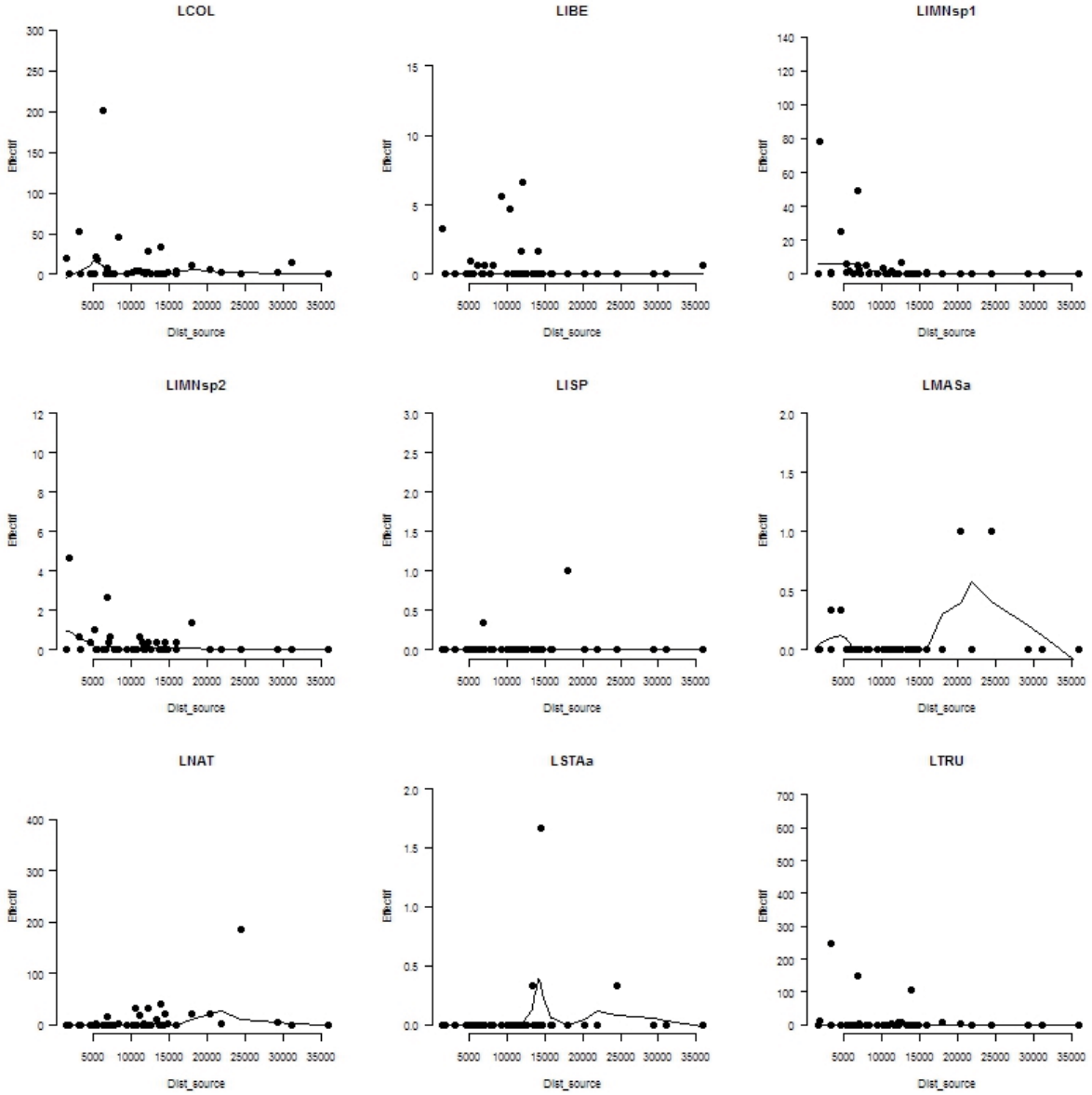

RINF
MBOU
ZTOR
Effectif
Dist_mer

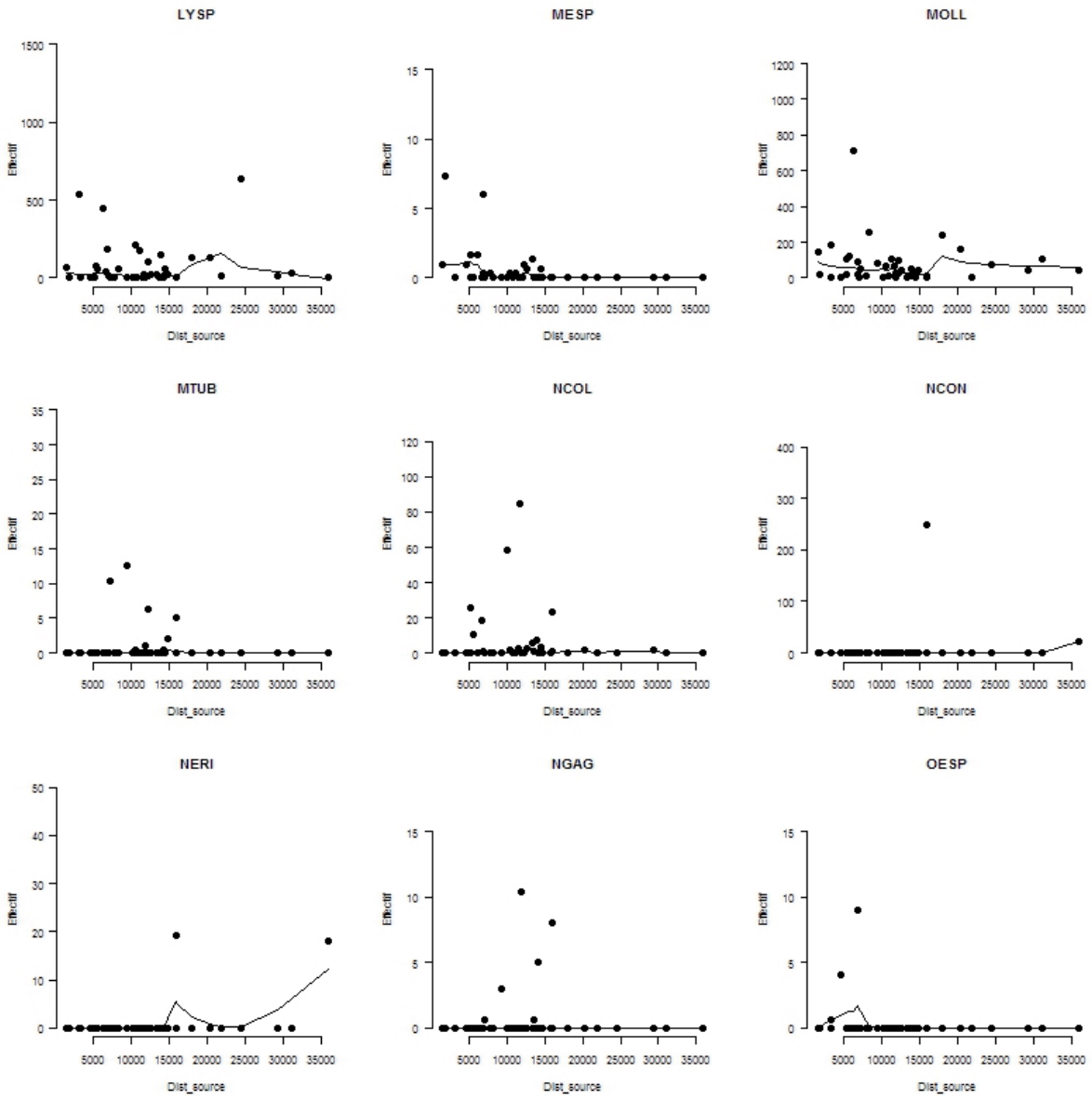

ACAR
ANIS
AROD
ASER
ATSP1
ATSP2
ATSP3
BWEB
CBET
Effectif
Dist_source

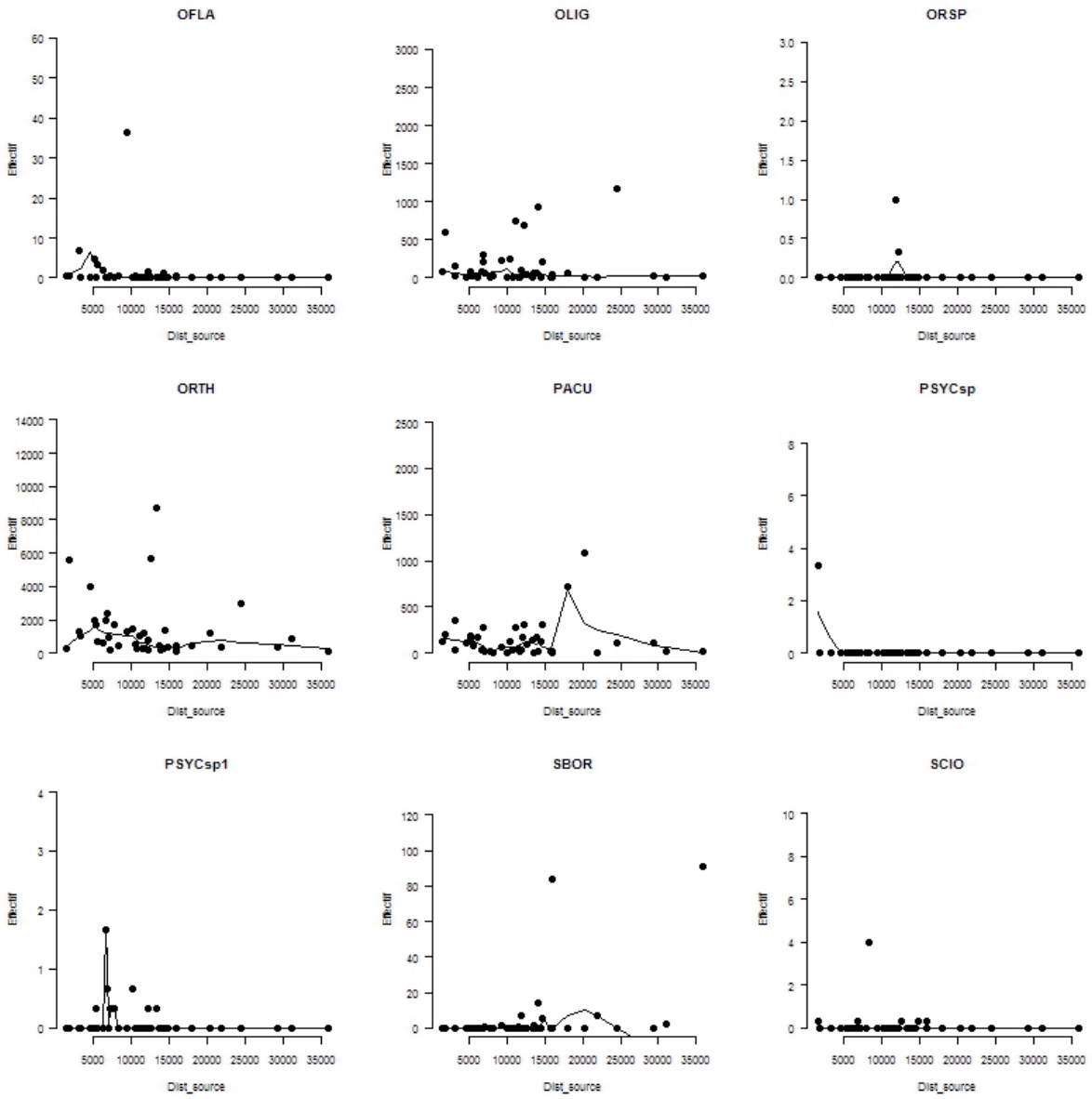

CHSP
CLIN
CLON
COEN
CREU
DASP
DISP
DOLI
DUSP
Effectif
Dist_source

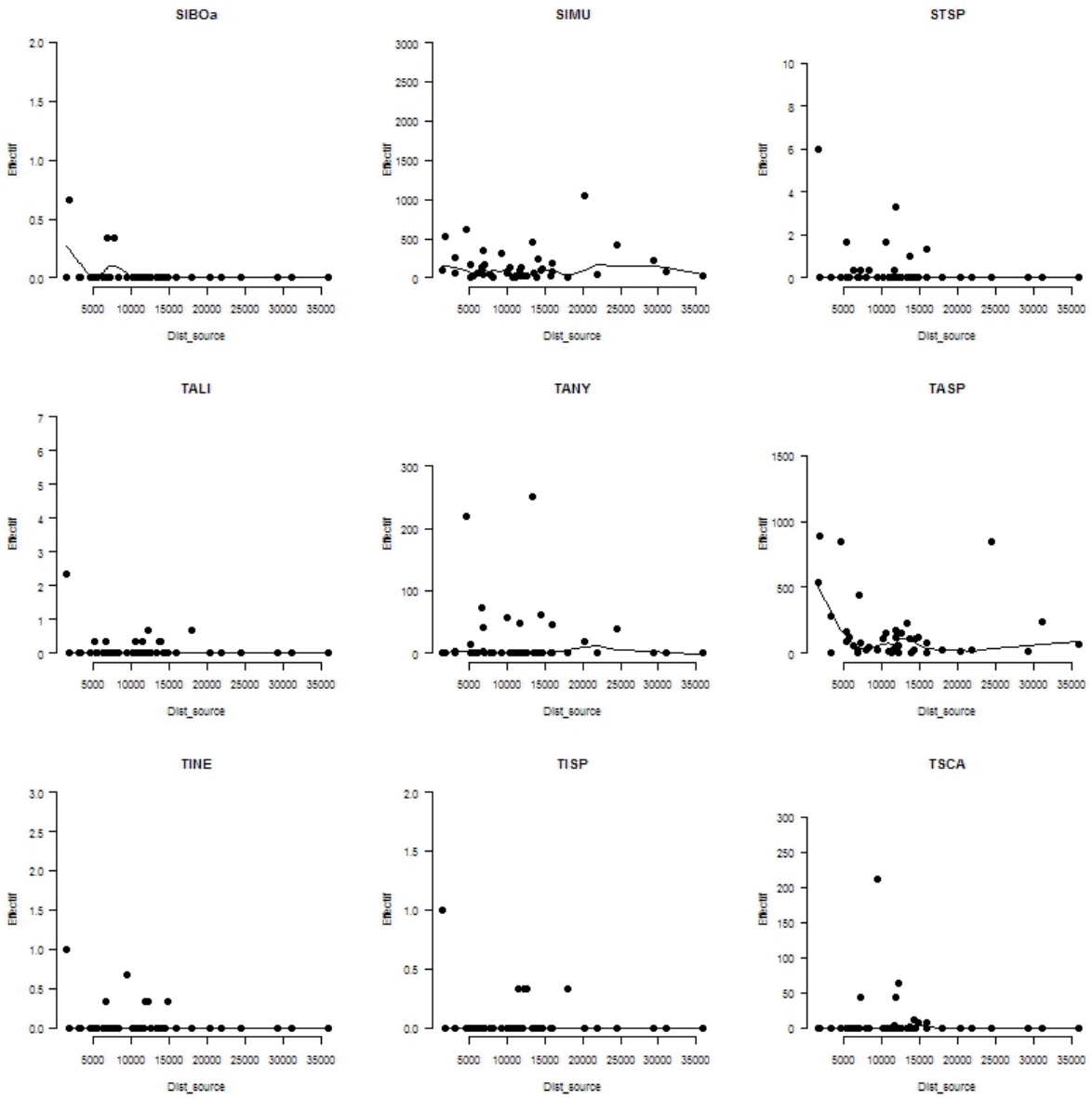

DYTI
EOSP
EPHYsp1
EPHYsp2
FMOD
FOSP
HATR
HEUR
HDUR
Effectif
Dist_source

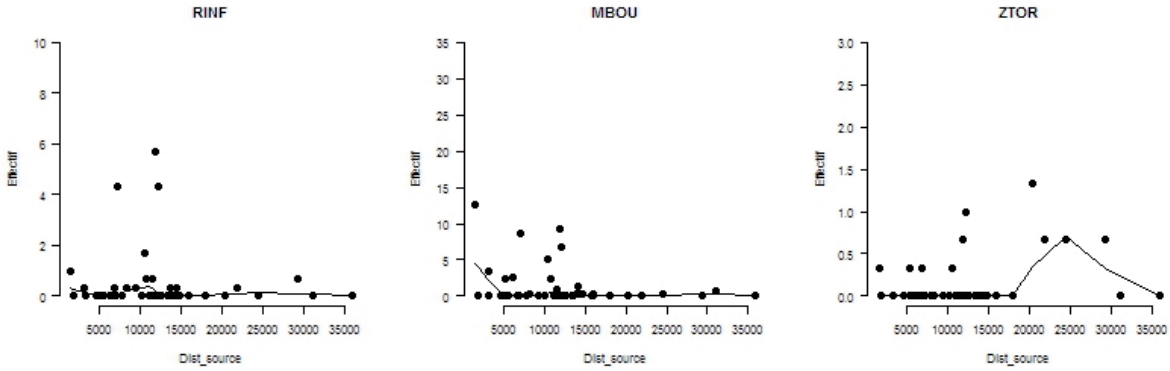

HEME
HGRU
HKIE
HLIA
HMOK
HSTA
HYSP
KESP
LASP
Effectif
Dist_source


LCOL
LIBE
LIMNsp1
LIMNsp2
LISP
LMASa
LNAT
LSTAa
LTRU
Effectif
Dist_source


LYSP
MESP
MOLL
MTUB
NCOL
NCON
NERI
NGAG
OESP
Effectif
Dist_source


OFLA
OLIG
ORSP
ORTH
PACU
PSYCsp
PSYCsp1
SBOR
SCIO
Effectif
Dist_source


SIBOa
SIMU
STSP
TALI
TANY
TASP
TINE
TISP
TSCA
Effectif
Dist_source


RINF
MBOU
ZTOR
Effectif
Dist_source
5000 10000 15000 20000 25000 30000 35000

Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et des invertébrés benthiques.

Mai 2012

Présentation et synthèse des données du Réseau piscicole de la Réunion utilisées pour le développement de l'Indice Réunion Poissons v0 (IRP)

Maxence Forcellini, Henri Grondin, Chloé Mathieu, Nicolas Péru, Marine Richarson, Pierre Sagnes, Philippe Usseglio-Polatera et Pierre Valade

Sous la direction scientifique de Sylvie Mérigoux et Jean-Michel Olivier

Convention de recherche et développement. Office de l'eau de la Réunion-CNRS.

Programme d'étude et de recherche 2008-2011

UMR CNRS 5023, Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés
43 Boulevard du 11 Novembre 1918 69622 Villeurbanne Cedex.

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION 3

2 TYPOLOGIE DES BASSINS VERSANTS ET CARACTÉRISTIQUES DES STATIONS ÉCHANTILLONNÉES. 4

2.1 TYPOLOGIE DES BASSINS VERSANTS 4

2.2 DESCRIPTION DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE 6

2.2.1 La rivière Saint-Denis 6

2.2.2 La rivière des Pluies 7

2.2.3 La rivière Sainte-Suzanne 9

2.2.4 La rivière Saint-Jean 11

2.2.5 La rivière du Mât 12

2.2.6 La rivière des Roches 15

2.2.7 La rivière des Marsouins 18

2.2.8 La rivière de l'Est 20

2.2.9 La rivière Langevin 22

2.2.10 La rivière des Remparts 25

2.2.11 La rivière Saint-Étienne 26

2.2.12 La ravine Saint-Gilles 29

2.2.13 La rivière des Galets 30

2.3 DESCRIPTION DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE 32

3 MÉTHODES DE PÊCHE 32

3.1 MÉTHODE DE PÊCHE "TOTALE" AVEC PLUSIEURS PASSAGES SUCCESSIFS 32

3.2 MÉTHODE DE PÊCHE PAR AMBIANCES 33

3.3 DÉROULEMENT DES INVENTAIRES 37

4 LISTE DES ESPÈCES DE POISSONS ET DE MACROCRUSTACÉS 38

5 VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DU PEUPLEMENT DE POISSONS 39

5.1 LES DONNÉES 40

5.2 RÉSULTATS DE L'ANALYSE 41

6 CONCLUSION 47

1 Introduction

Le Réseau piscicole de la Réunion (RP) a été mis en place en 1999-2000. L'objectif initial de ce suivi annuel des peuplements de poissons était (1) de caractériser l'état du peuplement de poissons et de macrocrustacés sur les principaux cours d'eau pérennes, (2) d'approfondir la connaissance de la biologie et de l'écologie des principales espèces, et (3) de suivre l'impact des grands aménagements hydrauliques. Il fournit des résultats sur l'état des peuplements de poissons et de macrocrustacés : liste des espèces observées, densité des populations, structure en tailles des populations…

Depuis la mise en œuvre de la D.C.E., une réflexion a été menée pour développer un indice de bioévaluation de la qualité écologique des cours d'eau à partir des peuplements de poissons et de macrocrustacés. Une étude préliminaire[1] a été réalisée afin de déterminer la faisabilité d'une telle démarche et a abouti à une première proposition de métriques susceptibles de mesurer l'état écologique des cours d'eau de la Réunion. L'acquisition de données quantitatives sur les peuplements de poissons de la Réunion étant très récente et l'impact des activités anthropiques relativement important (altération de l'hydrologie, grands ouvrages, altération de la continuité aval-amont, usage des milieux aquatiques …), la sélection de stations de référence (au sens de la D.C.E.) est très vite apparue comme une difficulté majeure à la Réunion. En effet, pas ou peu de connaissances historiques sur les peuplements de poissons existent et aucun bassin versant n'est épargné par les activités humaines. Il avait donc été proposé dans un premier temps d'utiliser une référence temporelle : structure du peuplement sur une période de référence suffisamment longue pour intégrer la variabilité temporelle des paramètres (richesse spécifique et densités) liée aux aléas hydroclimatiques et à la stochasticité des flux migratoires. Cette démarche n'est pas compatible avec les exigences de la D.C.E. en matière de construction des indicateurs de la qualité écologique des cours d'eau. Les espèces autochtones de la Réunion présentent la particularité d'être des espèces diadromes. De ce fait, les densités des espèces en rivières dépendent à la fois des flux migratoires (colonisation des rivières depuis l'océan et retour au milieu marin) et de la capacité d'accueil des rivières (en termes de quantité et de qualité des habitats disponibles) pour les différentes classes d'âges. Les poissons sont donc très vite apparus comme de bons indicateurs potentiels de l'intégrité aval-amont des rivières (continuité) et de la qualité des habitats (au sens des habitats fonctionnels).

[1] ARDA (2008) Réseau piscicole de la Réunion 2000/2007 : mise ne place d'outils d'interprétation de la qualité des peuplements. Rapport à l'Office de l'Eau, la Diren Réunion, la Région Région et le département de la Réunion.

Suite à ces premières conclusions et à la mise en œuvre progressive de la D.C.E., plusieurs études complémentaires ont été réalisées afin d'approfondir les connaissances sur l'écologie des espèces de poissons et sur l'altération de la qualité des habitats en rivière (observatoire des flux migratoires aux embouchures[2], analyse de la continuité écologique[3]…).

Les données disponibles du RP constituent aujourd'hui un jeu de données conséquent collecté sur 29 stations entre 2000 et 2010. Suite à l'analyse du jeu de données 1999-2003, il avait été proposé d'augmenter le nombre de stations d'échantillonnage afin de mieux appréhender la variabilité longitudinale des peuplements et d'améliorer la qualité des analyses inter-bassins versants. Ceci a été réalisé à partir de la campagne d'échantillonnage de 2004.

Nous proposons ici une analyse synthétique des résultats du RP entre 2000 et 2010 afin de vérifier si les conclusions générales obtenues en 2007, avec une analyse d'un jeu de données plus restreint, sont confirmées.

2 Typologie des bassins versants et caractéristiques des stations échantillonnées.

2.1 Typologie des bassins versants

La classification des cours d'eau adoptée correspond à celle proposée en 2008[4] dans laquelle 2 types de cours d'eau sont identifiés : les rivières de type cirques ou pseudo-cirques (Pluies, Mât, Marsouins, Est, Langevin, Saint-Etienne, Saint-Denis, Saint-Gilles, Remparts et Rivière des Galets), et les « rivières intermédiaires du nord » (Sainte-Suzanne, Saint-Jean et Rivière des Roches). Au sein de chacun des types, chaque rivière est scindée longitudinalement en 3 zones prenant en compte les caractéristiques géomorphologiques, l'altitude et la présence d'obstacles au déplacement des poissons :

- la zone aval : zone qui ne présente pas d'obstacle majeur à la libre circulation des poissons depuis la mer ;

[2] ARDA (2012) Observation des flux migratoires de poissons et de macrocrustacés diadromes de la Réunion. Rapport final. Rapport à la DEAL Réunion et à la Région Réunion.

[3] DEAL - Service Eau et Biodiversité - (2011) : évaluation de la continuité écologique des 13 rivières pérennes de la Réunion. Proposition d'un plan d'un plan d'action pour reconquérir cette continuité. Phase 1 – Diagnostic, Phase 2 évaluation de la continuité.

[4] ARDA (2008) Réseau piscicole de la Réunion 2000/2007 : mise en place d'outils d'interprétation de la qualité des peuplements. Rapport à l'OLE, la DIREN, la Région Réunion & le Département de la Réunion. 25p.

- la zone intermédiaire : matérialisée en aval par les premières ruptures de pente depuis l'embouchure ou la présence d'un cassé limitant la progression des espèces dotées des plus faibles capacités de montaison (ex. la cascade Jacqueline sur la Rivière Langevin) ;
- la zone amont : d'accès très limité pour la plupart des espèces, soit du fait de l'éloignement de la mer, soit par la présence d'obstacles difficilement franchissables.

La répartition des stations du Réseau Piscicole de La Réunion selon la zonation longitudinale des peuplements est présentée dans le Tableau 1.

Les espèces caractéristiques de ces zones sont :

Type I - Rivières de type cirques ou pseudo-cirques : *Sicyopterus lagocephalus*, *Cotylopus acutipinnis*

Type II - Rivières intermédiaires du Nord : *Anguilla marmorata*, *Awaous commersoni*, *Eleotris* sp.

Tableau 1: répartition des stations d'échantillonnage dans les types (bassins versants et zonation longitudinale) proposés.

Type de Bassin Versant	Bassin versant	Station	Zone aval	Zone intermédiaire	Zone amont
I	Saint-Denis	STDENIS		+	
I	Pluies	PLUIE 0	+		
		PLUIE 1		+	
II	Saint-Suzanne	STESUZ	+		
II	Saint-Jean	STJEAN	+		
		STJEAN 1	+		
I	Mât	MAT 0	+		
		MAT 1		+	
		MAT 2		+	
		MAT 3			+
		FLJA			+
II	Roches	ROC 1	+		
		ROC 2	+		
		BPAN 1	+		
		BPAN 2		+	
I	Marsouins	MARS 1	+		
		MARS 2		+	
		MARS 3		+	
I	Est	EST		+	
I	Langevin	LANG 1		+	
		LANG 2		+	
		LANG 3			+
I	Remparts	REMPART	+		
I	Saint-Etienne	STETIEN	+		
		BPLA 1		+	
		BPLA 2		+	
		GDBASS			+
I	Saint-Gilles	STGIL		+	
I	Galets	GAL 1		+	
TOTAL			11	14	4

2.2 Description des stations d'échantillonnage

La position géographique des stations d'échantillonnage est présentée sur la Figure 1.

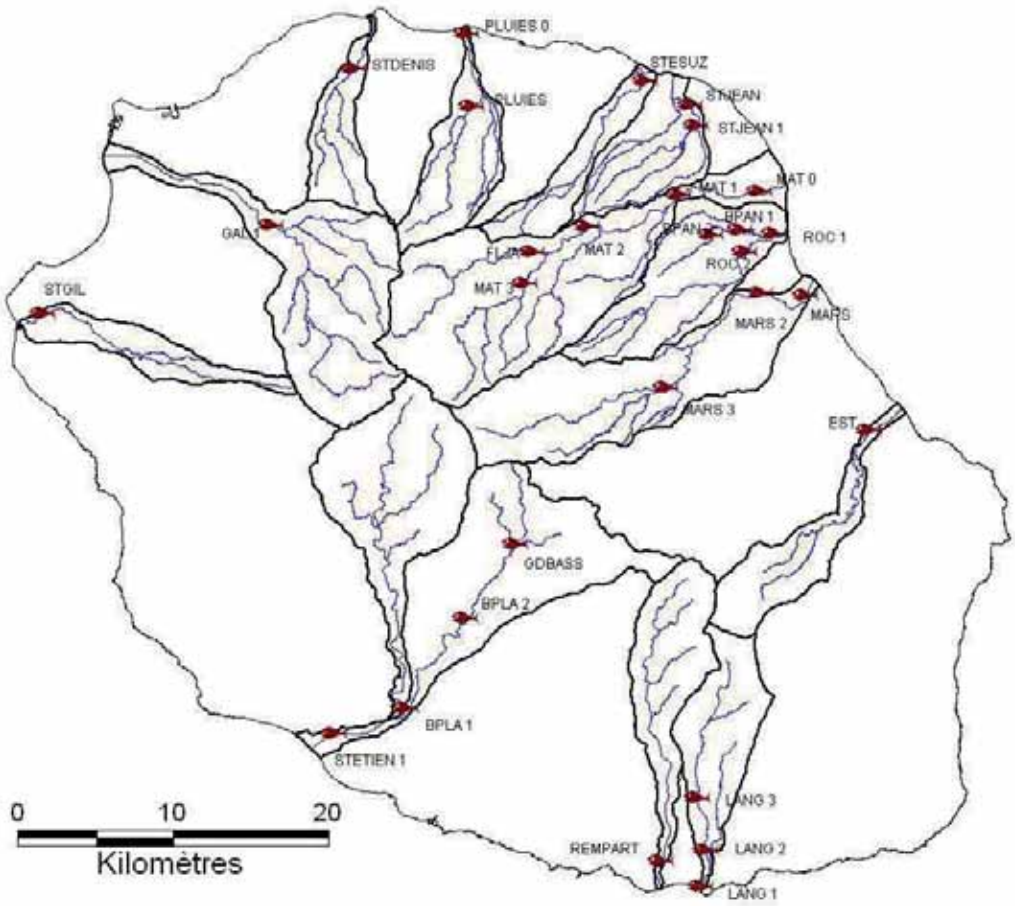


Figure 1: localisation des stations d'échantillonnage du Réseau Piscicole.

2.2.1 La rivière Saint-Denis

2.2.1.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La Rivière Saint Denis prend sa source vers 1500 m d'altitude sur la planèze de la Roche Ecrite au Nord de l'île. La vallée s'encaisse rapidement (800-900 m) au contact d'un axe tectonique, limitant à l'Est la planèze de la Montagne. Ses principaux affluents sont le Grand Bras (rive droite) et le Bras Guillaume (rive gauche). Le lit est étroit, encaissé, avec de nombreuses cascades en amont ; il s'élargit et s'encombre d'alluvions en aval, au sortir des gorges. Le secteur aval de la rivière, asséché une bonne partie de l'année, est très urbanisé et perturbé par de nombreux rejets domestiques.

La surface du bassin versant est de 30,7 km², avec la répartition hypsométrique suivante :

11,4 % > 1500 m

29,3 % entre 1000 et 1500 m

39 % entre 500 et 1000 m

20,3 % < 500 m

Le débit caractéristique d'étiage moyen est de 0,59 m^3/s (ORE, période de 1988-2002).

2.2.1.2 Description de la station échantillonnée

La station STDENIS est située sur le cours inférieur de la rivière Saint Denis, en amont immédiat du captage de Bellepierre, à une altitude de 80 m et à 4,5 km de la mer.

Photo 1 : Station STDENIS en 2009

2.2.2 La rivière des Pluies

2.2.2.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La Rivière des Pluies prend sa source dans un encaissement profond qui sépare la planèze de la Roche Écrite de celle des Fougères. La tête de vallée est une mince cloison résiduelle qui prend la forme d'un col au-dessus du cirque de Salazie. L'écoulement se fait sur un axe Sud/Nord ; les principaux affluents sont la Ravine du Bachelier et la Ravine Sèche en rive droite, la Ravine Montauban et la Ravine Cadet en rive gauche. La Rivière des Pluies est pérenne sur pratiquement

tout son cours, elle peut s'assécher à l'étiage en aval du Pont Neuf. Le lit est partout encombré d'alluvions.

Le bassin versant a une superficie de 45,2 km², avec la répartition hypsométrique suivante :

- 3,8 % > 2000 m

- 12,2 % entre 2000 et 1500 m

- 28 % entre 1500 et 1000 m

- 36 % entre 1000 et 500m

- 20 % < 500 m

Le débit caractéristique d'étiage moyen est de 0,42 m^3/s (ORE, période 1986-2001).

2.2.2.2 Présentation des stations échantillonnées

Sur cette rivière, deux stations du cours inférieur sont échantillonnées. **PLUIES0** est une station proche de l'embouchure, située à 700 m de la mer et 10 m d'altitude ; elle est échantillonnée depuis 2004. L'autre station, **PLUIES**, au niveau de l'îlet Quinquina, est échantillonnée depuis 2000. Elle est située à 135 m d'altitude et 6 km de la mer.

2.2.2.2.1 Station PLUIES0

Caractéristiques morphodynamiques de la station

La station PLUIES0 est située en aval du pont de la nationale, dans une zone très anthropisée avec la proximité immédiate de l'aéroport. Les travaux pour les infrastructures routières dans le lit de la rivière sont fréquents et les berges de la partie aval sont aménagées pour la protection des crues.

Photo 2 : Station PLUIES0 en 2009

2.2.2.2.2 Station PLUIES

La station PLUIES est située sur la rivière des Pluies, au niveau de l'îlet Quinquina.

Au niveau de la station, le lit de la rivière a été remanié au fil des années par les différentes constructions et les travaux de solidification de la piste d'accès au chantier de creusement de la galerie Salazie amont du projet d'Irrigation du Littoral Ouest.

Photo 3 : Station PLUIES en 2009

De 2000 à 2008, elle a été prospectée par la méthode de pêche dite "totale", avec 2 passages successifs. La largeur du cours d'eau étant beaucoup plus importante en raison du rejet d'eau de la galerie, nous l'avons prospectée en utilisant la méthode de pêche par ambiances en 2009 et 2010.

2.2.2.2.3 Bilan sur le bassin de la rivière des Pluies

Les deux stations échantillonnées sur cette rivière de type I sont placées dans la zone aval et la zone intermédiaire.

2.2.3 La rivière Sainte-Suzanne

2.2.3.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La rivière Sainte Suzanne apparaît vers 1200 m d'altitude au "Bassin de la Source".

Son bassin versant occupe une situation centrale sur la planèze des Fougères : en amont il remonte jusqu'à la limite avec Salazie. Dans la partie haute, l'écoulement est sporadique, fonction des pluies. A partir du Bassin de la Source, il devient pérenne et s'effectue sur un axe Sud-Est/Nord-Ouest. A la cote 630, la Rivière Sainte-Suzanne entre en confluence avec le Bras Laurent,

le Bras Citron, le Bras d'Amale. Jusqu'à l'amont de la cascade Niagara, l'écoulement se fait sur le bed-rock : l'encaissement est faible.

La superficie du bassin versant est de 28 km², avec la répartition hypsométrique suivante :

- 4 % > 1500 m

- 38 % entre 1500 et 1000 m

- 41 % entre 1000 et 500 m

- 17 % < 500 m

Une prise d'eau destinée à l'alimentation en eau potable existe sur cette rivière.

2.2.3.2 Description de la station échantillonnée

La station STESUZ est originellement située au niveau du radier, en aval de la cascade Niagara, sur le cours inférieur. Cependant, une chenalisation de l'écoulement en aval du radier ayant rendu cette portion impropre à la prospection par pêche électrique à pied en 2009, nous avons décalé la station plus en amont du radier, à l'aval de la cascade Niagara, à 3,6 km de l'océan et à une altitude de 4,5 m.

Photo 4 : Station STESUZ en 2009

En 2000 et en 2001, la station a été échantillonnée par la méthode de pêche "totale", avec 2 passages successifs. En 2002 et 2003, en raison des profondes modifications du lit de la rivière sur ce tronçon, suite à la crue cyclonique de Dina, la station a été prospectée par Échantillonnage Ponctuel d'Abondance. Depuis 2004, STESUZ est inventoriée par la méthode de pêche par ambiances.

2.2.4 La rivière Saint-Jean

2.2.4.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

Cette rivière est pérenne tout au long de l'année (présence de résurgences), l'écoulement dominant étant de type lentique principalement dans le cours aval. La ripisylve est importante dans le cours inférieur (bambous). Le bassin versant a une superficie de 36 km².

2.2.4.2 Présentation des stations échantillonnées

Sur le bassin de la rivière Saint-Jean, deux stations sont échantillonnées. La station aval, STJEAN est échantillonnée depuis 2000. Elle est située à 3 km de la mer et 7 m d'altitude. La station amont, STJEAN1, échantillonnée depuis 2004, est située à 26 m d'altitude et 5 km de la mer. Les deux stations sont sur le cours inférieur de la rivière.

2.2.4.2.1 Station STJEAN

Caractérisation de la station

La station STJEAN se situe en aval du pont de la RN2 entre Quartier Français et Cambuston, à 3,7 km de la mer et 11 m d'altitude.

Photo 5 : Station STJEAN en 2009

Depuis 2000, la station STJEAN est échantillonnée par la méthode de pêche "par ambiances".

Cette station compte une majorité de faciès lentiques (plat) et une minorité de faciès turbulents. Il est à noter qu'une portion de chenal lentique, prospectée les années précédentes, ne l'a pas été en 2009 en raison de sa trop grande profondeur.

2.2.4.2.2 Station STJEAN1

Caractérisation de la station

La station STJEAN1 se situe en amont de la RN2, au niveau de l'échangeur de Petit-Bazar. Cette station du cours inférieur est échantillonnée depuis 2004 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 6 : Station STJEAN1 en 2008

2.2.5 La rivière du Mât

2.2.5.1 Caractéristiques générales du bassin versant

La Rivière du Mât prend naissance sur le versant Nord-est du Gros Morne et coule dans le cirque de Salazie en direction du Nord-est. Elle reçoit la rivière Fleurs Jaunes (en rive gauche) qui draine le Nord du cirque et le Bras Caverne (rive droite) qui descend du plateau de Bélouve. Une originalité par rapport aux deux autres bassins versants de cirques : une partie de l'alimentation vient d'une région extérieure au cirque.

L'écoulement est partout pérenne, dans le cours principal, il se fait sur des alluvions.

Le bassin versant mesure 148 km², avec la répartition hypsométrique suivante :

- 9 % > 2000 m

- 12 % entre 2000 et 1500 m

- 29 % entre 1500 et 1000 m

- 38 % entre 1000 et 500 m

- 12 % < 500 m

Le débit caractéristique d'étiage moyen de l'ordre de 2,25 m^3/s au niveau du pont de l'escalier (ORE, période 1985-2001).

2.2.5.2 Présentation des stations échantillonnées

Sur le cours principal de la rivière, quatre stations sont échantillonnées depuis 2004. Une est située sur le cours inférieur, MAT 0, deux sur le cours moyen, MAT 1 et MAT 2 et une sur le cours supérieur, MAT 3. Une station, FLJA, est également échantillonnée sur l'affluent principal, la rivière Fleurs Jaunes.

Ces stations sont toutes échantillonnées par la méthode de pêche électrique par ambiances.

2.2.5.2.1 Station MAT0

Caractéristiques de la station

La station MAT0 est située sur la partie aval, proche de l'embouchure du cours d'eau. Elle est à 22 m d'altitude et à 1,8 km de la mer.

Cette station est échantillonnée depuis 2004 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 7 : Station MAT0 en 2009

2.2.5.2.2 Station MAT1

Caractéristiques de la station

La station est située en amont du barrage de la rivière du Mât, au lieu dit "La Rivière du Mât". Elle est située à 123 m d'altitude et 7,7 km de la mer. Elle est échantillonnée depuis 2000 par pêche par ambiances.

Photo 8 : Station MAT1 en 2009

2.2.5.2.3 Station MAT2

Caractéristiques de la station.

La station MAT2 est située en amont du pont de l'escalier. Elle est à 250 m d'altitude et 15,4 km de la mer. Cette station était échantillonnée en pêche totale de 2000 à 2003 ; depuis 2004 elle l'est par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 9 : Station MAT2 en 2009

2.2.5.2.4 Station MAT3

Caractéristiques de la station

La station MAT3 se situe en amont du village de Salazie. Cette station est à 430 m d'altitude et 22,3 km de la mer.

Elle est située en cours supérieur. L'échantillonnage est effectué depuis 2000 par la méthode de pêche par ambiances.

2.2.5.2.5 Station FLJA

Caractéristiques de la station

La station FLJA est située sur le principal affluent de la rivière du Mat, la rivière Fleurs Jaunes. Elle est située sur le cours supérieur, en amont du barrage Fleurs Jaunes (projet d'Irrigation du Littoral Ouest), à une altitude de 380 m à 22 km de la mer.

Au fil des années, elle a été échantillonnée par pêche totale ou pêche par ambiances, suivant sa largeur moyenne (pêche totale : 2000, 2001, 2004, 2005 ; pêche par ambiances : 2002, 2003, 2006-2009).

Remarque : En 2004 et 2005, la station a été déplacée en amont (station FLJA 1) en raison des travaux de construction de la prise d'eau, qui limitaient l'accès à la rivière.

Photo 10 : Station FLJA en 2008 (CNRS)

2.2.6 La rivière des Roches

2.2.6.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La rivière des Roches prend sa source vers 1800 m d'altitude et coule sur un axe Ouest/Est, sur d'anciennes coulées volcaniques. Elle reçoit de nombreux affluents sur ses deux rives, le plus important étant le "Grand Bras". L'écoulement est pérenne dans le cours principal et les principaux affluents.

L'encaissement du bassin versant se dessine nettement, séparant la Rivière des Roches du Bras des Lianes (à l'Ouest) et du bassin versant du Grand Bras (à l'Est).

Le bassin versant a une surface de 66 km². Il est couvert presque intégralement de la forêt hygrophile originelle.

Le débit caractéristique d'étiage moyen de la rivière des Roches est de 1,055 m^3/s (ORE, période 1988-2002).

2.2.6.2 Présentation des stations échantillonnées

Quatre stations sont prospectées sur le bassin versant de la rivière des Roches. La station ROC1, la plus aval, est située en amont du radier de la rivière des Roches, au lieu-dit Beauvallon. Une seconde station est échantillonnée sur la rivière des Roches à Mon Désir (ROC 2). Les deux dernières stations sont échantillonnées sur des affluents principaux, sur le Bras Patrick (BPAN1) et sur le Bras Sec (BPAN2).

2.2.6.2.1 Station ROC1

Caractéristiques de la station

La station ROC1 est située dans le cours inférieur de la rivière des Roches. Elle est à une altitude de 2 m et à 1 km de la mer. Cette station est échantillonnée depuis 2000 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 11 : Station ROC1 en 2008

2.2.6.2.2 Station ROC2

Caractéristiques de la station

La station ROC2 est échantillonnée selon la méthode de pêche par ambiances depuis 2000. Elle est située à 10 m d'altitude et 3,2 km de la mer, sur le cours principal de la rivière des Roches.

Photo 12 : Station ROC2 en 2008

2.2.6.2.3 Station BPAN1

Caractéristiques de la station

La station BPAN1 est située sur un des principaux affluents de la rivière des Roches : le bras Patrick. Son altitude est de 37 m et elle est à 4,5 km de la mer. Echantillonnée par la méthode de pêche totale entre 2000 et 2007, elle a été prospectée par pêche par ambiance en 2009, la largeur de la station excédant désormais les 8 m.

Photo 13 : Station BPAN1 en 2009.

2.2.6.2.4 Station BPAN2

Caractéristiques de la station

La station BPAN2 est située sur la partie amont du bassin versant de la rivière des Roches, sur le Bras Sec, affluent du Bras Patrick. Cette station est échantillonnée par pêche totale depuis 2004. Elle est située sur le cours moyen à une altitude de 106 m, et à 10,5 km de la mer.

Photo 14 : Station BPAN2 en 2008

2.2.7 La rivière des Marsouins

2.2.7.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La rivière des Marsouins prend sa source vers 2300 m, sur les hautes pentes Sud-est du Piton des Neiges. Son bassin versant comprend essentiellement le "cirque" de Bébourg. L'encaissement du cours d'eau est remarquable dans la vallée moyenne, de Takamaka à Bethléem. En amont de Takamaka, il est beaucoup moins prononcé en remontant vers Bébourg. L'ancienne vallée s'arrête à Takamaka par un amphithéâtre. Dans le cours supérieur, l'érosion régressive a créé un certain nombre de cascades et de vasques.

Le bassin versant a une surface de 114 km² avec la répartition hypsométrique suivante :

- 10,7 % > 2000 m

- 27,3 % entre 2000 et 1500 m

- 40 % entre 1500 et 1000 m

- 13,5 % entre 1000 et 500 m

- 8,5 % > 500 m

2.2.7.2 Présentation des stations échantillonnées

Trois stations sont prospectées sur le bassin versant de la rivière des Marsouins dans le cadre de ce programme.

2.2.7.2.1 Station MARS1

Caractéristiques de la station

La station MARS1 est située sur le cours inférieur de la rivière des Marsouins à une altitude de 7 m, à 1 km de la mer. Elle est échantillonnée depuis 2000 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 15 : Station MARS1 en 2008

2.2.7.2.2 Station MARS2

Caractéristiques de la station

La station MARS2 est située sur le cours inférieur de la rivière des Marsouins à 56 m d'altitude et 5,2 km de la mer au lieu dit « Bethléem ». Elle est échantillonnée depuis 2004 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 16 : Station MARS2 en 2008

2.2.7.2.3 Station MARS3

Caractéristiques de la station

La station MARS3 est située sur le cours moyen de la rivière à 212 m d'altitude et 16,5 km de la mer, en aval du premier barrage EDF de Takamaka. Elle est échantillonnée depuis 2004 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 17 : Station MARS3 en 2008

2.2.8 La rivière de l'Est

2.2.8.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La rivière de l'Est coule sur un axe Sud-ouest/Nord-est sur le flanc Nord de la Fournaise.

Son bassin versant est formé de 3 parties bien distinctes :

- en amont, la Plaine des Sables est un plateau à pente quasi nulle. L'écoulement de surface est un phénomène rarissime, à cause de la structure très perméable du substrat,

- la partie médiane est faite d'un plateau faiblement incliné, le "fond de la rivière de l'Est", séparé de la Plaine des Sables par un cassé sub-vertical de plusieurs centaines de mètres. Il est emprunté par trois petits torrents : d'Est en Ouest, la Ravine Savane Cimetière, la Ravine Piton de Coco, la Ravine du Piton Rond.

Seule la première ravine offre un écoulement pérenne dans un contexte marécageux tout à fait original dans cet ensemble très perméable.

- la troisième partie est un encaissement plus étroit que celui des deux autres bassins versants de la Fournaise. Dans la tête de vallée en amphithéâtre, les trois ravines se rejoignent pour former la rivière de l'Est. Dès lors, compte tenu de l'étroitesse du bassin versant, le torrent ne reçoit plus d'affluents ; il est alimenté par d'importantes sources qui jaillissent entre la cote 900 et la cote 400. Cet encaissement est long de 15 km environ.

La superficie du bassin versant est de 43,5 km², avec la répartition hypsométrique suivante :

- 27.5 % > 2000 m

- 48 % entre 1500 et 2000 m

- 10.5 % entre 1000 et 1500 m

- 11 % entre 500 et 1000 m

- 3 % < 500 m

Le profil en long est partout favorable à l'écoulement. La géologie est la même que dans les deux autres bassins versants de la Fournaise (bassin versant de la rivière des Remparts et bassin versant de la rivière Langevin).

Une prise d'eau E.D.F. située dans le cours supérieur détourne la quasi-totalité du débit superficiel de la rivière de l'Est. Cette eau est restituée directement en mer (centrale hydroélectrique de Sainte Rose). Une partie de l'eau captée est utilisée pour l'A.E.P. de la commune de Sainte Rose.

Au niveau de la galerie d'E.D.F., le débit caractéristique d'étiage moyen est égal à 5,55 m^3/s (années 1990 à 2002, ORE 2000).

2.2.8.2 Description de la station échantillonnée

Caractéristiques de la station

Les premiers travaux d'inventaire sur la rivière de l'Est ont eu lieu en 2001 (ARDA-DIREN, 2001) et 2002 (inventaire "test", réalisé à l'initiative de l'ARDA). Station du Réseau Piscicole de la Réunion depuis 2003, la station EST se situe sur le cours moyen de la rivière, à une altitude de 160 m et à 13 km de la mer. Jusqu'en 2008, la prospection se faisait par la méthode de pêche totale. En 2009, nous sommes passés à une méthode de pêche par ambiances suite à l'élargissement de la station.

Photo 18 : Station EST en 2009

2.2.9 La rivière Langevin

2.2.9.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La Rivière Langevin naît de trois petits cours d'eau permanents : le Bras des Grosses Roches, le Bras de Cap Blanc, le Bras du Moulin. La confluence a lieu à 1300 m d'altitude environ, dans la tête de vallée en amphithéâtre qui interrompt brutalement vers le sud la Plaine des Sables. Ce plateau forme l'amont du bassin versant, vers 2200 m d'altitude ; il est composé de projections diverses qui le rendent très perméable, d'où la difficulté de discerner avec précision le bassin versant de la Rivière Langevin et celui de la Rivière de l'Est qui sont tête-bêche.

De la Plaine des Sables à la mer, la rivière s'écoule sur un axe Nord/Sud long de 20 km environ. Normalement l'écoulement est superficiel jusqu'à Cap Blanc ; les eaux disparaissent ensuite pour réapparaître à hauteur de Grand Galet, à la faveur d'une cascade. L'alimentation est

plus forte que dans le bassin versant de la Rivière des Remparts qui la jouxte, grâce à une situation plus orientale. La rivière présente des variations inter annuelles d'écoulement très importantes (du simple au triple).

La surface du bassin versant est de 53 km² et le débit caractéristique d'étiage moyen est de 1,18 m^3/s (ORE, période 1986-2002). Une centrale hydroélectrique prélève la quasi-totalité du débit superficiel de la rivière ; le tronçon court-circuité est, en dehors des épisodes cycloniques, totalement à sec.

2.2.9.2 Présentation des stations échantillonnées.

Dans le cadre du RP, trois stations sont prospectées sur la rivière Langevin.

2.2.9.2.1 Station LANG1

Caractéristiques de la station

La station LANG1 est située sur le cours inférieur de la rivière à une altitude de 7 m et à 0,1 km de l'océan, entre le premier cassé depuis la mer et le bassin à l'aval immédiat de la cascade Jacqueline. Elle est échantillonnée dans le cadre du sous-réseau de veille écologique depuis 2000. La méthode d'échantillonnage utilisée est la méthode de pêche par ambiances.

Photo 19 : Station LANG1 en 2008

2.2.9.2.2 Station LANG2

Caractéristiques de la station

La station LANG2 est située sur le cours inférieur de la rivière Langevin à une altitude de 100 m à 2,1 km de l'océan. Elle est échantillonnée depuis 2000 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 20 : Station LANG2 en 2004

2.2.9.2.3 Station LANG3

Caractéristiques de la station

La station LANG3 est située sur le cours moyen de la rivière Langevin en amont du lieu-dit Passerelle, à une altitude de 273 m à 6,5 km de la mer. Cette station est échantillonnée depuis 2000 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 21 : Station LANG3 en 2008

2.2.10 La rivière des Remparts

2.2.10.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La rivière des Remparts prend sa source au Piton des Feux à Mozac (2392 m) et s'écoule dans une vallée étroite, profonde de plus de 1000 m, qui forme la bordure orientale de la Plaine des Cafres et correspond à la marque de l'effondrement de la première caldeira de la Fournaise. L'écoulement se fait sur un axe nord/sud, sur 25 km environ. L'encaissement est remarquable. Les conditions structurales – pendage des coulées – font que la rivière n'a pas d'affluent de rive droite, mais seulement de rive gauche. Les principaux sont le Bras Caron, le Bras Mahavel, le Bras Dimitile qui, par leur érosion, engendrent un déploiement des topographies vers l'Est.

L'écoulement s'observe dans la rivière et ses principaux affluents, mais souvent l'eau disparaît à l'étiage dans les alluvions du lit.

Le bassin versant a une superficie de 58 km² avec la répartition hypsométrique suivante :

- 18 % > 2000 m

- 20 % entre 2000 et 1500 m

- 22.5 % entre 1500 et 1000 m

- 26.5 % entre 1000 et 500 m

- 13 % < 500 m.

2.2.10.2 Présentation de la station échantillonnée

Caractéristiques morphodynamiques de la station

La station REMPART est située au pied du sentier au niveau du village Goyave, à 1 km en amont du pont de la RN2. Elle est positionnée sur le cours inférieur de la rivière, à 60 m d'altitude et à 2,1 km de l'océan. Cette station est échantillonnée depuis 2007 par pêche par ambiances.

Photo 22 : Station REMPART en 2008

2.2.11 La rivière Saint-Étienne

2.2.11.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La rivière Saint-Étienne naît de la confluence de deux cours d'eau : le Bras de la Plaine et le Bras de Cilaos. La superficie de son bassin versant (Bras de Cilaos + Bras de la Plaine) est de 220 km².

Le Bras de la Plaine coule dans un encaissement de 600 à 700 m, sur un axe Nord-est/Sud-ouest. Le fond de la vallée est partout encombré d'alluvions reposant sur les vieilles coulées du Piton des Neiges ; sa largeur est variable, de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres.

Le bassin versant a une superficie de 122 km² avec la répartition hypsométrique suivante :

- 5.5 % > 2000 m

- 27.5 % entre 2000 et 1500 m

- 32.5 % entre 1500 et 1000 m

- 23 % entre 1000 et 500 m

- 11.5 % < 500 m

Le débit caractéristique d'étiage moyen du Bras de la Plaine au captage SAPHIR est de 3,42 m^3/s (ORE, période 1976-2002).

2.2.11.2 Présentation des stations échantillonnées

Sur le bassin versant de la rivière Saint-Étienne, 4 stations sont échantillonnées depuis 2004.

2.2.11.2.1 La station STETIEN

Caractéristiques morphodynamiques de la station

La station STETIEN est située sur le cours inférieur de la rivière Saint-Étienne à une altitude de 46 m et à 1,9 km de la mer.

Elle a été échantillonnée de 2000 à 2002 par pêche totale (2 passages successifs), et depuis 2003 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 23 : Station STETIEN en 2009

2.2.11.2.2 La station BPLA1

Caractéristiques morphodynamiques de la station

La station BPLA1 est située sur le cours moyen du bras de la Plaine à une altitude de 130 m à 7 km de la mer. Cette station est échantillonnée depuis 2004, par pêche par ambiances.

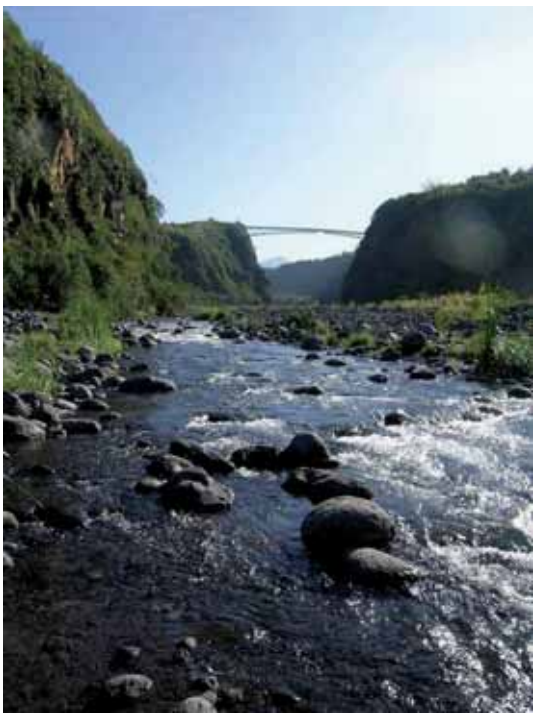


Photo 24 : Station BPLA1 en 2008

2.2.11.2.3 La station BPLA2

Caractéristiques de la station

La station BPLA2 se situe en amont des gorges du bras de la Plaine, sur le cours supérieur à une altitude de 350 m et à 16,5 km de l'océan. Cette station est échantillonnée depuis 2004 par la méthode de pêche par ambiances.

Photo 25 : Station BPLA2 en 2008

2.2.11.2.4 La station GDBASS

Caractéristiques de la station

La station GDBASS est située sur le cours supérieur de la rivière, à une altitude de 650 m à 22,7 km de l'océan, juste en aval du village de Grand Bassin. Cette station est échantillonnée par pêche totale depuis 2000.

Photo 26 : Station GDBASS en 2008

2.2.12 La ravine Saint-Gilles

2.2.12.1 Caractéristiques générales du bassin versant

(Source : climat et Hydrologie à La Réunion, Robert, 1986)

La Ravine Saint-Gilles prend sa source non loin du Grand Bénard (2 992 m) à 2 500 m environ. Le thalweg est orienté Est-Sud-est / Ouest-Nord-Ouest. La pente moyenne est de l'ordre de 120 m/km. Les affluents sont peu nombreux et non pérennes.

Dans le cours supérieur, le lit de la Ravine est à peine marqué, il se creuse au fur et à mesure pour atteindre un maximum de 30 m. La perméabilité du substrat en amont fait que le cours d'eau est à sec jusqu'au village de Saint-Gilles les Hauts (sauf lors de fortes pluies).

Dans le cours inférieur, le lit se creuse avec l'apparition de plusieurs cascades. De ces cascades à la mer l'écoulement est pérenne : c'est un cas original d'écoulement pour ce qui concerne la région "sous le vent".

Le bassin versant a une surface de 31,5 km^2, le débit caractéristique d'étiage moyen est de 0,44 m^3/s, en amont de la cascade des Cormorans (ORE, période 1985-2002). Deux prises d'eau destinées à l'irrigation et à l'approvisionnement en eau potable existent sur cette rivière.

2.2.12.2 La station STGIL

Caractéristiques morphodynamiques de la station

La ravine Saint-Gilles est échantillonnée en amont du captage du "verrou", sur le cours inférieur de la rivière à une altitude de 20 m, à 1,7 km de la mer. Elle est échantillonnée par la méthode de pêche totale, avec 2 passages successifs depuis 2000.

Photo 27 : Station STGIL en 2004

2.2.13 La rivière des Galets

2.2.13.1 Caractéristiques générales du bassin versant

La rivière des Galets draine le cirque de Mafate, le plus faiblement arrosé des trois cirques de la Réunion. Elle prend naissance vers 2900 m sur le flanc nord du Gros Morne.

Elle est alimentée par des affluents importants : le Bras Sainte-Suzanne, le Bras d'Oussy, la Ravine Cimendal, en rive droite ; la Ravine des Orangers, la Ravine de Roche Plate, en rive gauche.

L'encaissement de Mafate est aussi prononcé que celui de Cilaos, mais ici les ravines ont creusé entre elles de hautes cloisons résiduelles alignées dans le sens de la sortie du cirque. Elles sont ainsi nettement individualisées par leur érosion linéaire. Partout le lit est encombré d'alluvions. Ce n'est qu'en amont que certaines ravines coulent sur un "bed-rock".

La pente est partout forte, favorisant l'écoulement. Le bassin versant a une surface de 113 km², avec la répartition hypsométrique suivante :

- 4,5 % > 2000 m

- 28 % entre 2000 et 1500 m

- 28 % entre 1500 et 1000 m

- 30 % entre 1000 et 500 m

- 9,5 % < 500 m

Le débit caractéristique d'étiage moyen au Cap Lebot est de 0,82 m^3/s (ORE, période 1987-2002).

Deux prises d'eau ont été implantées sur ce bassin versant dans le cadre du basculement de l'eau d'Est en Ouest : une prise se trouve sur la Rivière des Galets, et l'autre prise est située sur le Bras Sainte-Suzanne.

2.2.13.2 La station GAL1

Caractéristiques de la station

Une seule station a été échantillonnée sur la rivière des Galets en 2009. Deux autres stations (GAL2, GASU), inventoriées dans le cadre du sous réseau de suivi allégé de l'impact des aménagements du projet d'Irrigation du Littoral Ouest, ont fait l'objet d'un suivi jusqu'en 2007.

La station GAL1 est située sur le cours moyen de la rivière des Galets, à une altitude de 225 m et 12,8 km de la mer. La station GAL1 était échantillonnée par pêche totale avec 2 passages successifs jusqu'en 2008. En 2009, la largeur était trop importante pour utiliser cette méthode, aussi avons-nous utilisé la méthode de pêche par ambiances.

Photo 28 : Station Gal1

2.3 Description des stations d'échantillonnage

La pêche à l'électricité a été choisie comme mode de capture des populations de poissons et de macrocrustacés. La totalité des stations d'inventaire a été prospectée à pied, en utilisant des groupes électrogènes portables de type « Martin-pêcheur » (DEKA 3000). Selon la largeur du cours d'eau prospecté et le type de pêche ("par ambiances" ou "totale"), 1 à 2 électrodes ont été utilisées au minimum 2 épuisettes étaient mises en place par électrode.

3 Méthodes de pêche

3.1 Méthode de pêche "totale" avec plusieurs passages successifs

L'échantillonnage des rivières peut s'effectuer par des pêches dites "totales", de "stations" qui sont des segments de rivière représentatifs d'un tronçon plus long. Ces pêches s'effectuent sur toute la surface de la station qui est barrée par des filets à l'amont et à l'aval.

La longueur choisie égale au moins 10 fois la largeur du cours d'eau, plusieurs passages successifs sont pratiqués. C'est l'épuisement progressif des captures qui permet d'évaluer la quantité de poissons présents sur la station, grâce à des méthodes d'estimation statistiques.

Lors de la réalisation d'un tel inventaire, le peuplement doit être stable pendant toute la durée de l'opération, il ne doit pas y avoir de natalité, de mortalité, d'émigration ou d'immigration. La durée d'un inventaire étant d'une journée maximum, l'incidence de la natalité et de la mortalité

est très réduite. C'est pour éviter les biais occasionnés par les déplacements des individus (émigration et/ou immigration), notamment la fuite des poissons vers l'amont, que les inventaires sont pratiqués sur des stations délimitées par des obstacles naturels ou (le plus souvent) par des filets barrages.

La probabilité de capture étant supposée identique pour tous les individus pendant la pêche, et constante d'une pêche à l'autre, l'estimation des captures est réalisée avec la méthode statistique CARLE & STRUB, la plus robuste (GERDEAUX, 1987).

Il est à noter que quelle que soit la méthode d'estimation utilisée, seuls les poissons capturables sont pris en compte ; tout individu réfugié dans une zone profonde ou non capturé en raison de vitesses de courant trop élevées par exemple, n'est pas pris en considération dans l'estimation.

Ceci montre l'importance du choix de la station et la nécessité d'opérer avec des conditions de pêche optimales.

Malgré les méthodes d'estimation, la pêche par épuisement des captures ne donne pas toujours entière satisfaction : la représentativité de la station est toujours discutable, et l'échantillon pêché n'est pas forcément représentatif de l'ensemble du tronçon (cas des stations très diversifiées ou au contraire présentant de longs faciès homogènes). De plus, c'est une méthode lourde, qui nécessite beaucoup de temps et de main-d'œuvre.

D'autres techniques de pêche ont été développées récemment ; elles permettent de concilier un travail de recherche valable avec des moyens humains et matériels moins lourds à mettre en œuvre.

3.2 Méthode de pêche par ambiances

La structure morphologique et hydrodynamique des cours d'eau génère une mosaïque d'habitats. La succession longitudinale des faciès définit un premier niveau de découpage de l'habitat, le contraste entre les berges et le chenal en constitue un second (découpage transversal). Ce découpage a une signification aussi bien morphodynamique que biologique.

L'ambiance se situe à une échelle intermédiaire entre le faciès et le micro habitat, elle est définie comme "une surface représentative d'un élément du même faciès, en chenal ou en berge (même strate) ou d'une singularité localisée à l'intérieur de cet élément". Les limites de l'ambiance

se situent aux premières hétérogénéités des principales valeurs d'habitat (hauteur d'eau, vitesse de courant, substrat, abris).

La méthode de pêche reprend l'idée d'un échantillonnage dispersé en plusieurs points de la rivière, en le stratifiant. Elle consiste à prospecter sur un secteur de rivière des ambiances de pêche discrètes décrivant l'ensemble des habitats présents sur le secteur, en conservant la proportion de représentation de chaque strate. Il est nécessaire de conserver une distance minimum (env. 20 m) entre 2 ambiances pour éviter la perturbation d'une surface devant être échantillonnée.

L'ambiance correspond mieux à l'habitat quotidien du poisson, c'est-à-dire le lieu où il réalise une activité (repos, alimentation ...). La *station* est ici "l'enveloppe géographique" incluant toutes les ambiances au niveau du tronçon.

Cette méthode a l'avantage d'être suffisamment souple pour décrire tous les habitats utilisés par les poissons. De plus, elle est en adéquation avec les objectifs recherchés (prospection de nombreux habitats) et les moyens de pêche.

Cette méthode a été développée en métropole pour les cours d'eau de moyenne à grande importance, difficiles à prospecter en totalité. Les travaux de POUILLY (1994) et CAPRA (1995) ont montré que "la méthode par ambiances représente correctement le milieu physique, ainsi que les données biologiques qualitatives et quantitatives. Les données recueillies avec une stratification par ambiances peuvent être transférées à l'échelle du faciès ou de la station".

Cette méthode a fait l'objet d'une adaptation au contexte réunionnais en 1998 ; l'étude réalisée par l'ARDA a confirmé ces résultats. La technique de pêche par ambiances autorise une approche qualitative satisfaisante des peuplements en place ; en effet, certaines espèces peu représentées sur la station peuvent échapper au recensement si l'on réalise une pêche exhaustive sur un tronçon.

Il est établi que les résultats obtenus sur les poissons en terme de densité et de structuration de la population sont comparables avec ceux obtenus en pêche totale (moyennant suivi rigoureux du protocole élaboré), l'estimation des populations de crustacés pose néanmoins problème, une attention particulière doit être apportée à leur quantification.

Sur le terrain le protocole s'articule en 4 phases :

- Sectorisation de la station et matérialisation physique des ambiances

Il s'agit de définir et caractériser (en terme d'importance surfacique) les différents faciès présents sur la station (d'après Malavoi, 1989) et dans chaque faciès d'écoulement les habitats disponibles (Figure 2).

Les ambiances sont affectées au prorata de la surface des faciès et du nombre de fois où ils se répètent (redondance) ; les limites des ambiances sont choisies en veillant à une homogénéité visuelle de l'habitat. Chaque ambiance est matérialisée (peinture technique), sa position est repérée sur le croquis de la station. **Cette opération de sectorisation et de balisage a lieu en général la veille de l'échantillonnage**.

Le nombre d'ambiances délimitées et pêchées par station était de 15 de 2000 à 2004, mais le réajustement du protocole d'échantillonnage a fait passer à 18 ambiances en moyenne par station pour les années suivantes (2004 à 2007).

- Description des ambiances

Les ambiances prospectées doivent être décrites de façon précise, **les fiches descriptives utilisées correspondent à celles mises en place par le Conseil Supérieur de la Pêche (CSP) pour le Réseau Hydrobiologique et Piscicole (RHP)**.

La mesure de vitesse du courant est réalisée sur un point de profondeur moyenne, calculée à partir de 6 mesures de profondeur réparties dans l'ambiance ; sur ce point la mesure de la vitesse du courant est effectuée à une profondeur égale à 0,4 x profondeur totale.

- Prospection par pêche électrique

La pêche électrique est réalisée de l'aval vers l'amont, avec une seule électrode qui balaye l'ambiance sur la totalité de sa surface. Deux à quatre épuisettes permettent de recueillir les poissons avant de les stocker dans des viviers distincts, identifiés de manière à associer chaque capture à son ambiance.

- Biométrie

Les poissons capturés dans chaque ambiance sont identifiés, mesurés, pesés, et **remis à l'eau à la fin de la prospection de l'ensemble de la station**.

Quelle que soit la méthode utilisée, elle doit rendre compte des peuplements en place, aux points de vue qualitatif et quantitatif. La mise en place du protocole de pêche, le choix et la description des zones à pêcher sont des étapes primordiales et déterminantes pour la suite du travail.

Elles conditionnent les résultats et leur interprétation. Il s'agit de pouvoir appréhender d'une part la représentativité faunistique de la station pêchée (aspect qualitatif du peuplement) et d'autre part de pouvoir évaluer l'importance de chaque espèce sur le site (aspect quantitatif ou semi-quantitatif du peuplement).

L'application de la méthode d'échantillonnage doit permettre de réaliser des comparaisons inter-bassins et inter-annuelles.

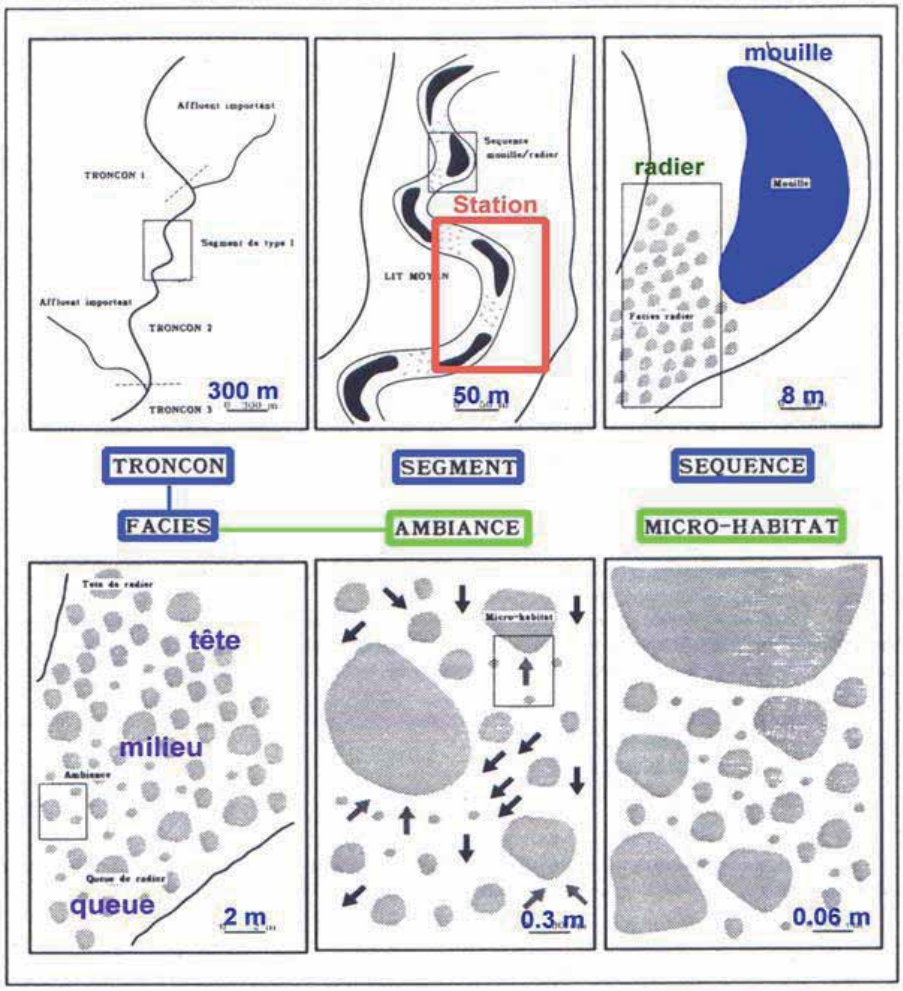


Figure 2 : Description des découpages morphodynamiques d'un cours d'eau (d'après Malavoi, 1989)

3.3 Déroulement des inventaires

Les différents travaux de terrain demandent une équipe complète. Pour réaliser la sectorisation d'un cours d'eau et le placement d'ambiances, un minimum de 2 personnes est nécessaire ; il est cependant préférable de travailler à 3, ce qui permet de dégager une personne pour la prise de note. Deux personnes évoluent alors sur chacune des berges, mesurant les différentes largeurs et les longueurs des faciès.

Lors du placement et de la description des ambiances, une personne se consacre intégralement au relevé de la vitesse, **elle assure le transport d'un matériel coûteux** : **le courantomètre**. La deuxième personne assure la mesure des profondeurs d'eau, des dimensions de l'ambiance, sa description, il lui est aussi imparti de matérialiser l'ambiance, la troisième personne consigne toutes ces données par écrit.

Une pêche électrique par ambiances nécessite un minimum de 6 personnes :

- 3 personnes assurent la capture des espèces ; 1 porteur d'électrode et 2 épuisetiers,
- 1 personne réceptionne puis transporte les captures entre les équipes de pêche et de biométrie,
- 2 personnes réalisent la biométrie ; 1 personne identifie, mesure et pèse les captures et 1 personne note les résultats.

L'expérience montre qu'il est tout de même plus confortable de travailler avec 7 ou 8 personnes. Les personnes supplémentaires permettent d'augmenter l'efficacité de la pêche (épuisetiers) mais assurent également le transport des captures qui peut parfois être long (300 à 400 m) entre les équipes de pêche et de biométrie.

Lors d'une pêche totale, on utilise souvent un deuxième groupe de pêche (à partir d'une largeur de cours d'eau d'environ 4 m). Il faut alors compter 4 personnes par appareil (1 pêcheur, 2 épuisetiers et 1 personne pour réceptionner les captures), 2 personnes à la biométrie et 1 personne pour faire la liaison entre les différentes équipes, **soit 7 à 11 personnes selon le nombre de groupes de pêche**.

Cette mobilisation de personnel est minimale par rapport à celle préconisée par le CSP dans le cahier des charges du RHP (Porcher J.P., 24/06/1998).

4 Liste des espèces de poissons et de macrocrustacés

Les espèces rencontrées à la Réunion sont :

Macrocrustacés

Famille des Atyidae

ATY	*Atyoida serrata*	Crevette bouledogue
CAR	*Caridina typus*	Chevaquine
CAS	*Caridina serratirostris*	Chevaquine

Famille des Palaemonidae

MAA	*Macrobrachium australe*	Chevrette
MAH	*Macrobrachium lepidactylus*	Écrevisse
MAL	*Macrobrachium lar*	Camaron

Famille des Potamonidae

VAL	*Varuna litterata*	Crabe

Poissons

Famille des Ambassidae

AMS	*Ambassis sp.*	Ambasse ou Ambache

Famille des Anguillidae

ABI	*Anguilla b. bicolor*	Anguille bicolore
AMA	*Anguilla marmorata*	Anguille marbrée
AMO	*Anguilla mossambica*	Anguille du Mozambique
ANE	*Anguilla nebulosa labiata*	Anguille marbrée africaine
ANG	*Anguilla sp.*	Anguille

Famille des Centrarchidae

KUS	*Kuhlia sp.*	
KUL	*Kuhlia rupestris*	Doule de roche

Famille des Cichlidae

TIL	*Oreochromis sp.*	Tilapia

Famille des Eleotridae

ELF	*Eleotris fusca*	Cabot noir
ELM	*Eleotris mauritiana*	Cabot noir

Famille des Gobiidae		
AWA	*Awaous commersoni*	Loche
COA	*Cotylopus acutipinnis*	Cabot bouche ronde
GLO	*Glossogobius giurus*	Loche tête plate
SIC	*Sicyopterus lagocephalus*	Cabot bouche ronde
STE	*Stenogobius polyzona*	Cabot rayé
Famille des Mugilidae		
MUS	Générique	Mulet
AGO	*Agonostomus telfairii*	Chitte
MUC	*Mugil cephalus*	Mulet
VAC	*Valamugil cunnesius*	Mulet
VAR	*Valamugil robustus*	Mulet
Famille des Ophichthydae		
YIR	*Yirrkala tenuis*	Anguille serpent
Famille des Poecilidae		
GUP	*Poecilia reticulata*	Guppy
XIP	*Xiphophorus hellerii*	Porte épée
Famille des Salmonidae		
TAC	*Oncorhynchus mykiss*	Truite arc-en-ciel
Famille des Syngnathidae		
MIC	*Microphis b. millepunctatus*	Syngnathe à queue courte

5 Variabilité spatio-temporelle du peuplement de poissons

Les données des campagnes de suivi récoltées entre 2000 et 2010 sur 12 bassins versants (13 stations : STDENIS, PLUIES, STESUZ, STJEAN, MAT 1, ROC 1, MARS 1, EST, LANG 1, STETIEN, GDBASS, STGIL, GAL 1) sont accessibles en ligne, sur le site web de l'ARDA (http://www.arda.fr) *via* la rubrique "Étude et valorisation des milieux aquatiques \ Réseau Piscicole de la Réunion". L'accession aux données se fait via un lien, ouvrant une fenêtre pop-up "Interrogation de la base du Réseau Piscicole".

Un menu déroulant permet de visualiser les résultats sous forme de cartes et/ou de tableaux, portant sur les principaux descripteurs des populations de poissons et macrocrustacés (Tableau 2) :

richesse spécifique des peuplements, présence / absence d'une espèce, fréquence d'apparition, et densité observée des différentes populations.

Tableau 2 – Espèces recensées sur le site internet de l'ARDA.

Poissons		**Crustacés**
Anguille Bicolore	Chitte	Camaron
Anguille du Mozambique	Loche	Chevrette grands-bras
Anguille Marbrée	Loche tête plate	Chevaquine (*Caridina sp.*)
Anguille Marbrée Africaine	Nigro	Crabe
Cabot bouche ronde (*C. acutipinnis*)	Porte-épée / Guppy	Crevette bouledogue (*A. serrata*)
Cabot bouche ronde (*S. lagocephalus*)	Poisson plat	Ecrevisse
Cabot noir (*Eleotris sp.*)	Syngnathe	
Cabot rayé	Tilapia	
	Truite arc-en-ciel	

Les résultats des échantillonnages sont présentés sous forme de cartes synthétiques du type " Paramètre VS Espèce ou Famille d'espèces " à l'échelle d'une station, d'une région (Nord, Sud, Est ou Ouest) ou de La Réunion dans son ensemble pour une période comprise entre 2000 et 2010.

Les analyses réalisées antérieurement (sur la base des densités des espèces par station d'échantillonnage) ont montré qu'il existait une bonne structuration longitudinale des peuplements de poissons dans les rivières (lorsque le plan d'échantillonnage le permet) et qu'il existait également une variabilité temporelle à l'échelle de la station d'échantillonnage. Une analyse similaire a été réalisée sur le jeu de données 2000-2010 afin de vérifier ces conclusions.

5.1 Les données

Les données utilisées portent uniquement sur les 16 espèces principales de poissons : *Anguilla bicolor bicolor* (ABI), *Agonostomus telfairii* (AGO), *Anguilla marmorata* (AMA), *Anguilla mossambica* (AMO), *Anguilla nebulosa labiata* (ANE), *Archocentrus nigrofasciatus* (ARN), *Awaous commersoni* (AWA), *Cotylopus acutipinnis* (COA), *Eleotris fusca* (ELF), *Eleotris mauritiana* (ELM), *Poecilia (Lebistes) reticulata* (GUP), *Kuhlia rupestris* (KUL), *Microphis*

brachimillepunctus (MIC), *Sicyopterus lagocephalus* (SIC), *Stenogobius polyzona* (STE), *Oreochromis sp.*(TIL), *Xiphophorus hellerii* (XIP).

269 pêches ont été utilisées dans l'analyse et les données sont exprimées en densités par espèce pour 100m^2 et par pêche (couple station-date).

5.2 Résultats de l'analyse

Les densités sont transformées en log(densité + 1) avant analyse.

L'examen des corrélations entre les densités des différentes espèces montre (Figure 3) :

- que l'abondance des *Cotylopus* est inversement corrélée à l'abondance des autres espèces exceptée celle du *Sicyopterus*,
- que l'abondance des espèces des cours inférieurs (*Anguilla bicolor*, *Eleotris mauritiana*, *Kuhlia rupestris*, *Microphis brachyurus m.*, *Stenogobius polyzona*, *Agonostomus telfairii*, *Anguilla mossambica)* et intermédiaires (*Agonostomus telfairii*, *Anguilla mossambica*, *Awaous commersoni*, *Eleotris fusca*) des cours d'eau sont relativement bien corrélées.

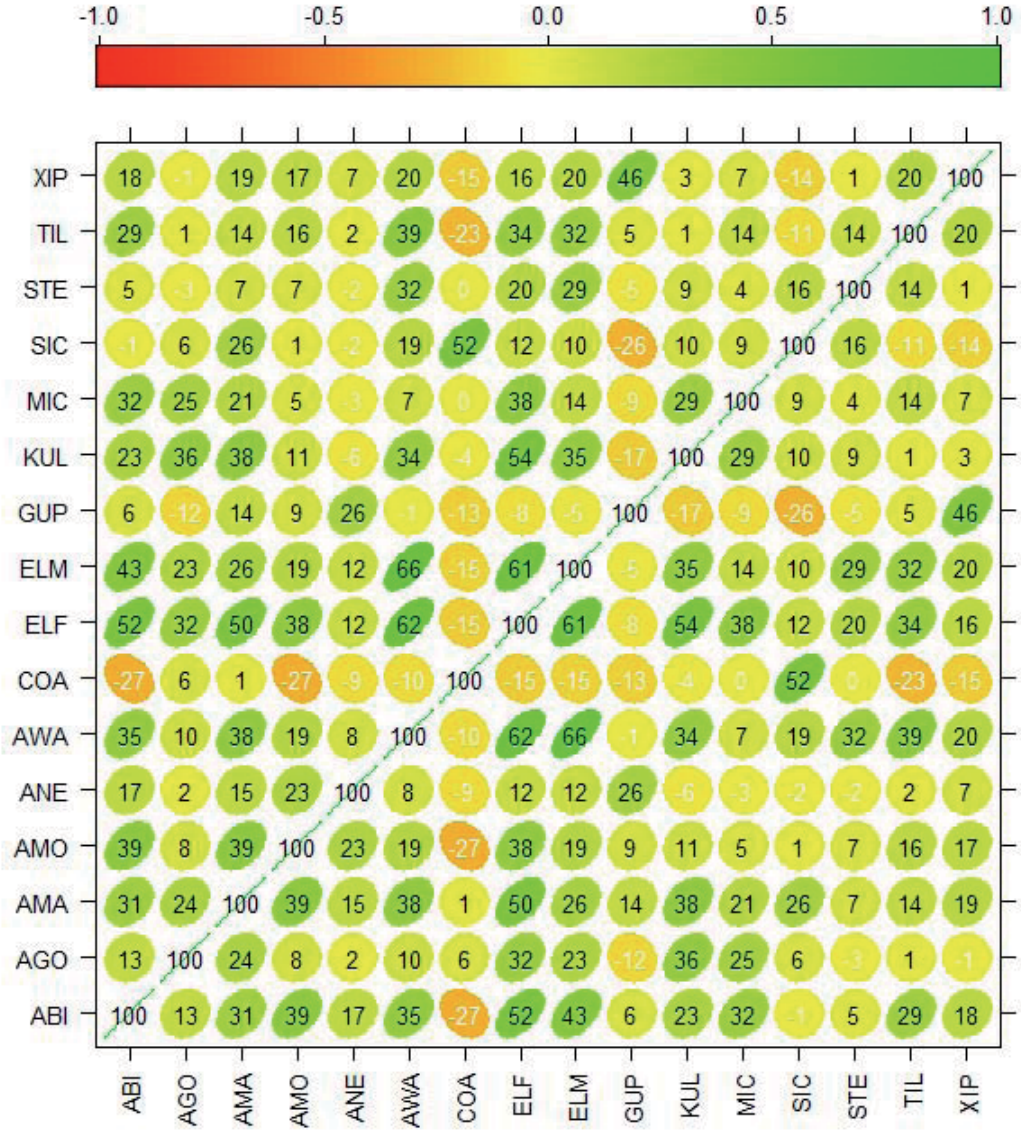


Figure 3 : Visualisation des corrélations d'abondance (log5) d'espèces (uniquement les 16 espèces retenues). Pour chaque corrélation, la forme du patchest de plus en plus elliptique lorsque la corrélation tend vers 1 ou -1. Le code couleur (en haut de la figure) permet d'identifier rapidement les corrélations positives ou négatives. La valeur (x100) exacte du coeffcient de corrélation de Pearson est indiquée.

Une analyse en composantes principales (centrée sur les log des abondances) intra-bassins a été réalisée sur le jeu de données.

Cette analyse a pour objectif de maximiser la variabilité intra-bassin versant en mettant en évidence les structures longitudinales et la variabilité temporelle si elles existent.

La variabilité intra-rivière représente 62% de l'inertie totale, ce qui indique qu'il s'agit d'un facteur majeur de la structure des peuplements piscicoles de la Réunion.

[5] La transfo log augmente les corrélations en valeur absolue.

Le premier axe est le seul qui structure réellement les données, les axes suivants présentant des valeurs propres proches. Le premier plan factoriel (Figure 4) représente 27% de l'inertie totale avec une forte contribution d'ELF, AWA et ELM sur la première composante et principalement ANE et KUL (nettement moins important) pour la seconde composante. Le premier axe exprime le gradient de densité des espèces en fonction de leur position le long du cours d'eau mais également un gradient de richesse spécifique, les stations aval et intermédiaires étant plus riches en espèces que les stations amont.

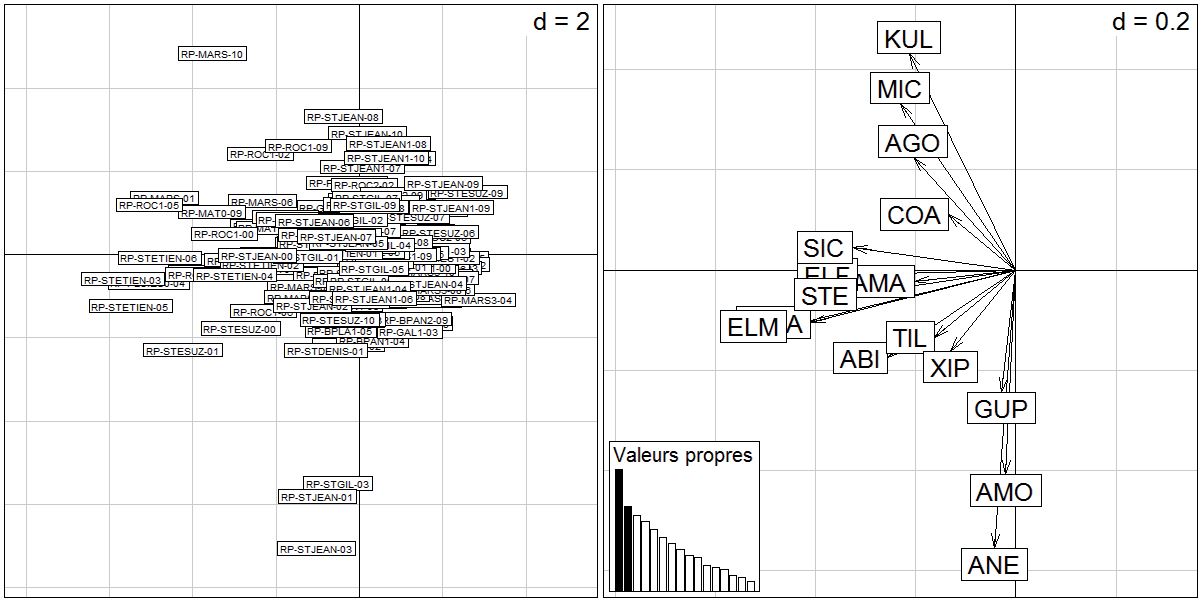


Figure 4 : Représentation graphique des résultats de l'ACP intra-rivière sur les log-densité par pêche annuelle. A gauche : projection des campagnes de pêche sur le plan factoriel des deux premiers axes de l'ACP. A droite : projection des espèces (variables) sur le premier plan factoriel (axes 1 et 2). Dans le coin inférieur gauche est figuré l'histogramme des valeurs propres, (Cf §4 pour la correspondance des codes des espèces).

La dispersion des pêches dans le plan F1xF2 de l'analyse est le résultat d'une combinaison entre variabilité spatiale et variabilité temporelle. La variabilité temporelle globale (Figure 5) est relativement faible mais la variabilité inter-stations peut être plus ou moins forte suivant les années (elle est par exemple très importante pour l'année 2003).

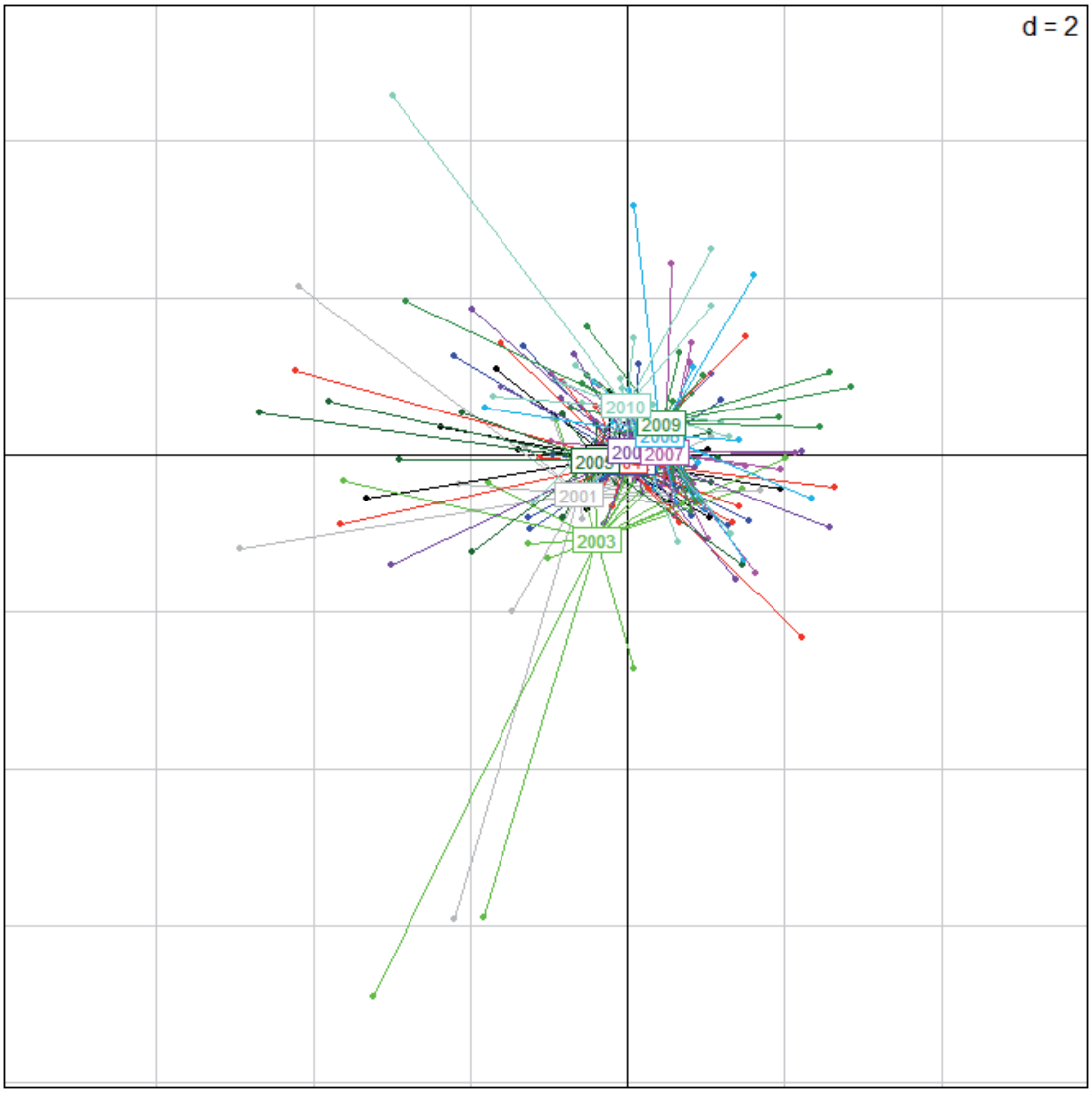


Figure 5 : Premier plan factoriel de l'ACP intra-rivière. Représentation des centres de gravités par année de pêche afin de visualiser la variabilité inter-annuelle pour chaque rivière.

Le premier axe de l'analyse étant particulièrement structurant, la représentation des coordonnées factorielles des pêches sur cet axe permet d'exprimer conjointement la structure longitudinale des peuplements et la variabilité temporelle au sein de chaque station (*Figure **6***).

Les valeurs des coordonnées factorielles des pêches sur le premier axe de l'analyse sont négativement et significativement corrélées à la densité totale des poissons dans la pêche (R^2=0,49 ***) et à la richesse spécifique (R^2=0,25 ***) (Figure 7).

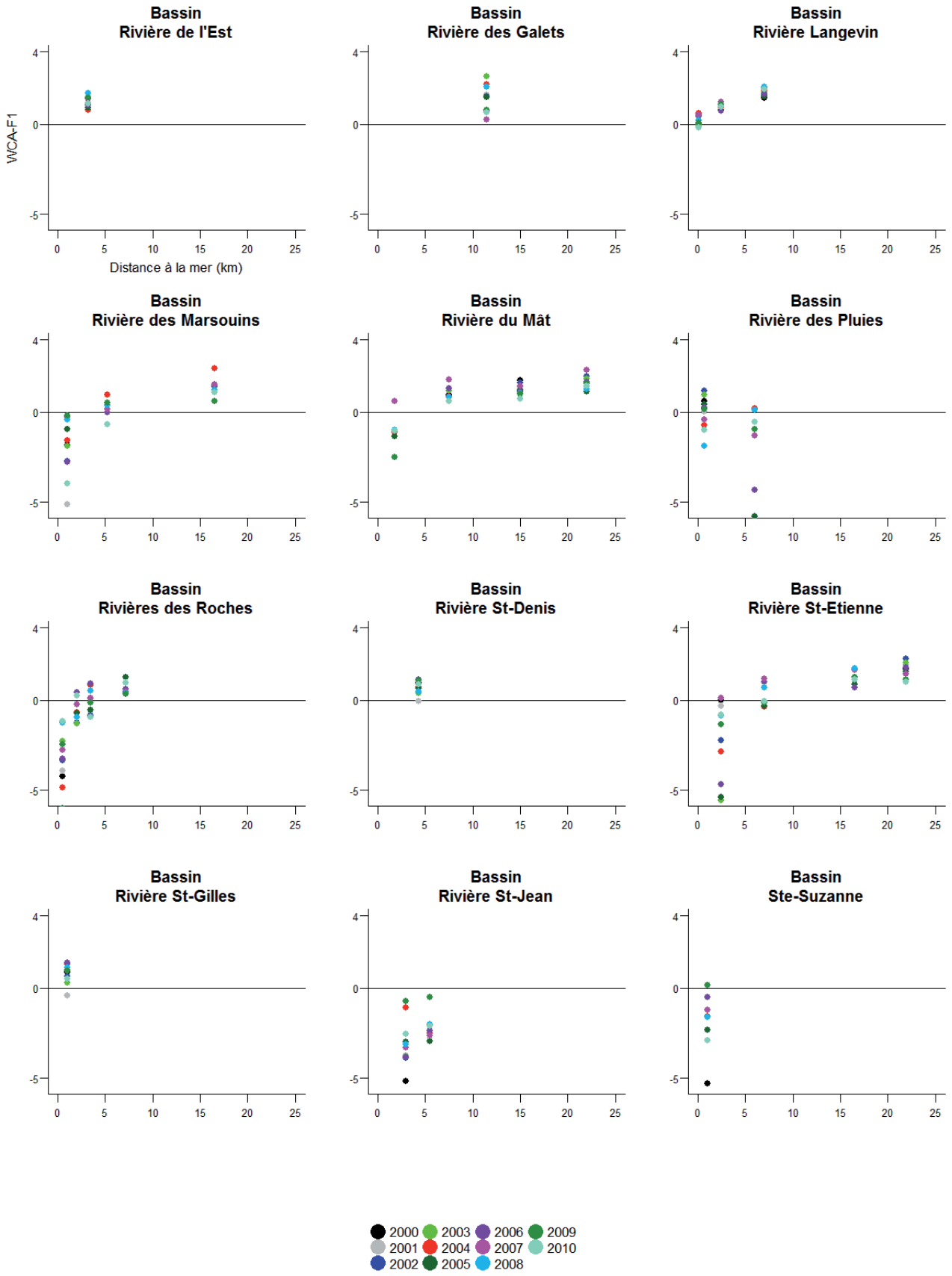


Figure 6 (page suivante) : Structure longitudinale des stations pour chaque rivière. Chaque campagne de pêche (Cf. code couleur sur la figure) est positionnée selon la distance à la mer de la station et en fonction de la valeur de la coordonnée factorielle sur l'axe 1 de l'ACP intra-rivière.

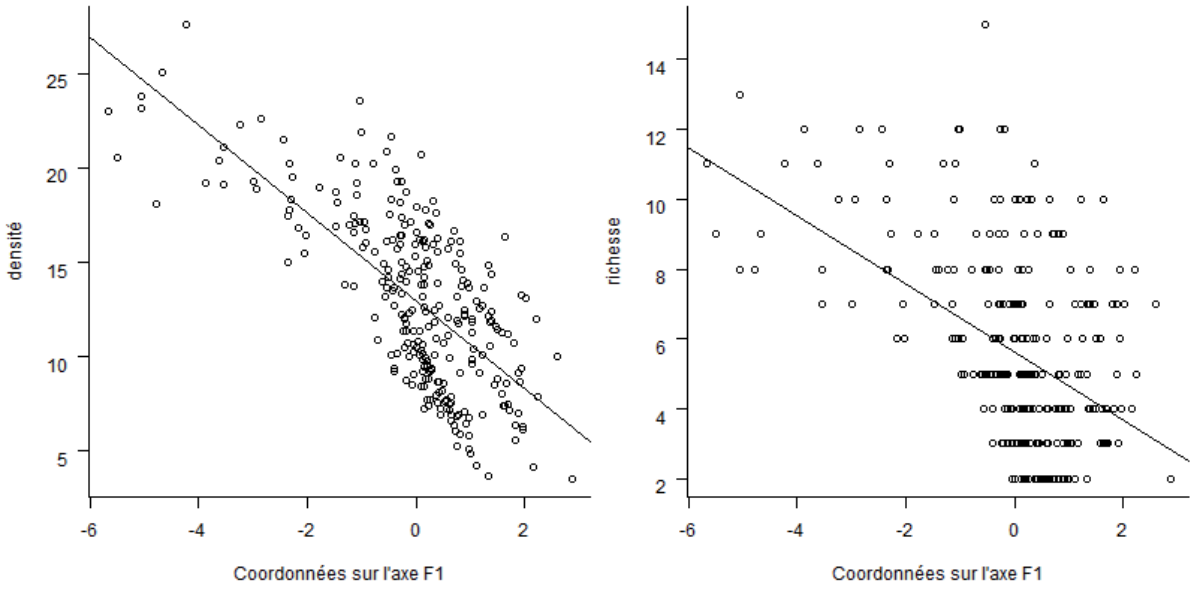


Figure 7 : Corrélation entre les coordonnées factorielles des pêches sur le premier axe de l'ACP intra-Bassins (F1) et les densités de poissons par pêche (toutes espèces confondues, à gauche) et la richesse spécifique par pêche (à droite.

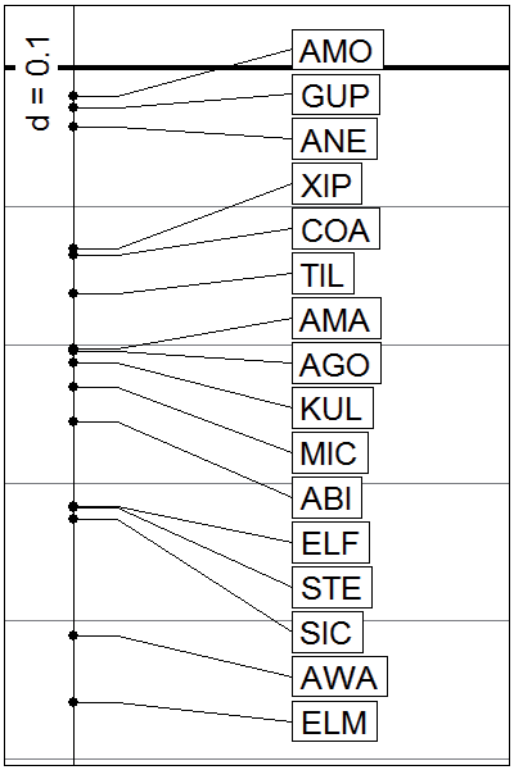


Figure 8 : score des espèces sur le premier axe de l'ACP intra-Bassins, les valeurs négatives sur cet axe sont associées à des espèces essentiellement caractéristiques des zones aval et intermédiaires des cours d'eau (ELM, AWA, STE, ABI, MIC, KUL, AGO) .

Ces résultats montrent :

- que la composition des peuplements varie bien le long d'un gradient longitudinal, avec un enrichissement en espèces dans les stations les plus aval (Figure 8) ; c'est particulièrement

le cas de la Rivière des Masouins, de la Rivière du Mât, de la Rivière Saint-Etienne, et des rivière de type II (Rivière des Roches, Rivière Saint-Jean),

- que l'intensité de la variabilité temporelle est variable d'une station à l'autre ; elle généralement plus importante dans les stations en aval, probablement en raison de la variabilité des flux de poissons en provenance de l'océan.

Le détail des variations de densités par station sur la période étudiée est présenté pour chaque espèce en annexe.

6 Conclusion

Les données issues des pêches réalisées entre 2000 et 2010 permettent de confirmer les résultats obtenus antérieurement à partir d'un jeu de données plus restreint (2000-2004).

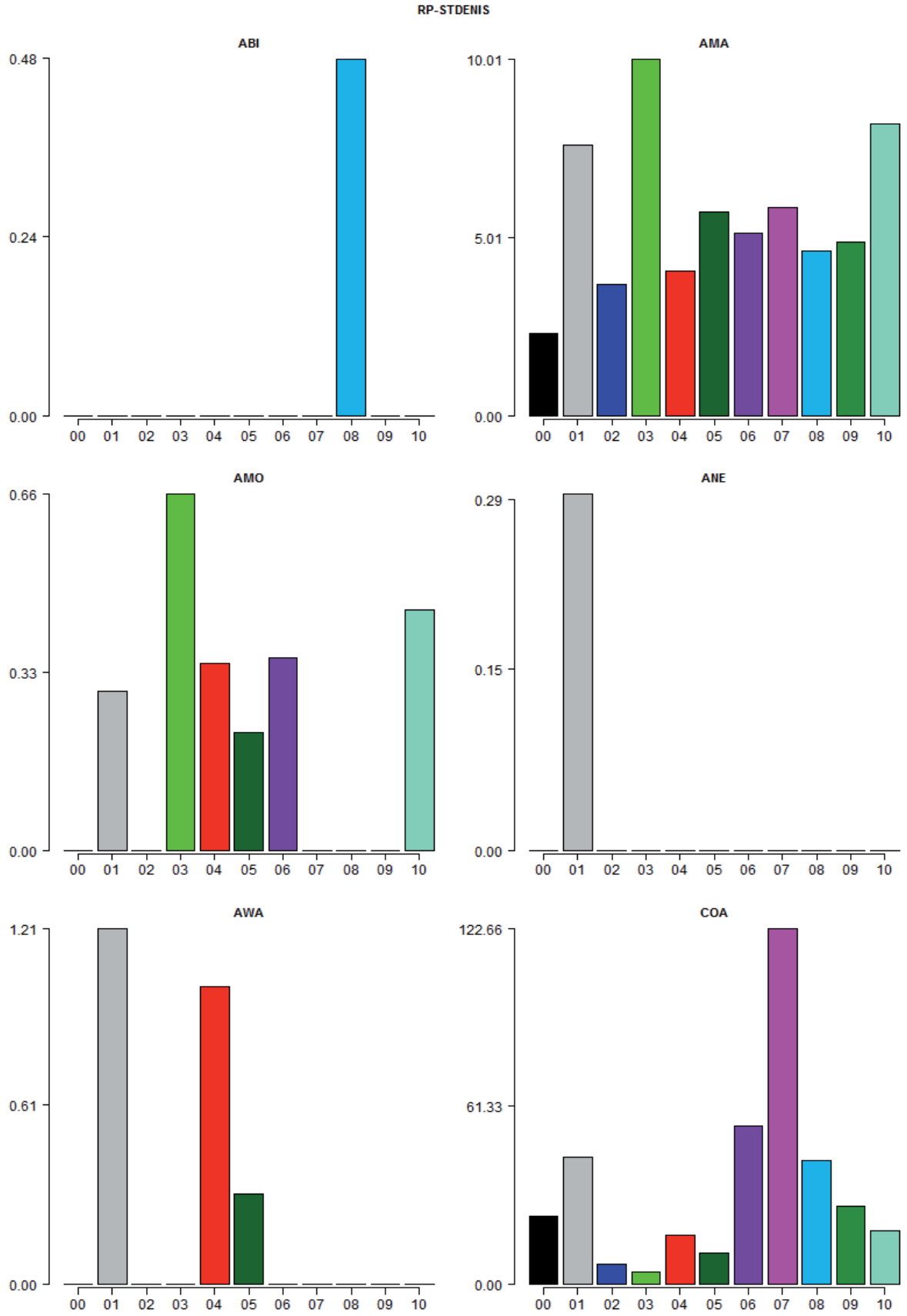
La structuration longitudinale des peuplements est très marquée, elle est conditionnée par les capacités de migration vers l'amont des différentes espèces, probablement par des différences de préférences écologiques des espèces, mais également par la présence d'obstacles à la continuité écologique des cours d'eau. Dans ces conditions il est difficile de mettre en évidence la part des caractéristiques locales de l'habitat (à l'échelle de la station) et celle des conditions de migration vers l'amont des différentes espèces (à l'échelle du bassin versant).

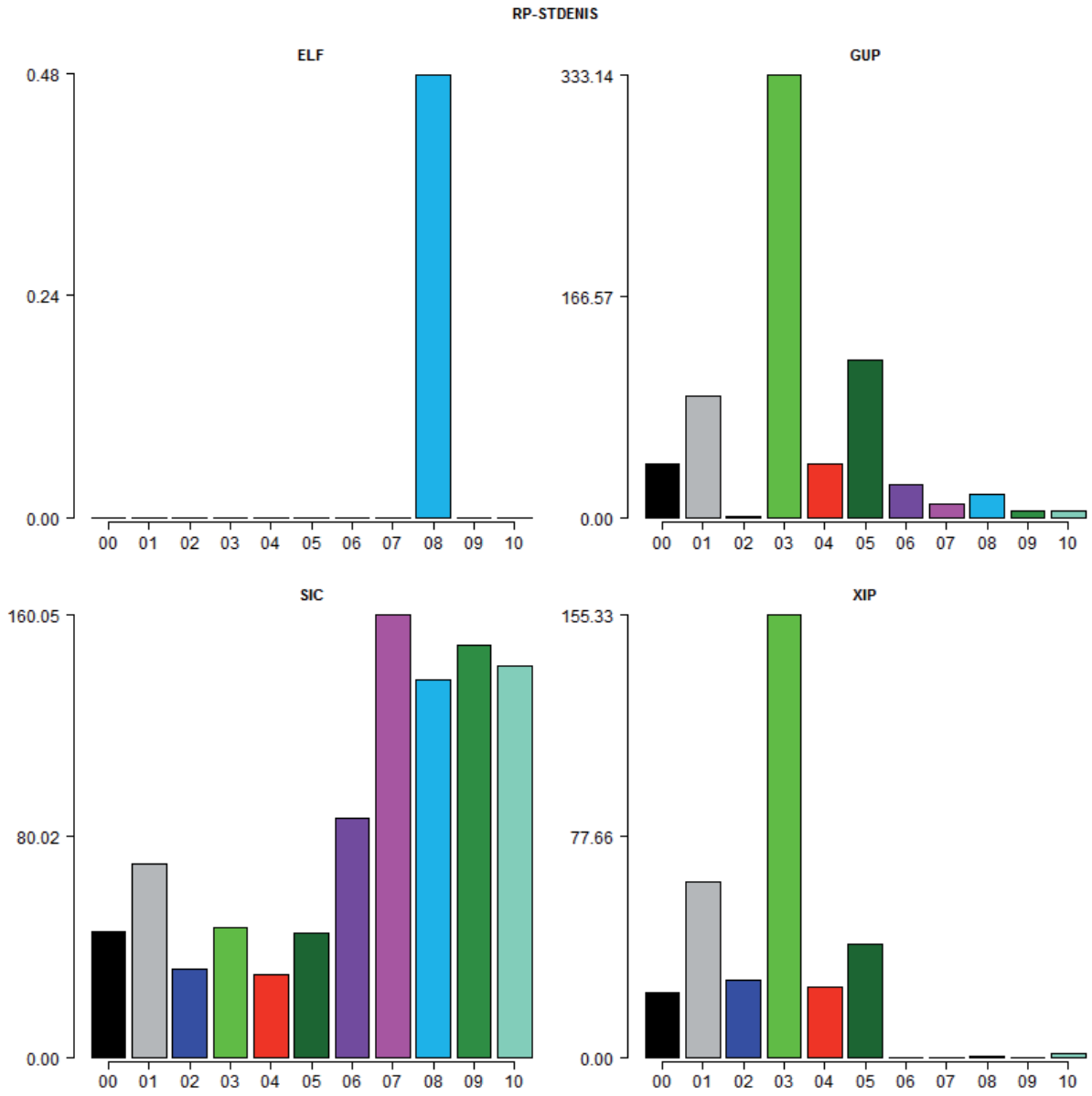
Les zones aval et intermédiaires des cours d'eau peuvent potentiellement abriter la plupart des espèces présentes sur l'île. Les résultats obtenus mettent en évidence une variabilité importante des densités en fonction des années. Compte-tenu du peu de connaissances disponibles sur l'écologie de ces espèces et des nombreux facteurs qui peuvent influer sur les densités des poissons dans ces portions de cours d'eau, les causes de cette variabilité restent très difficiles à mettre en lumière.

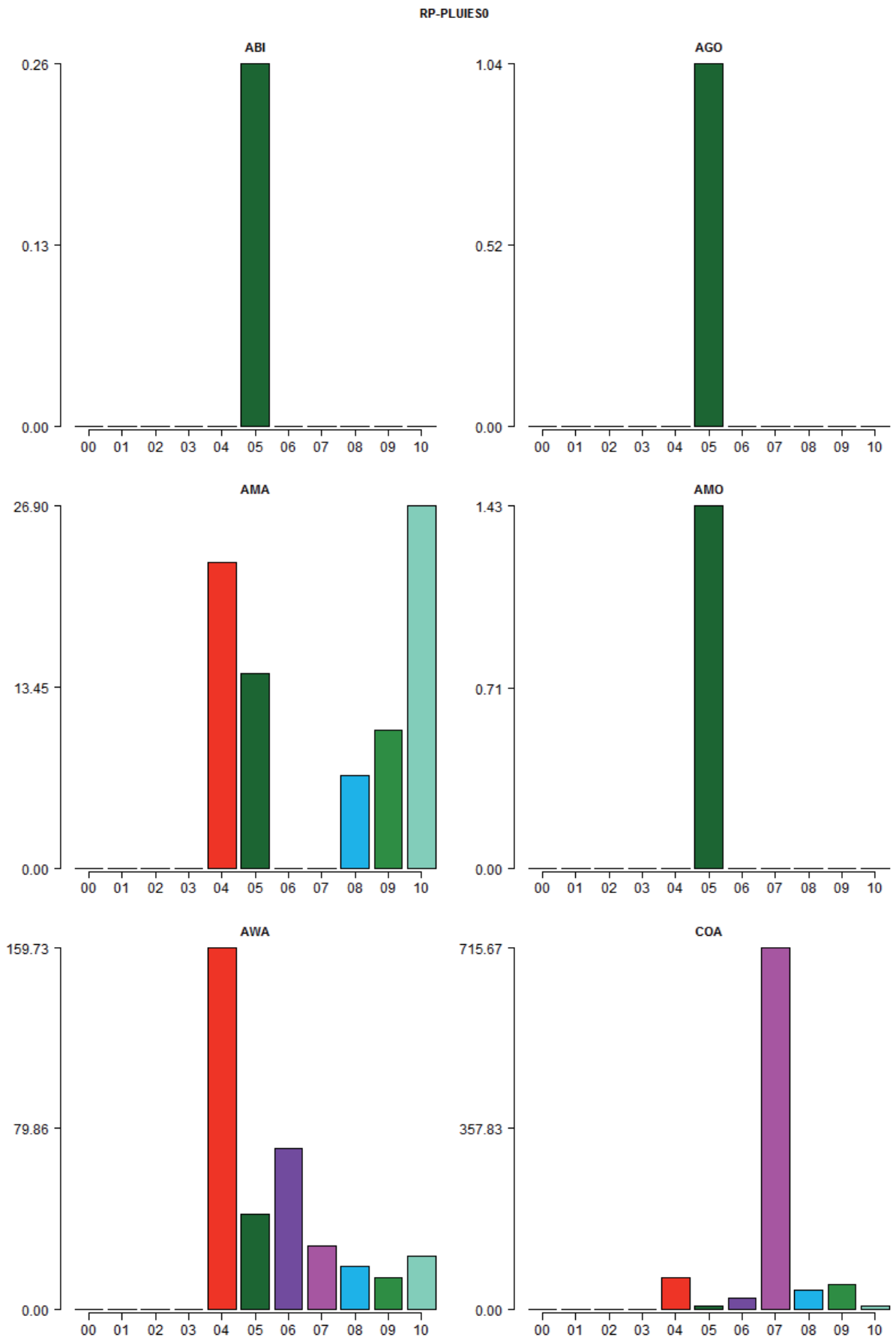
Les zones aval des cours d'eau sont incontestablement des biotopes jouant un rôle très important dans la dynamique et le maintien des espèces de poissons de la Réunion, quelles effectuent ou non des migrations de grande ampleur. Dans ces conditions, l'altération de ces secteurs (urbanisation, abstraction d'eau, pêche aux bichiques…) constitue un facteur de dégradation important de la qualité écologique des cours d'eau et des peuplements de poissons qu'ils abritent.

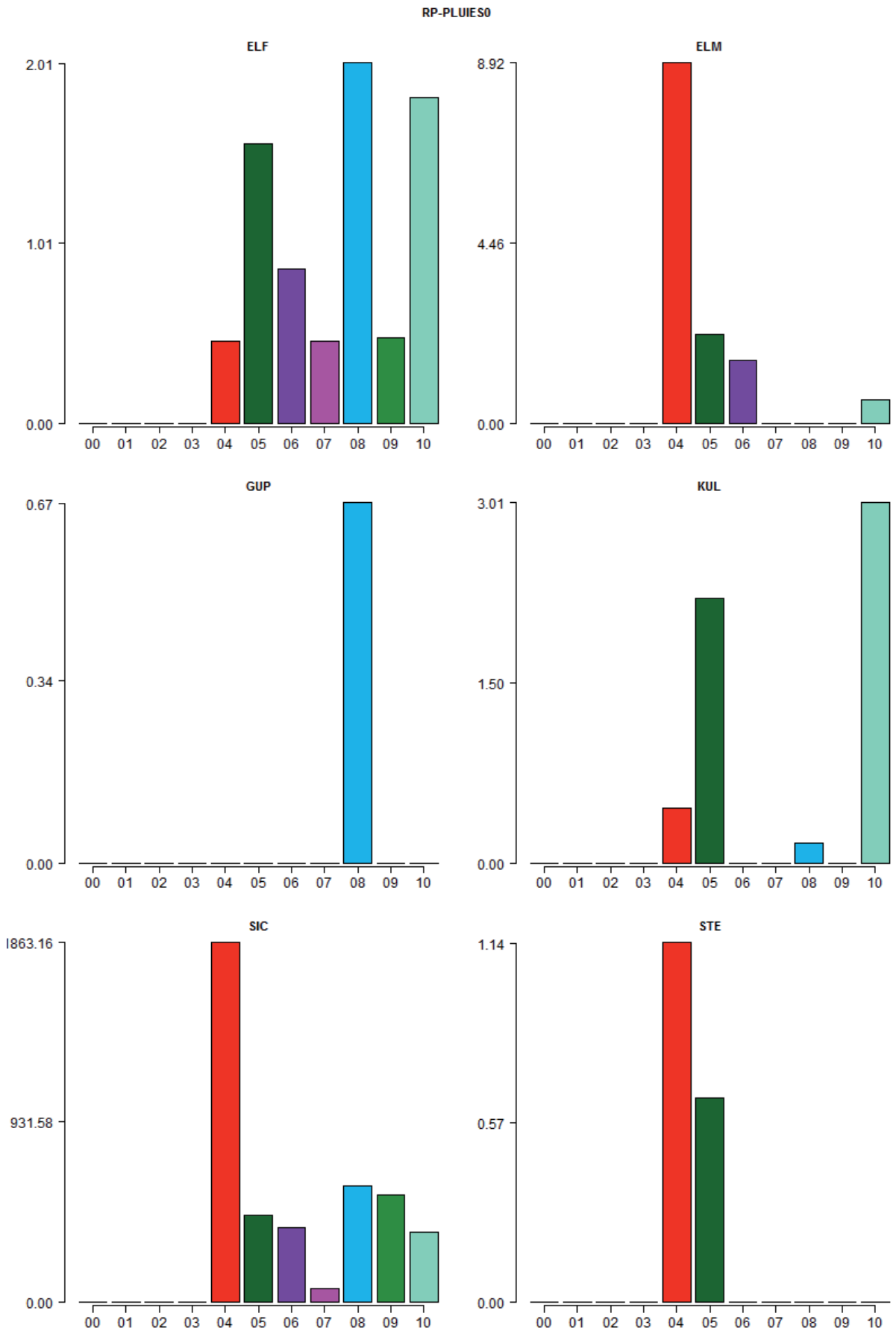
Les résultats obtenus dans le cadre de l'Observatoire des embouchures viennent appuyer ces constations.

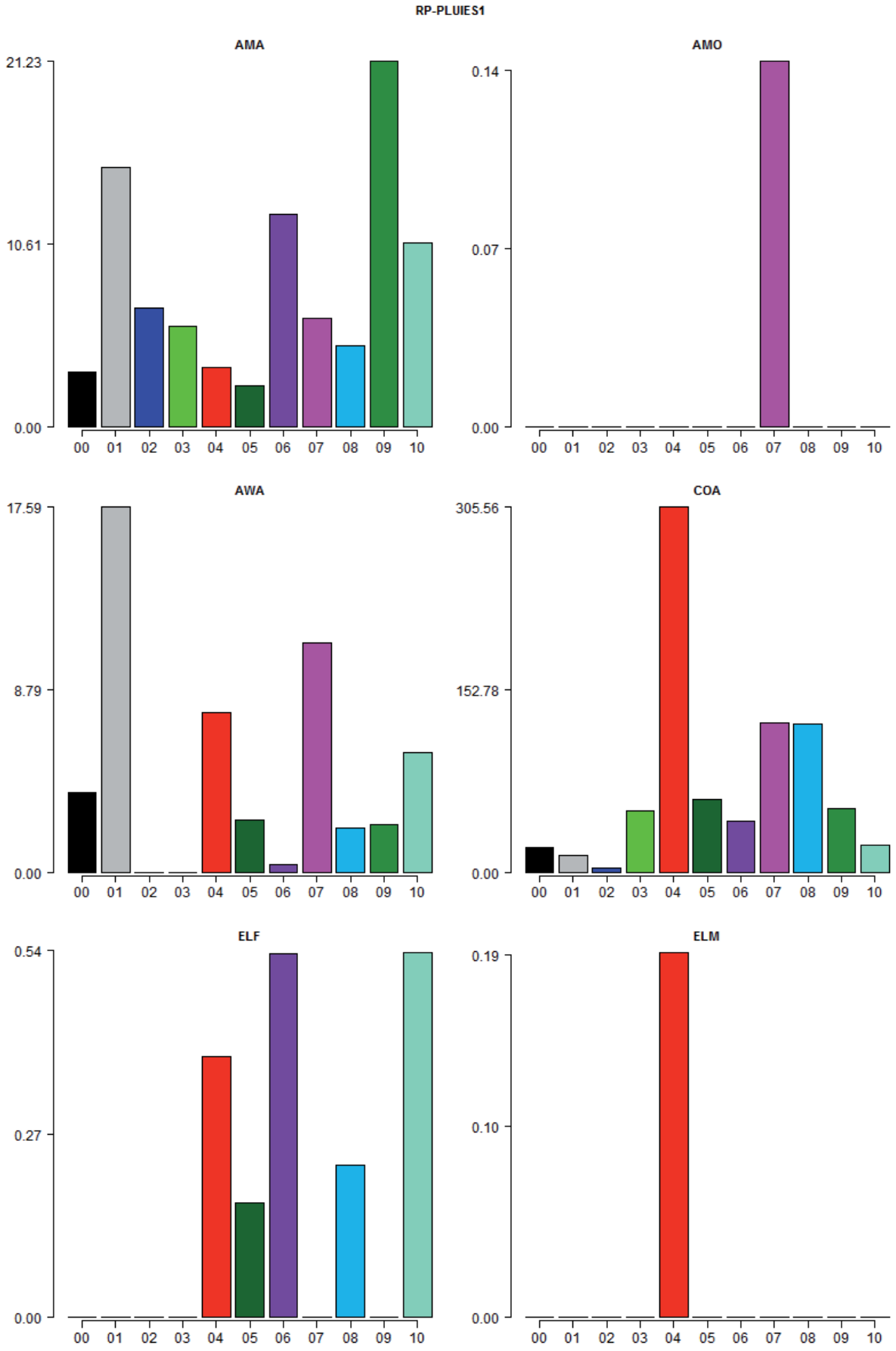
Annexe : Valeurs des densités (pour 100m2) des espèces présentes dans chaque station pour l'ensemble des dates échantillonnées.

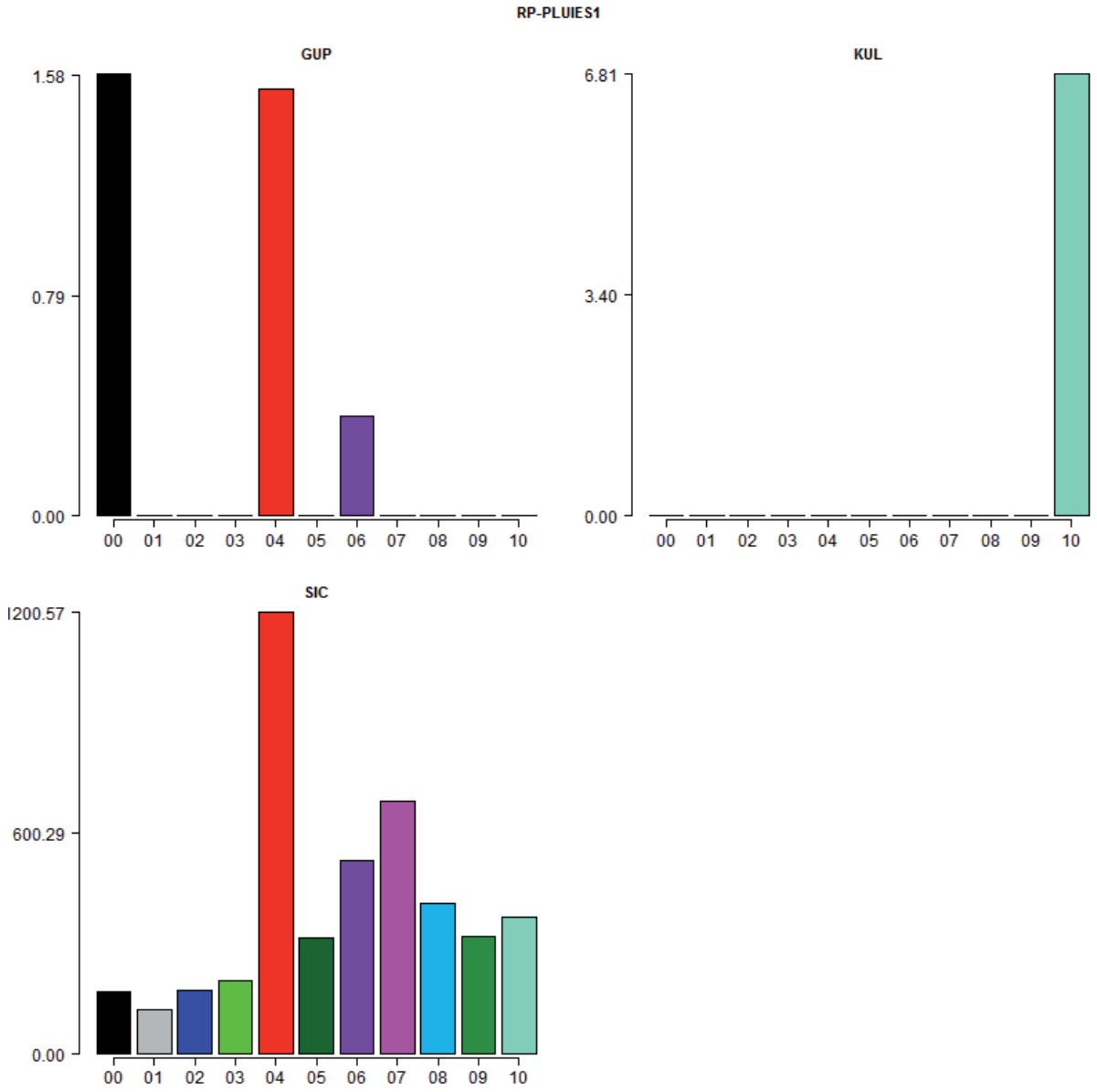


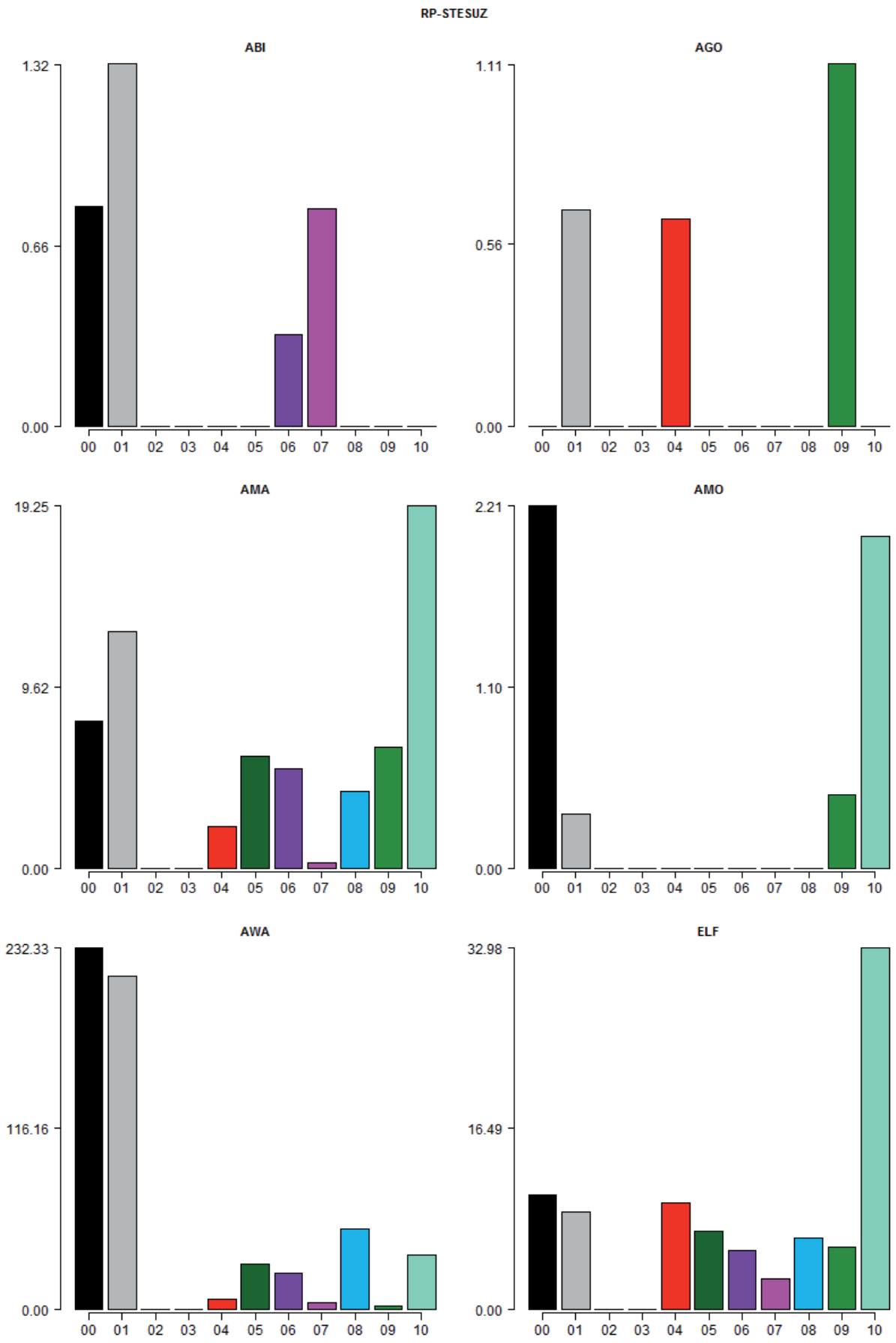

RP-STDENIS
ELF
0.48
0.24
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
333.14
166.57
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
160.05
80.02
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
XIP
155.33
77.66
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

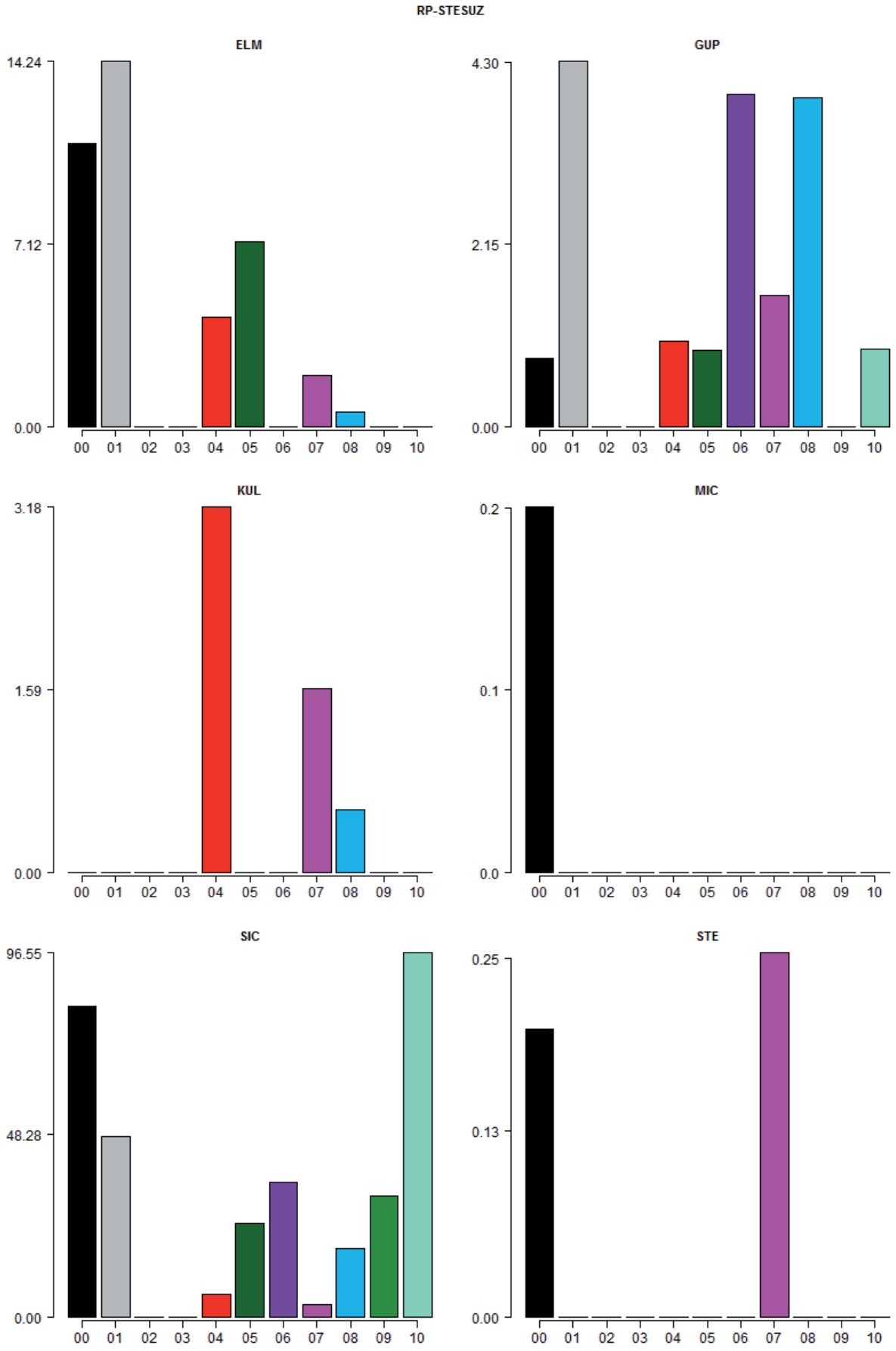

RP-PLUIES0
ABI
0.26
0.13
0.00
AGO
1.04
0.52
0.00
AMA
26.90
13.45
0.00
AMO
1.43
0.71
0.00
AWA
159.73
79.86
0.00
COA
715.67
357.83
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

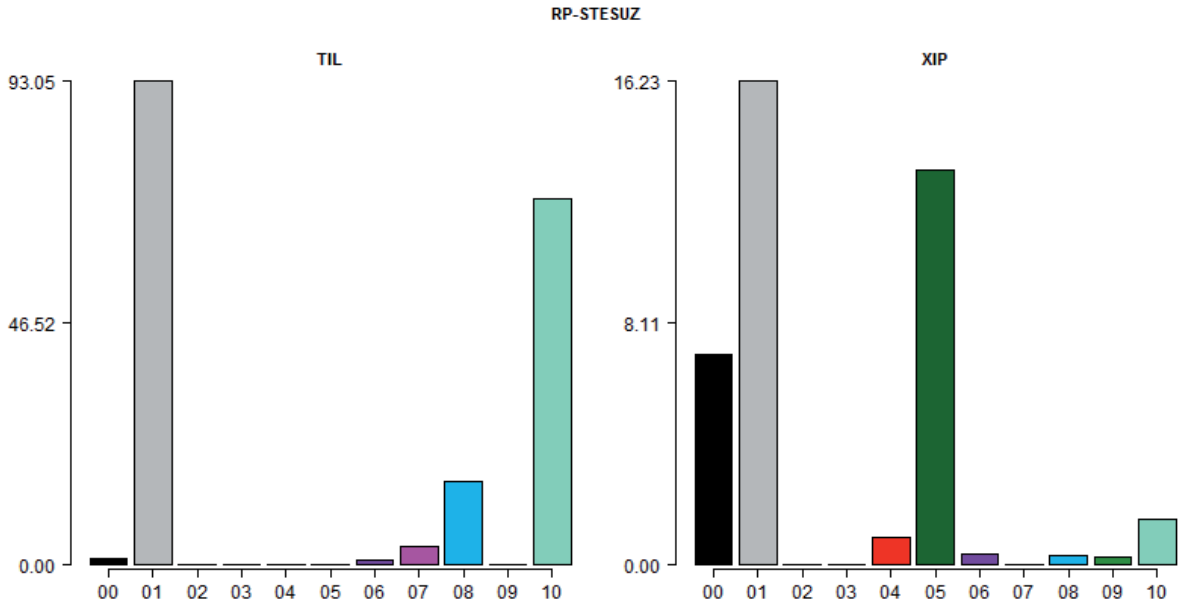

RP-PLUIES0
ELF
2.01
1.01
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELM
8.92
4.46
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
0.67
0.34
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
3.01
1.50
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
1863.16
931.58
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
STE
1.14
0.57
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

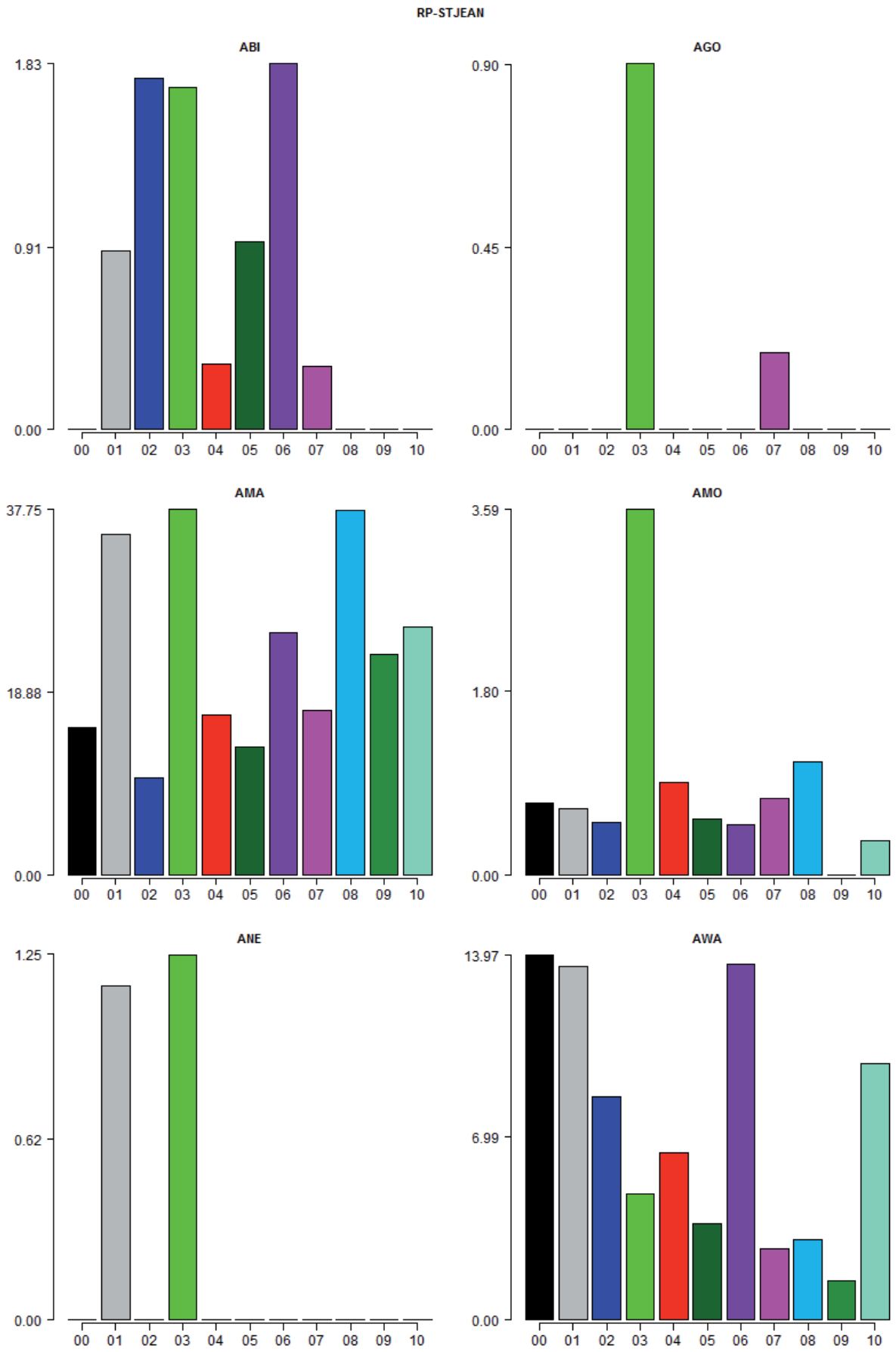

RP-PLUIES1
AMA
21.23
10.61
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMO
0.14
0.07
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AWA
17.59
8.79
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
305.56
152.78
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELF
0.54
0.27
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELM
0.19
0.10
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

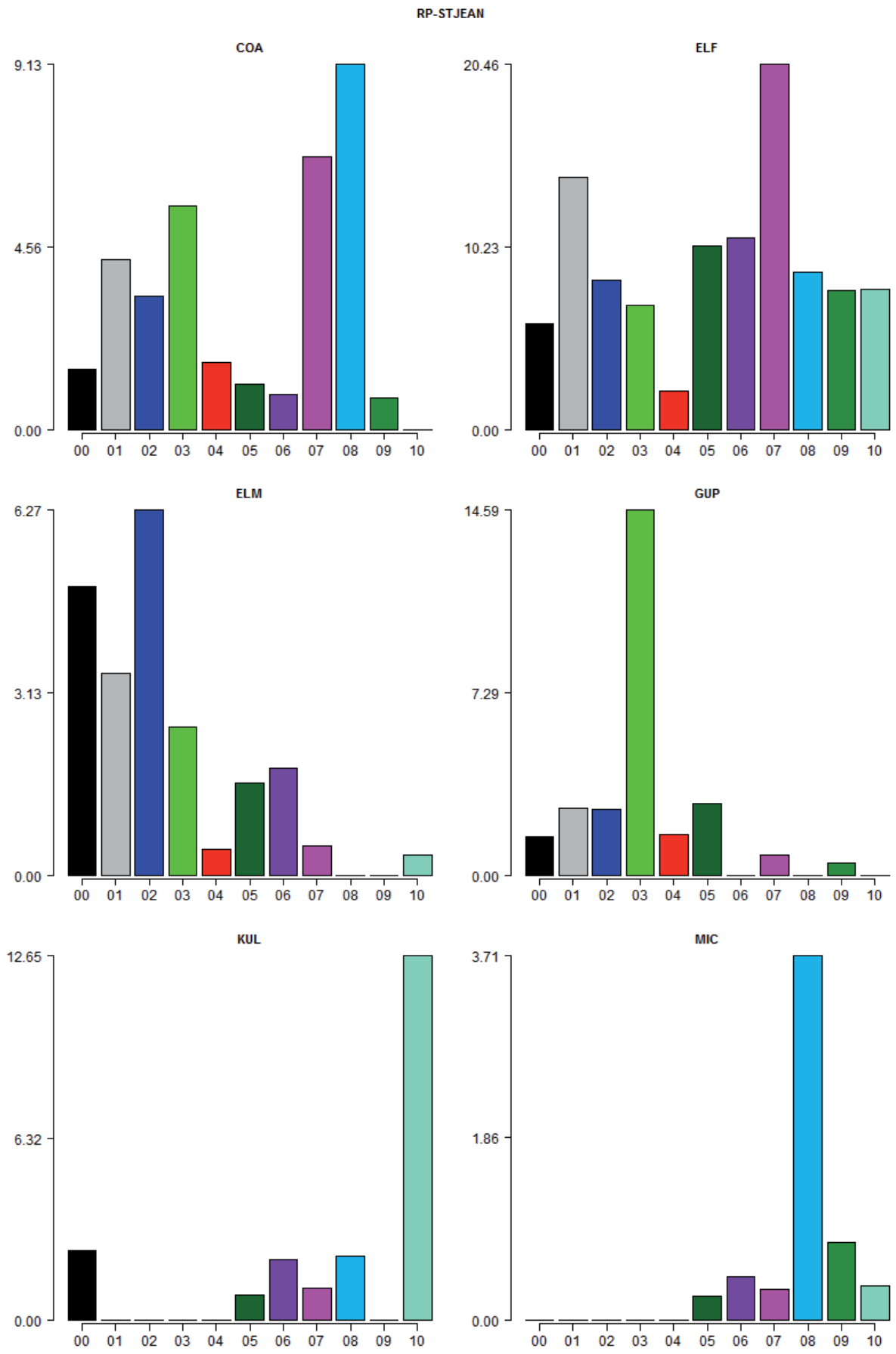

RP-PLUIES1
GUP
1.58
0.79
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
6.81
3.40
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
1200.57
600.29
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

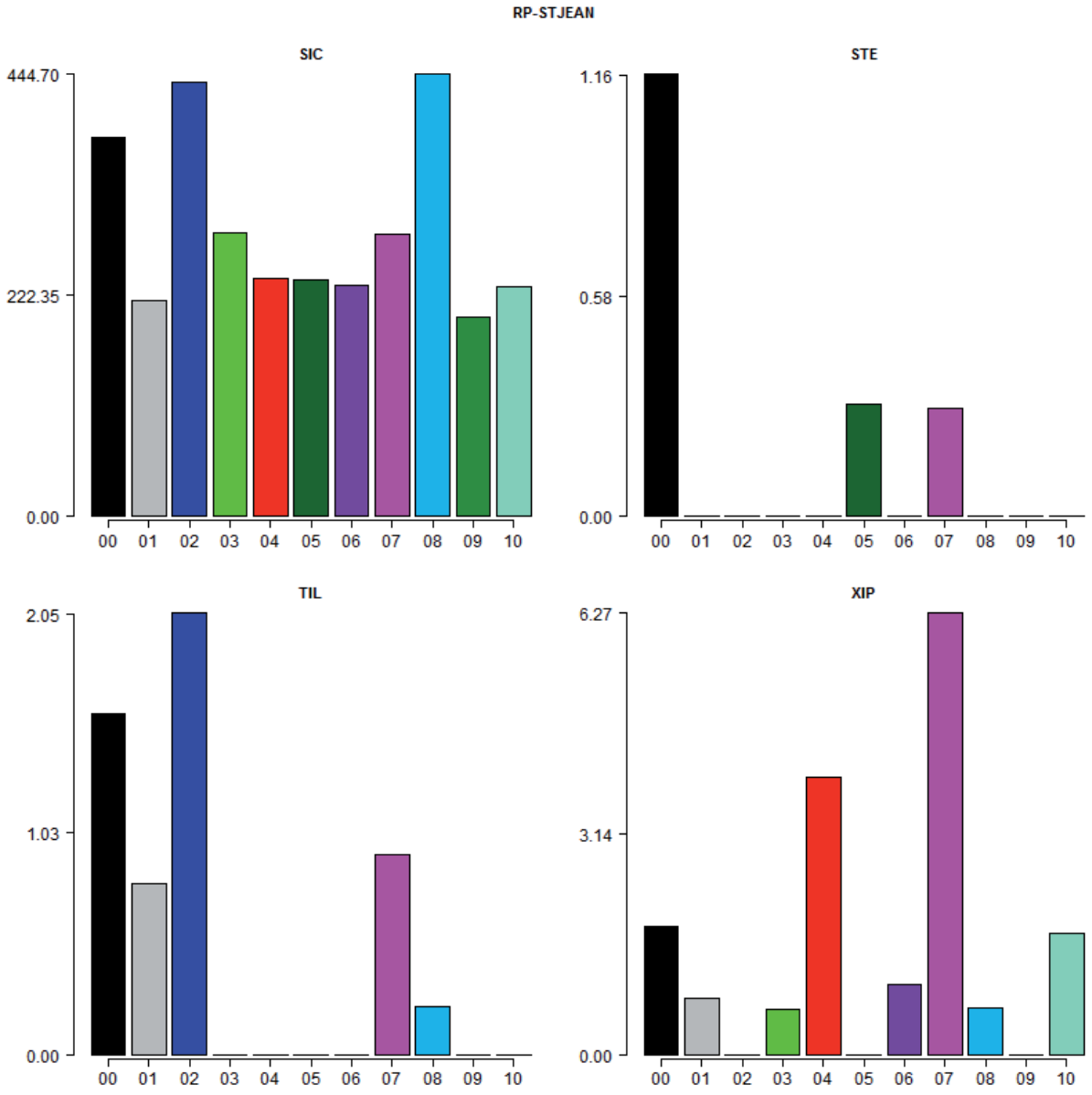

RP-STESUZ
ABI
1.32
0.66
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AGO
1.11
0.56
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMA
19.25
9.62
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMO
2.21
1.10
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AWA
232.33
116.16
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELF
32.98
16.49
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

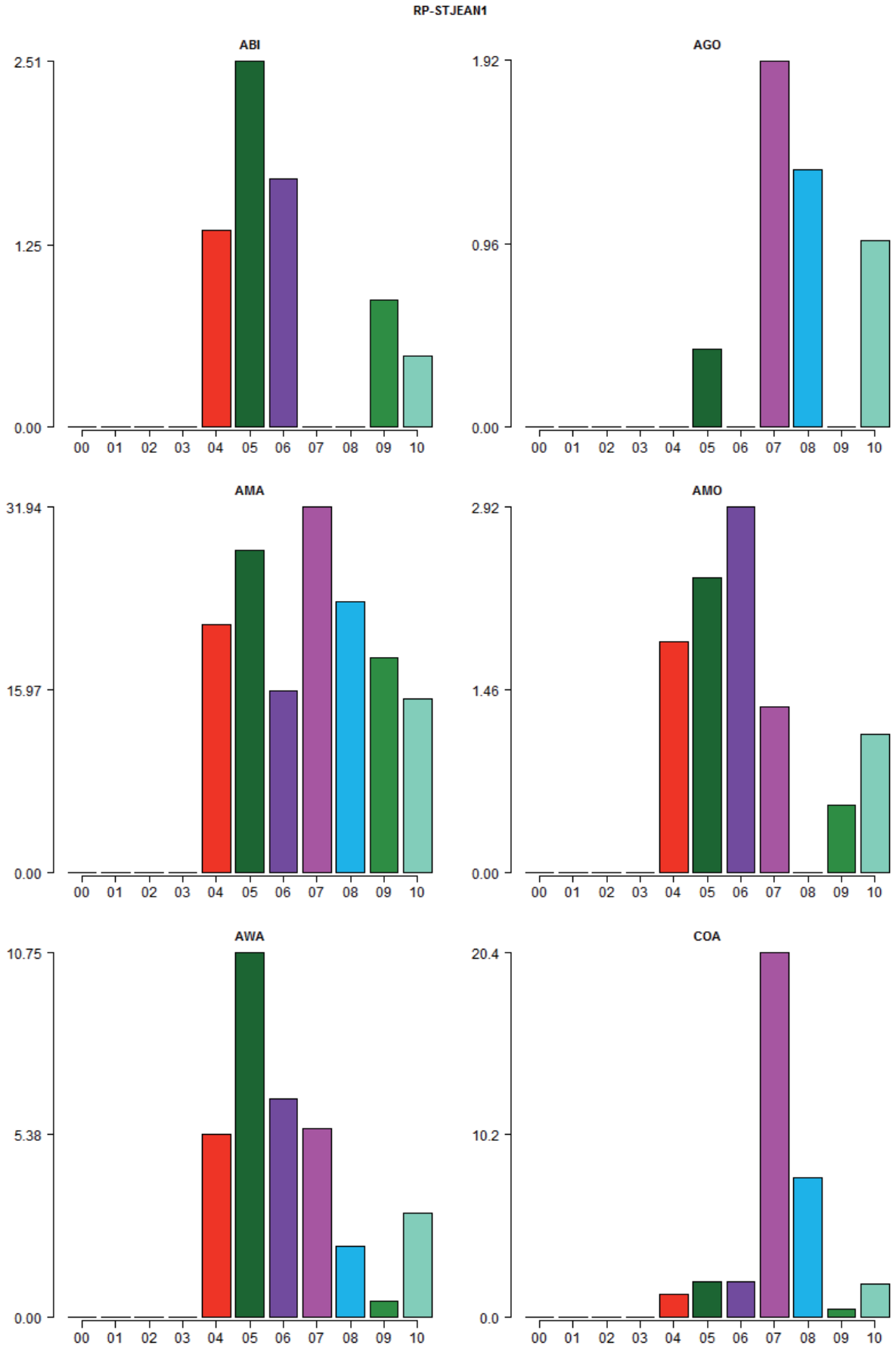

RP-STESUZ
ELM
14.24
7.12
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
4.30
2.15
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
3.18
1.59
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
MIC
0.2
0.1
0.0
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
96.55
48.28
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
STE
0.25
0.13
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

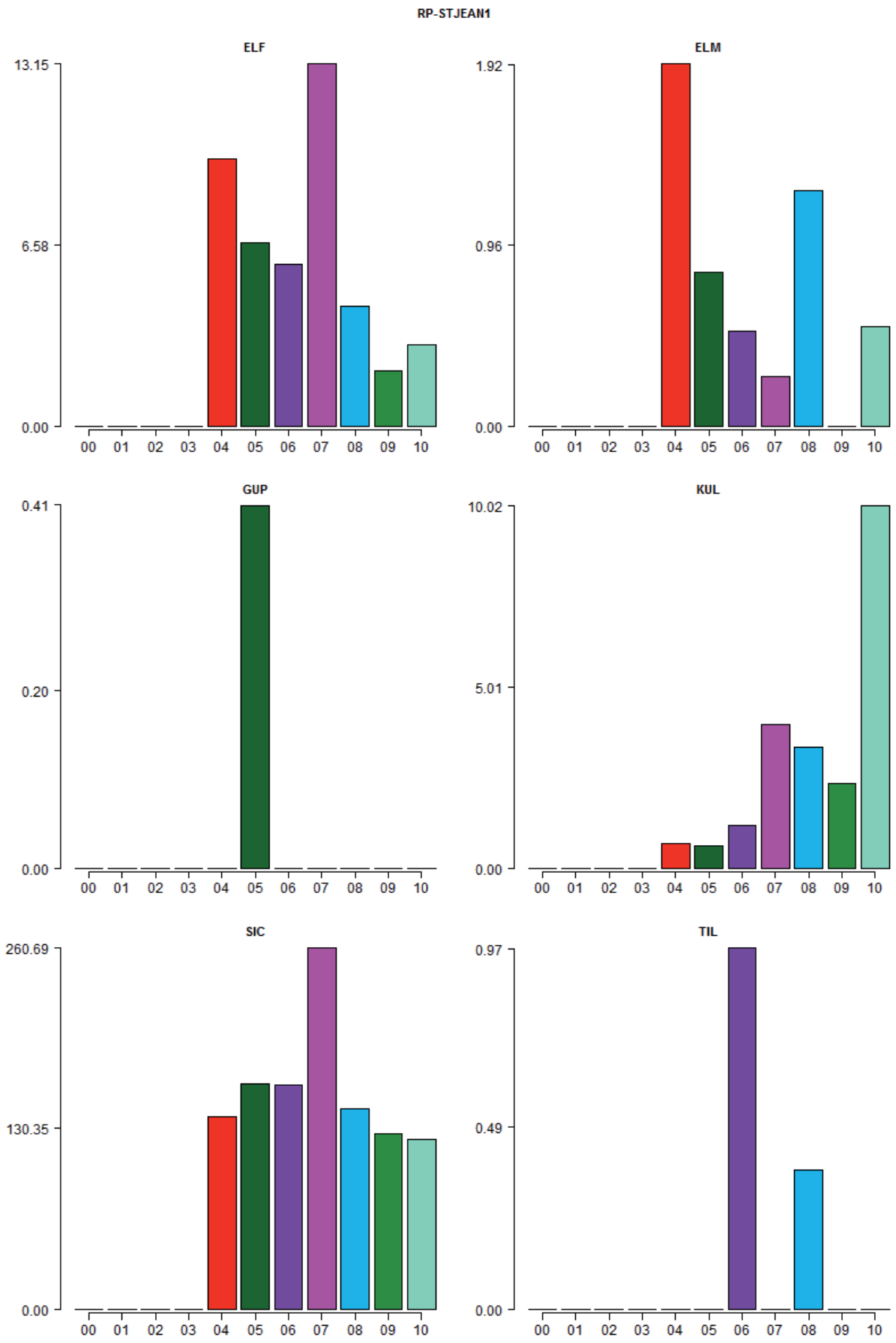

RP-STESUZ
TIL
93.05
46.52
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
XIP
16.23
8.11
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

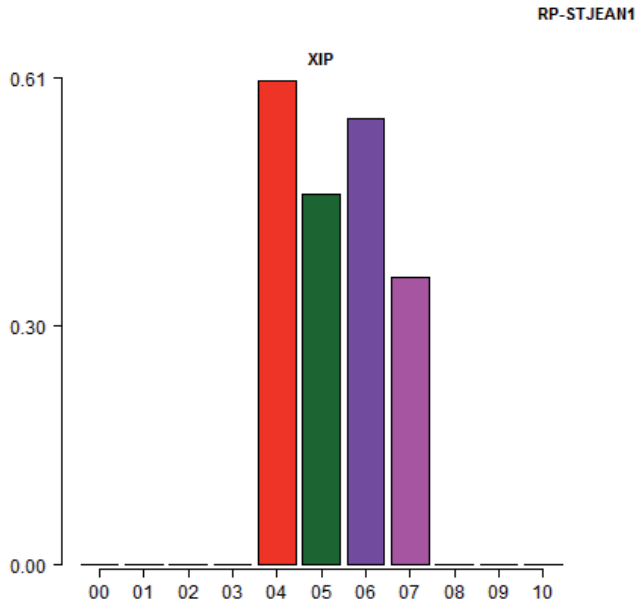

RP-STJEAN
ABI
1.83
0.91
0.00
AGO
0.90
0.45
0.00
AMA
37.75
18.88
0.00
AMO
3.59
1.80
0.00
ANE
1.25
0.62
0.00
AWA
13.97
6.99
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

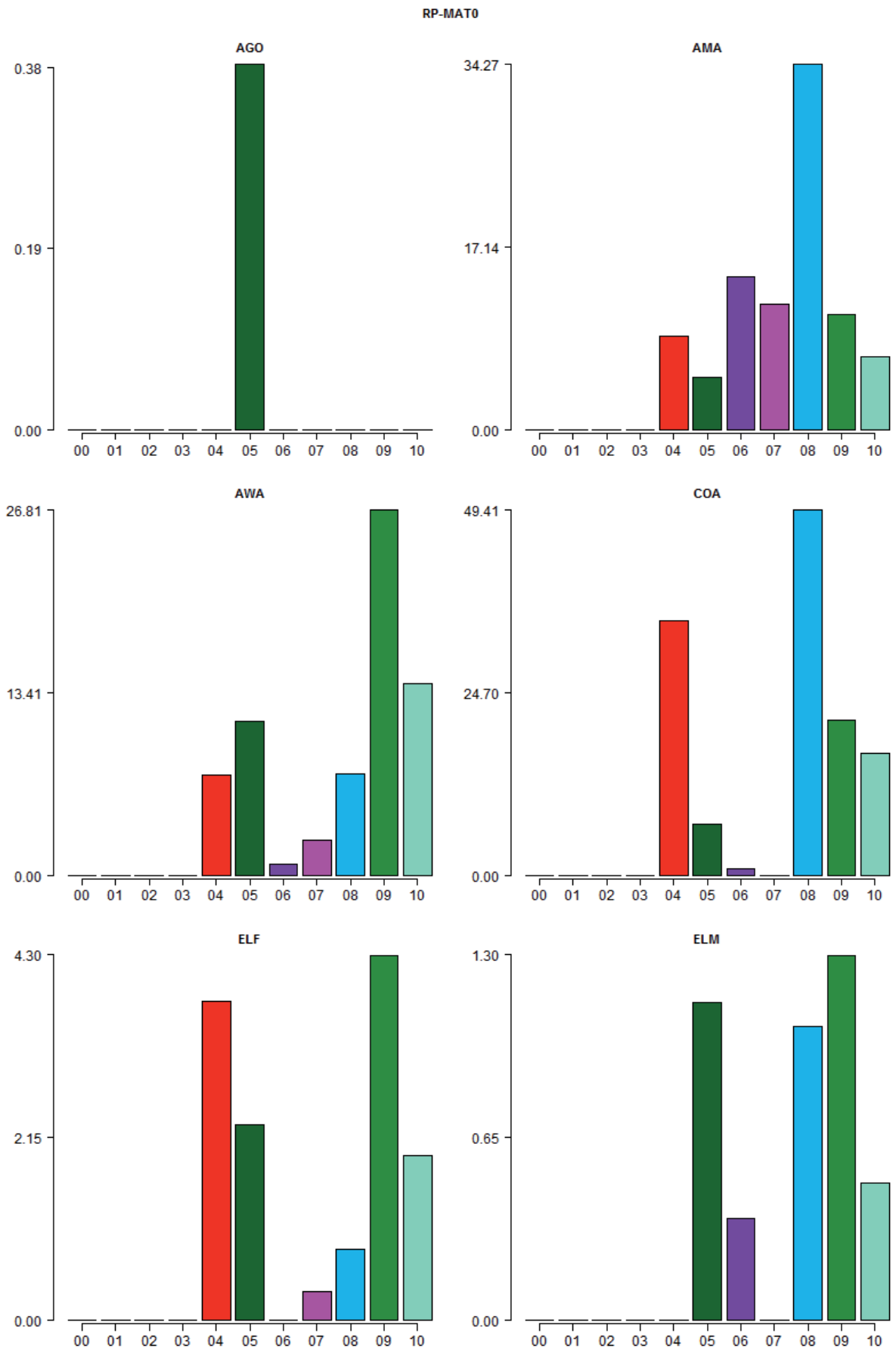

RP-STJEAN
COA
9.13
4.56
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELF
20.46
10.23
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELM
6.27
3.13
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
14.59
7.29
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
12.65
6.32
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
MIC
3.71
1.86
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

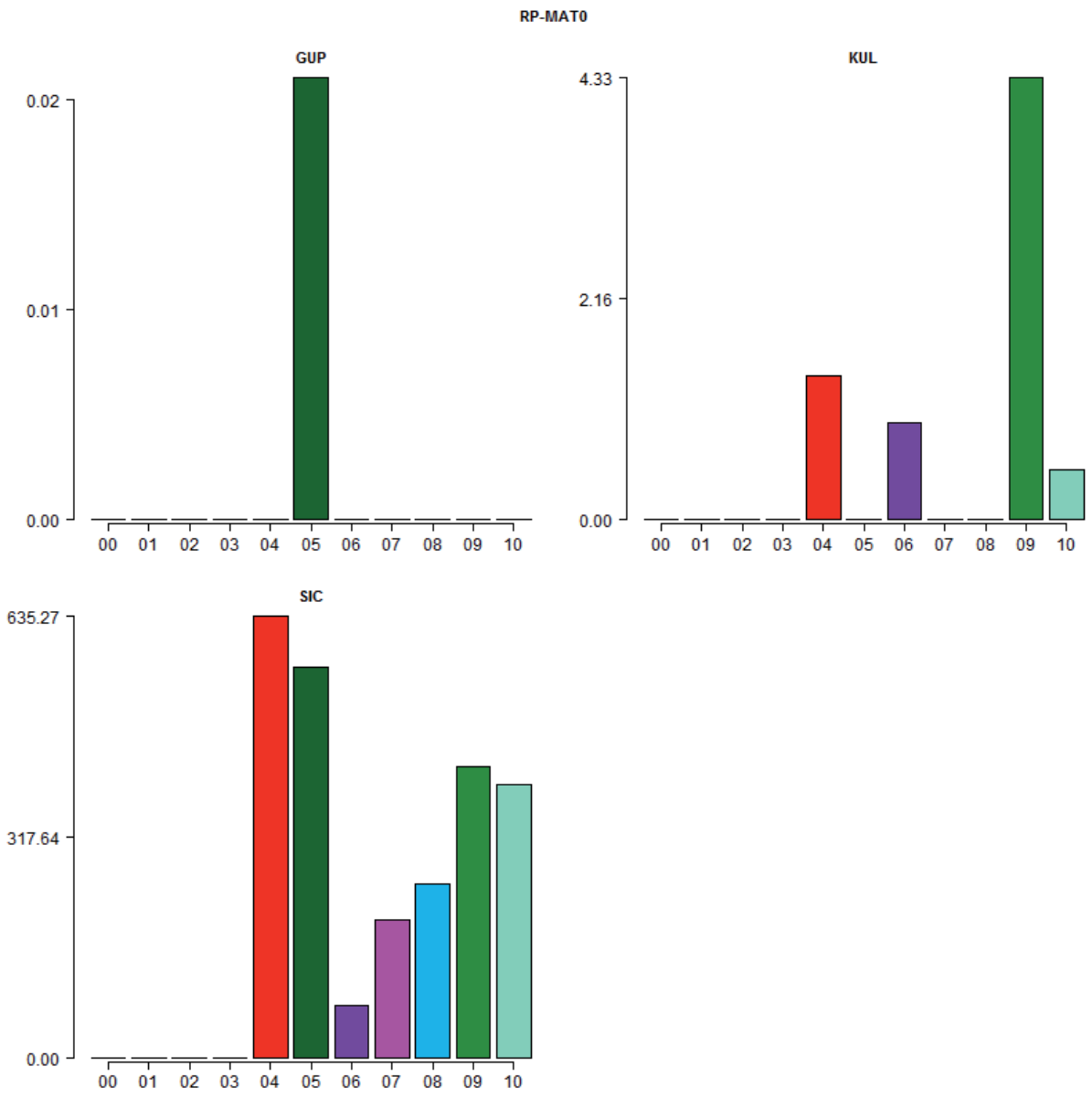

RP-STJEAN
SIC
444.70
222.35
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
STE
1.16
0.58
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
TIL
2.05
1.03
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
XIP
6.27
3.14
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

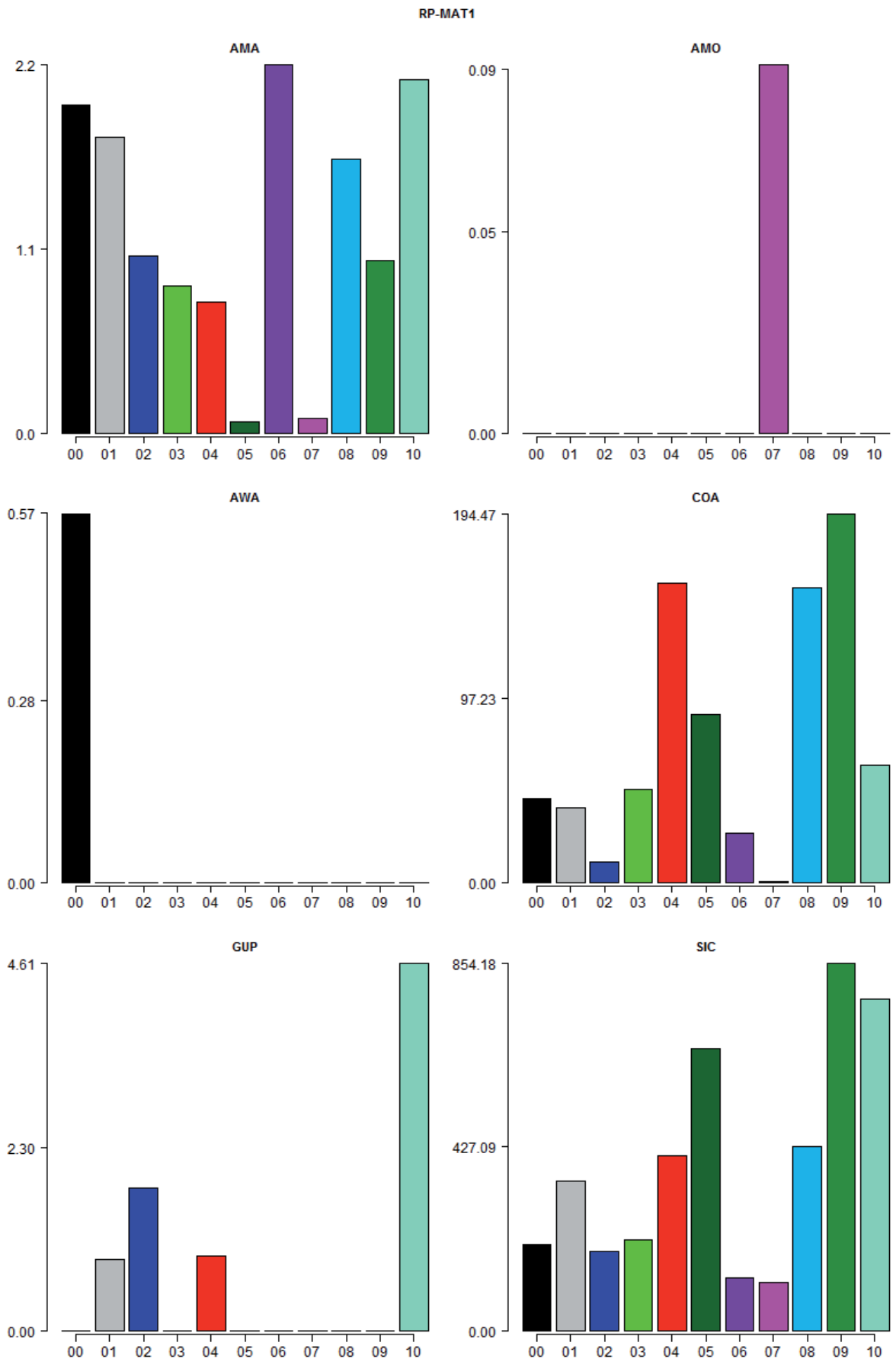

RP-STJEAN1
ABI
2.51
1.25
0.00
AGO
1.92
0.96
0.00
AMA
31.94
15.97
0.00
AMO
2.92
1.46
0.00
AWA
10.75
5.38
0.00
COA
20.4
10.2
0.0
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

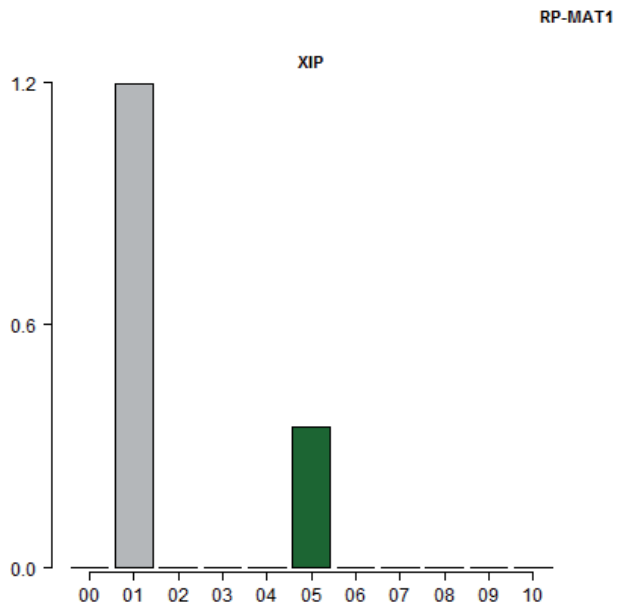

RP-STJEAN1
ELF
13.15
6.58
0.00
ELM
1.92
0.96
0.00
GUP
0.41
0.20
0.00
KUL
10.02
5.01
0.00
SIC
260.69
130.35
0.00
TIL
0.97
0.49
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

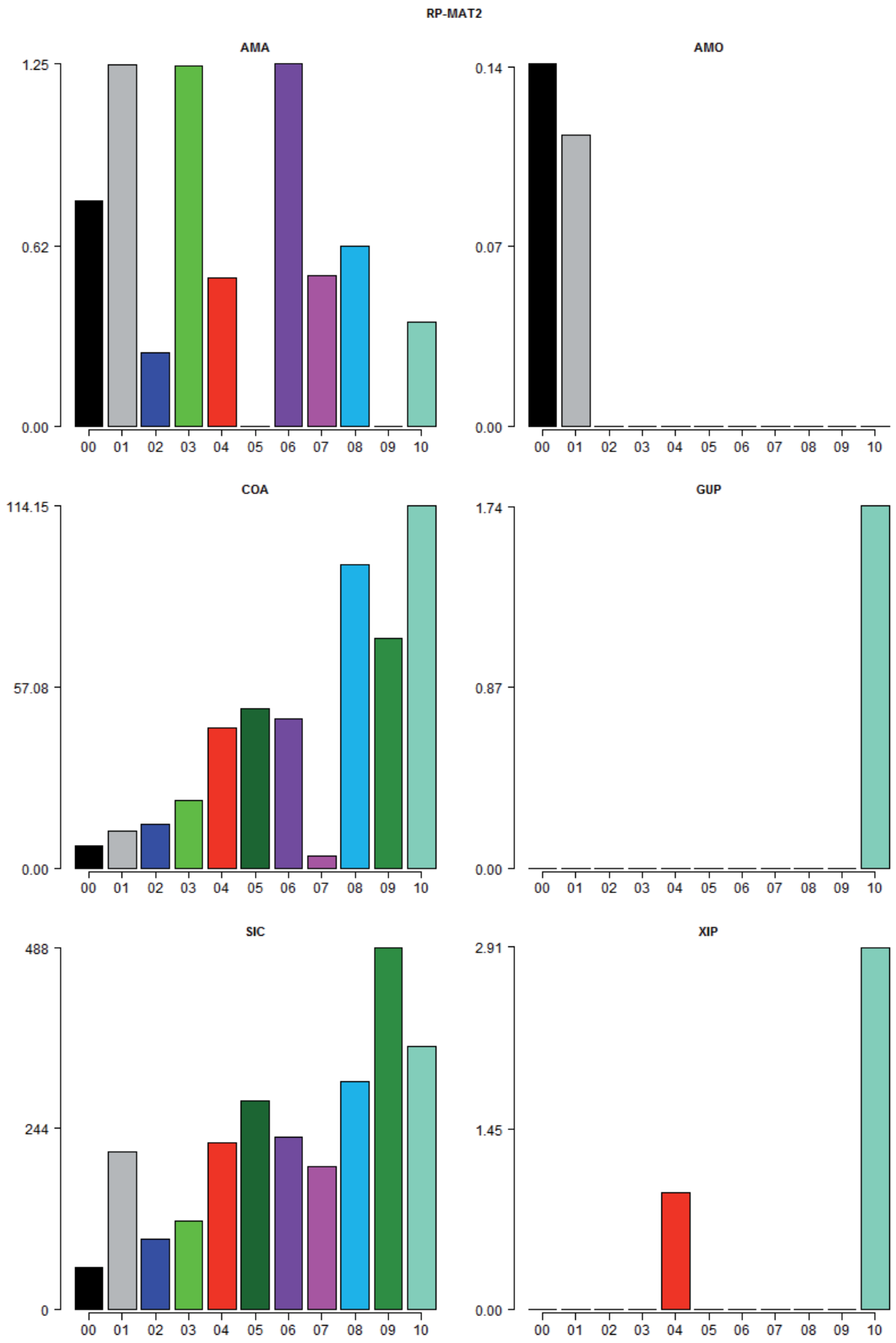

RP-STJEAN1
XIP
0.61
0.30
0.00
00
01
02
03
04
05
06
07
08
09
10

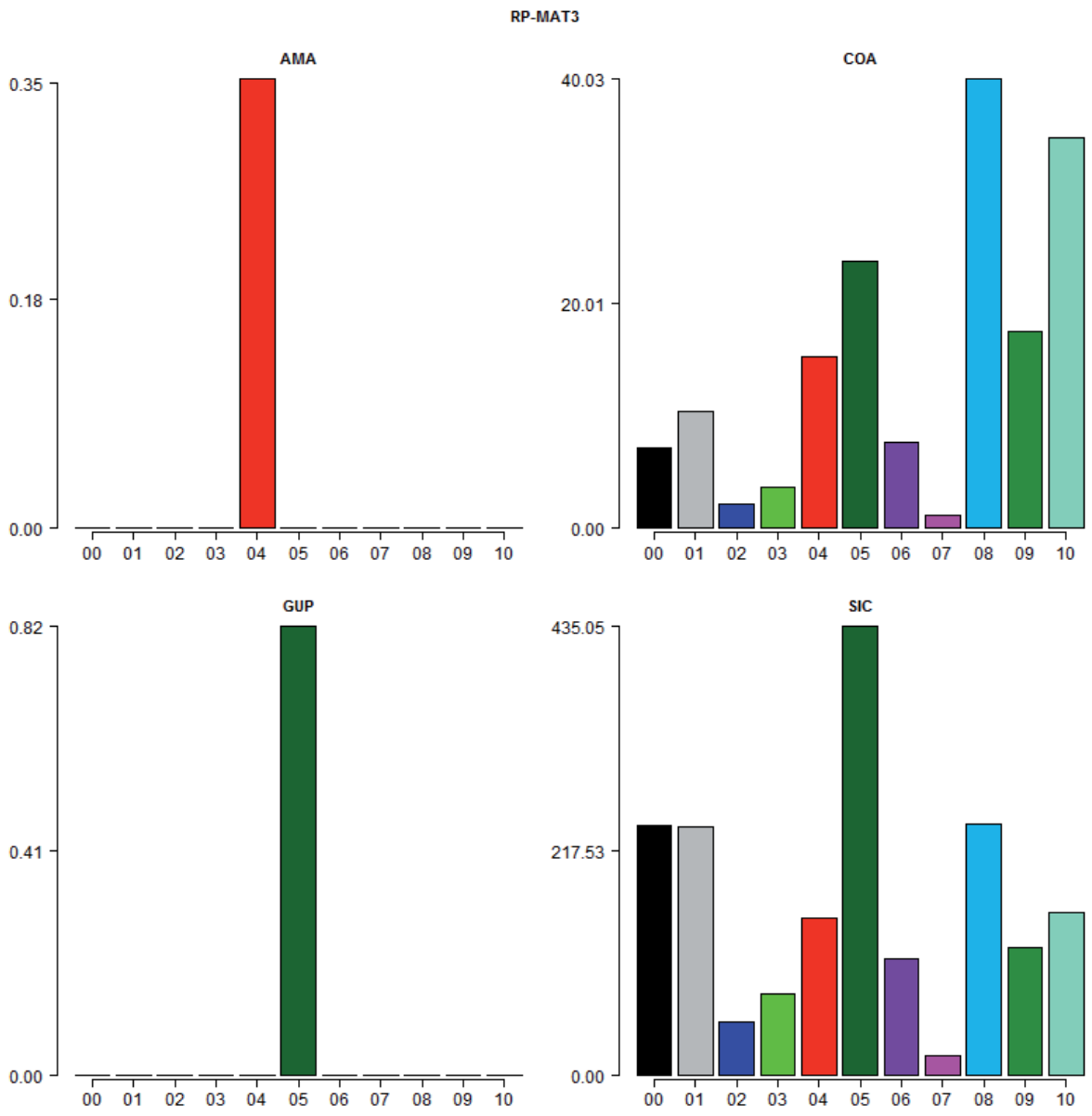

RP-MAT0
AGO
0.38
0.19
0.00
AMA
34.27
17.14
0.00
AWA
26.81
13.41
0.00
COA
49.41
24.70
0.00
ELF
4.30
2.15
0.00
ELM
1.30
0.65
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

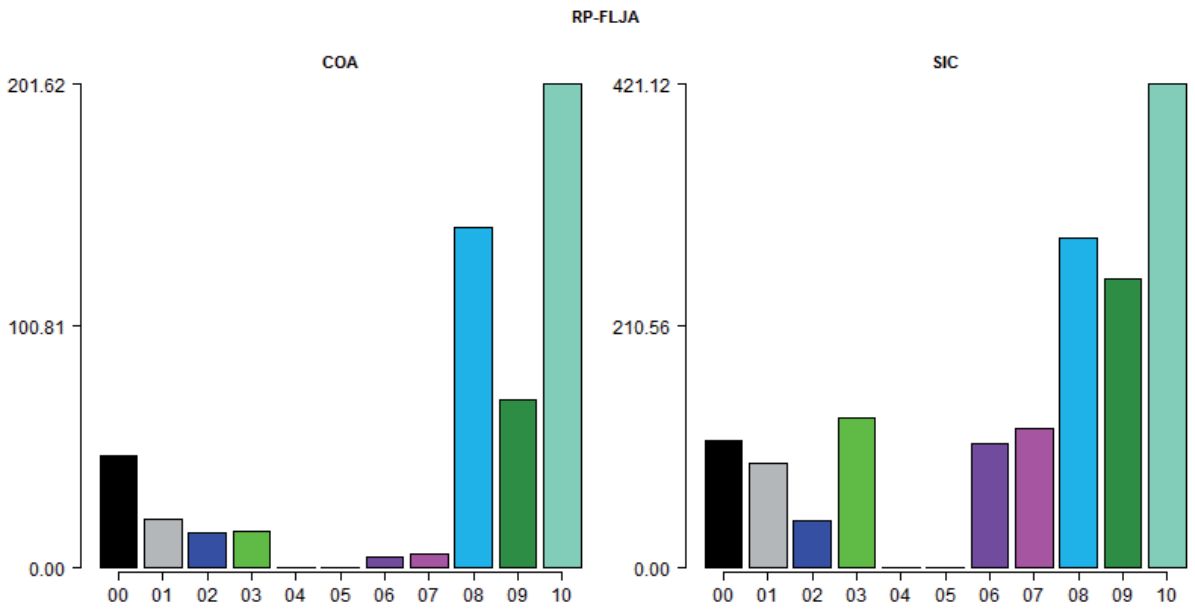

RP-MAT0
GUP
0.02
0.01
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
4.33
2.16
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
635.27
317.64
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

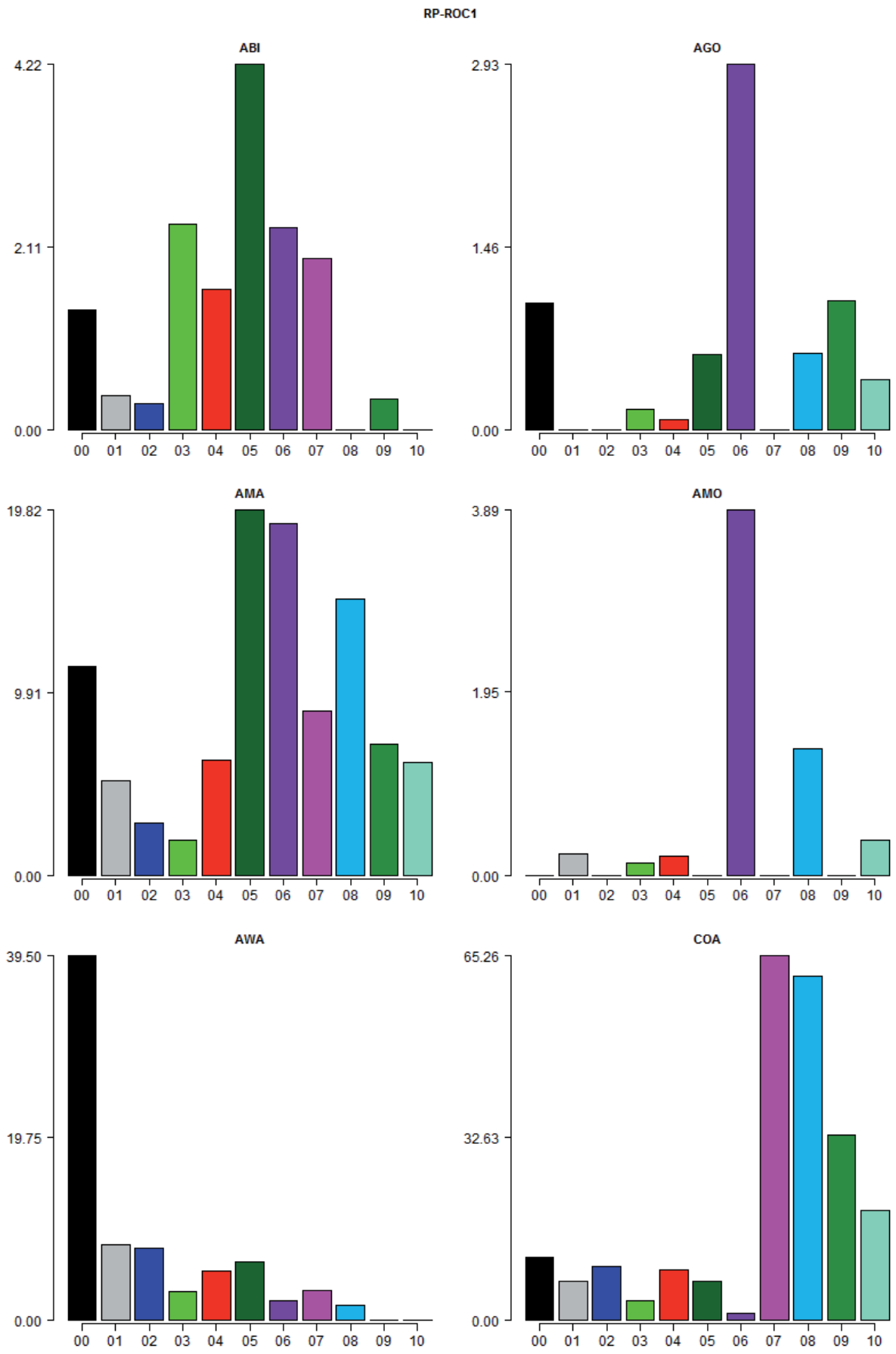

RP-MAT1
AMA
2.2
1.1
0.0
AMO
0.09
0.05
0.00
AWA
0.57
0.28
0.00
COA
194.47
97.23
0.00
GUP
4.61
2.30
0.00
SIC
854.18
427.09
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

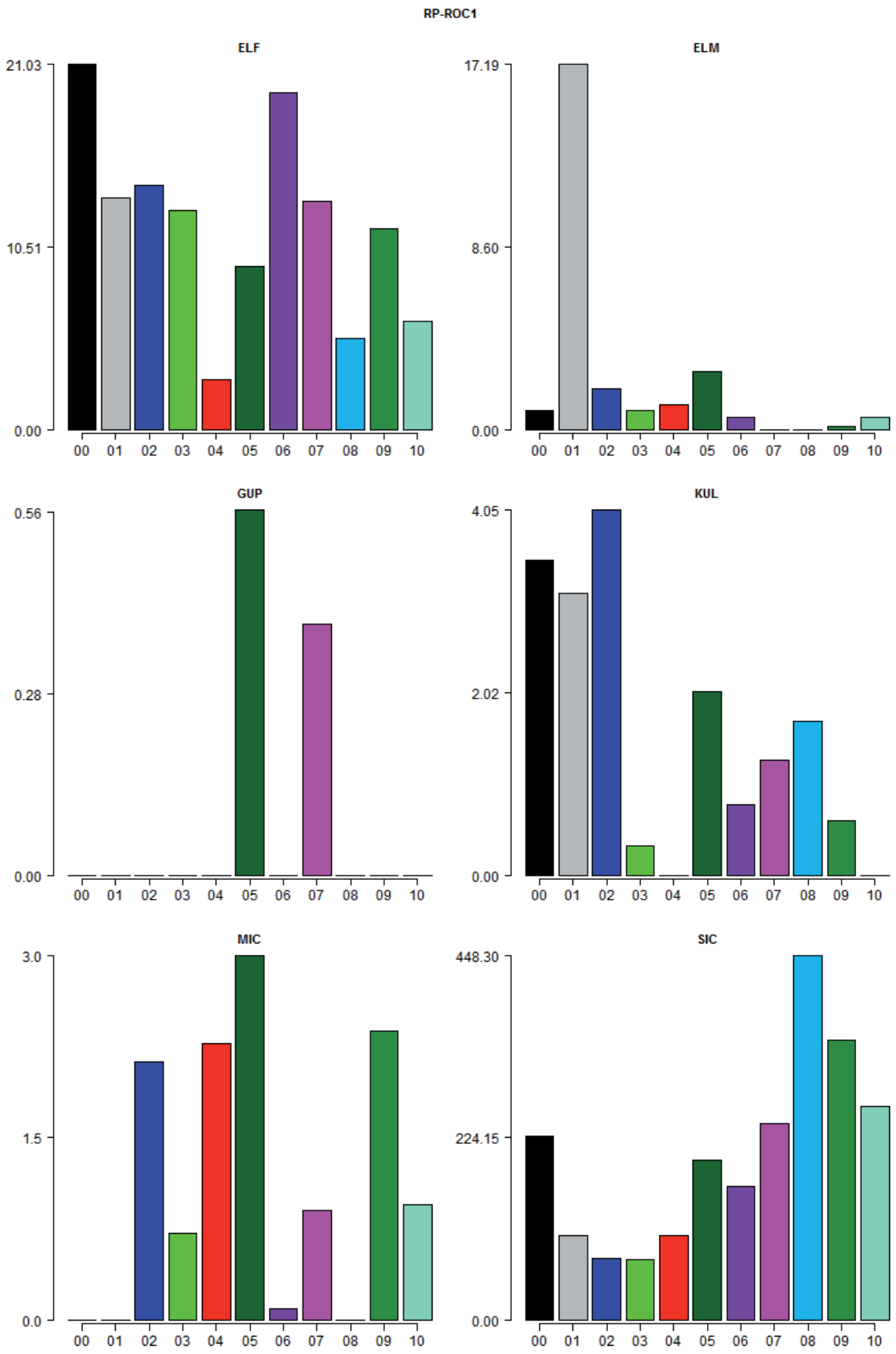

RP-MAT1
XIP
1.2
0.6
0.0
00
01
02
03
04
05
06
07
08
09
10

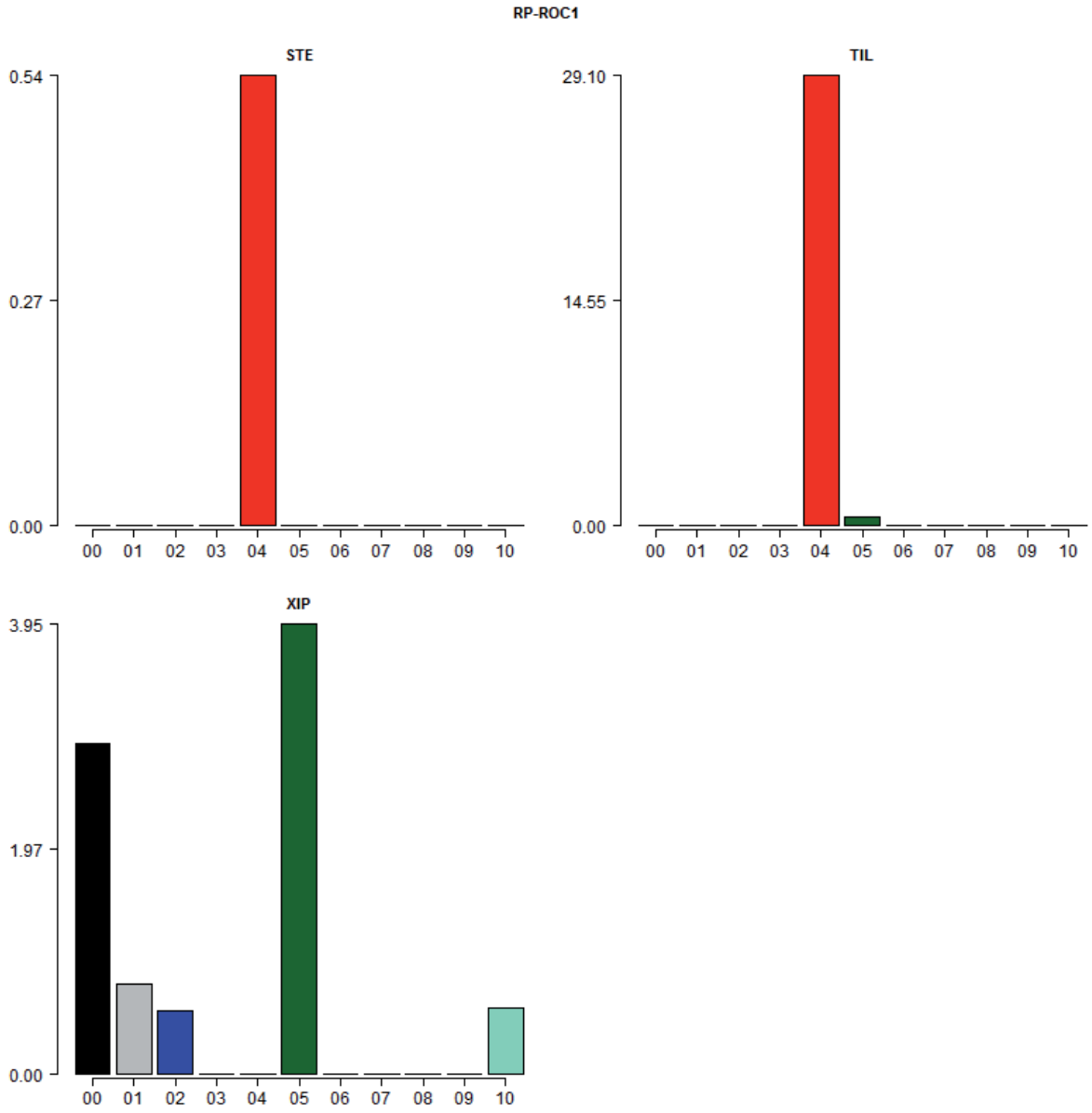

RP-MAT2
AMA
1.25
0.62
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMO
0.14
0.07
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
114.15
57.08
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
1.74
0.87
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
488
244
0
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
XIP
2.91
1.45
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

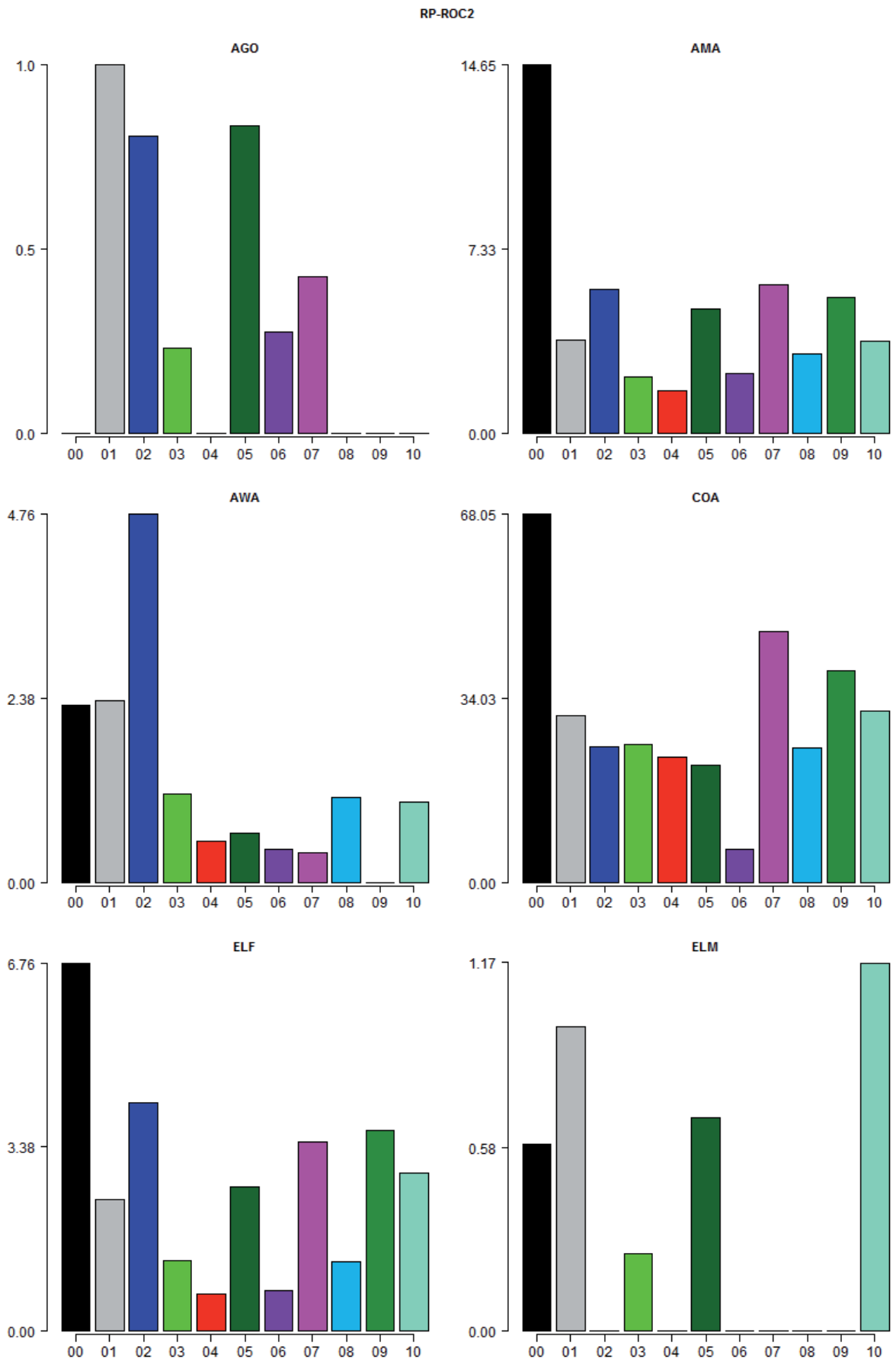

RP-MAT3
AMA
0.35
0.18
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
40.03
20.01
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
0.82
0.41
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
435.05
217.53
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

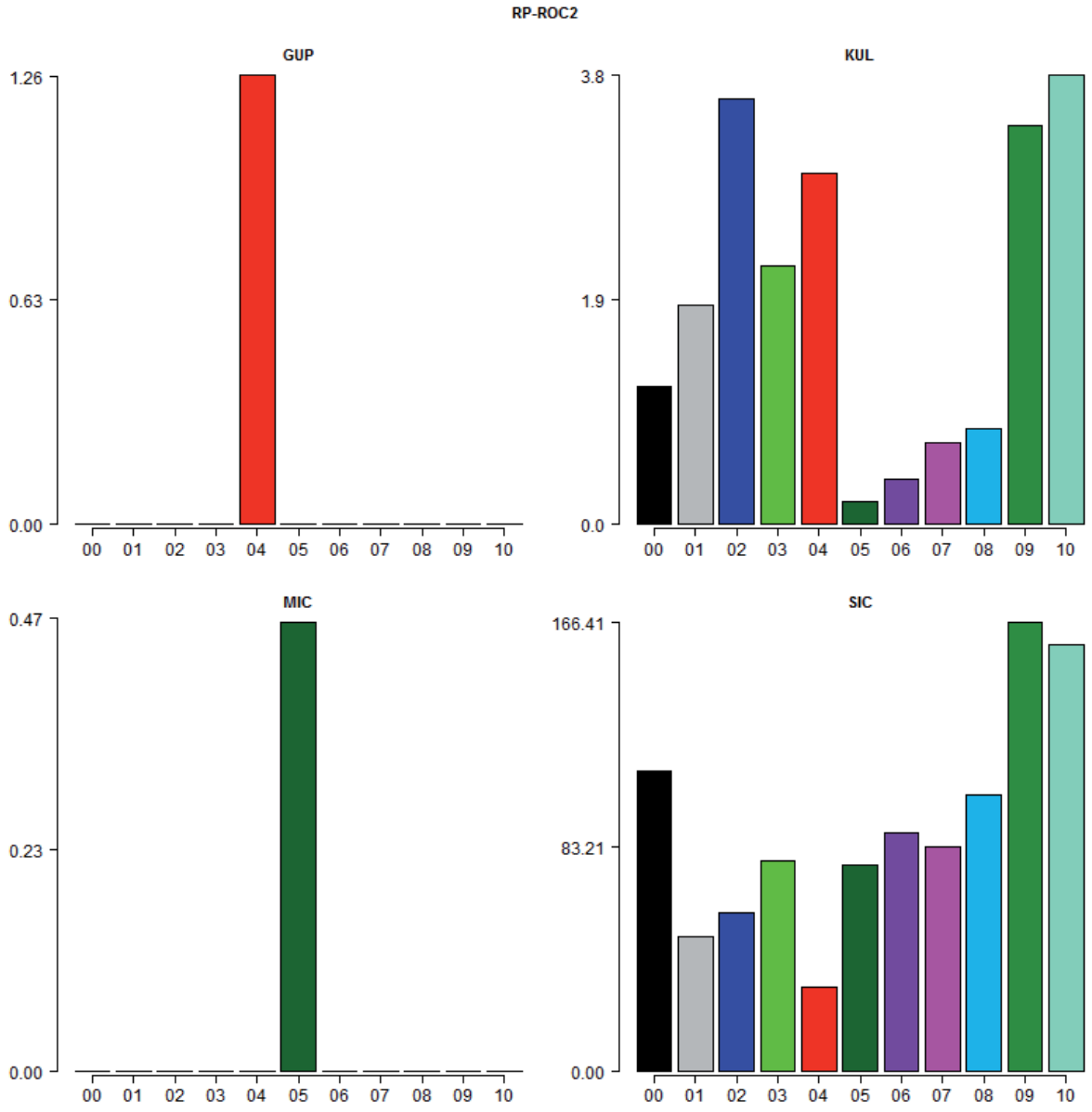

RP-FLJA
COA
201.62
100.81
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
421.12
210.56
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

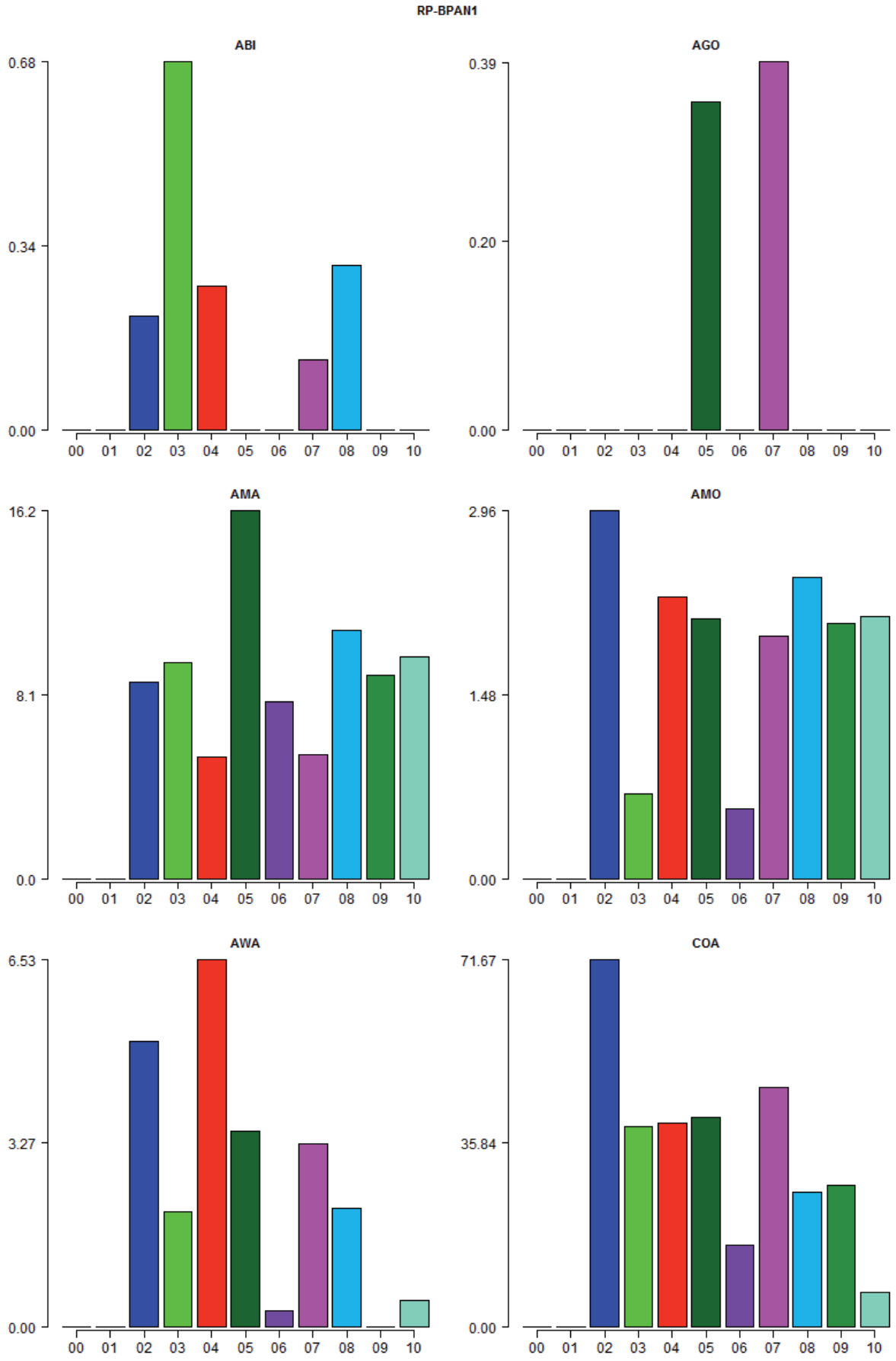

RP-ROC1
ABI
4.22
2.11
0.00
AGO
2.93
1.46
0.00
AMA
19.82
9.91
0.00
AMO
3.89
1.95
0.00
AWA
39.50
19.75
0.00
COA
65.26
32.63
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

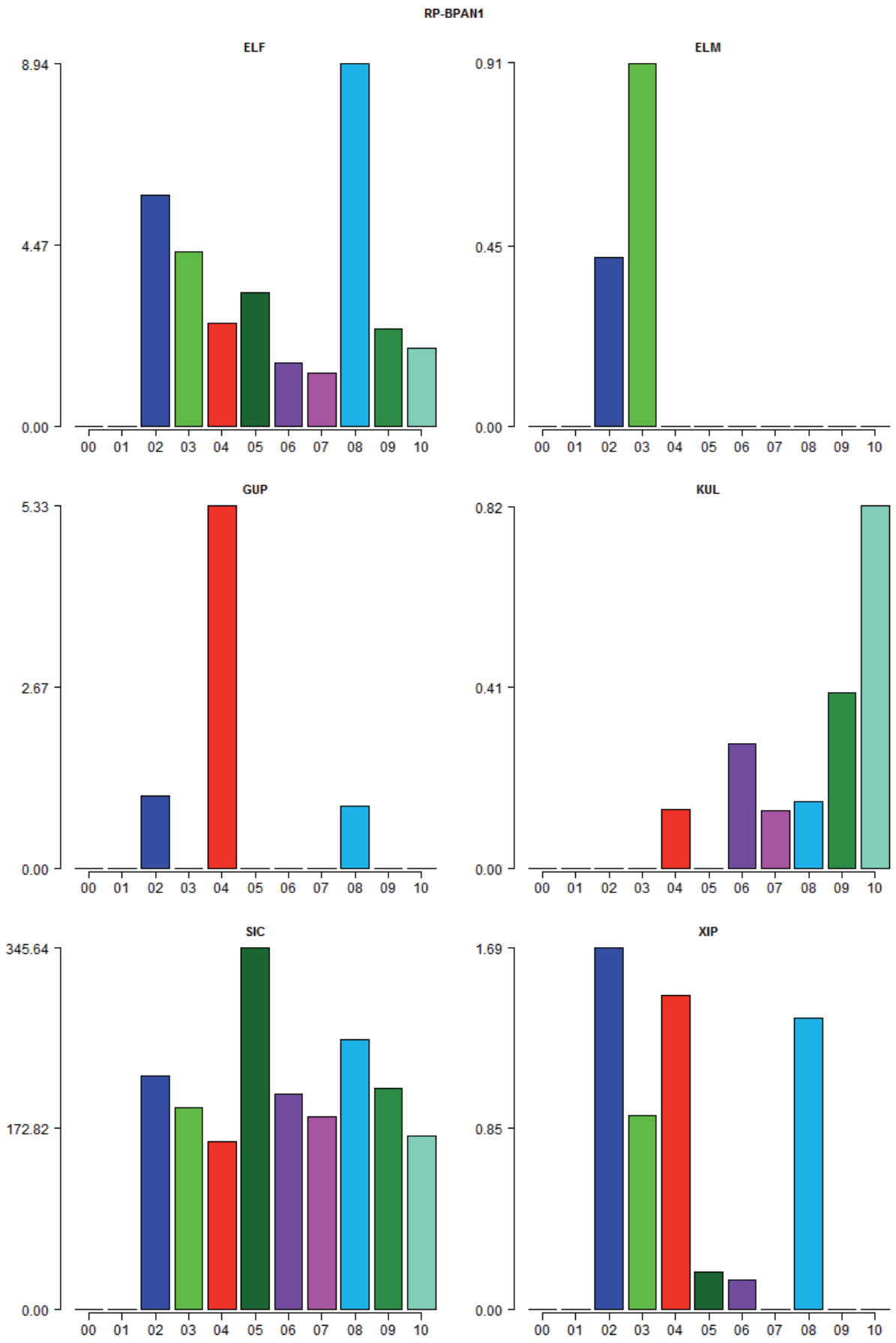

RP-ROC1
ELF
21.03
10.51
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELM
17.19
8.60
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
0.56
0.28
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
4.05
2.02
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
MIC
3.0
1.5
0.0
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
448.30
224.15
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

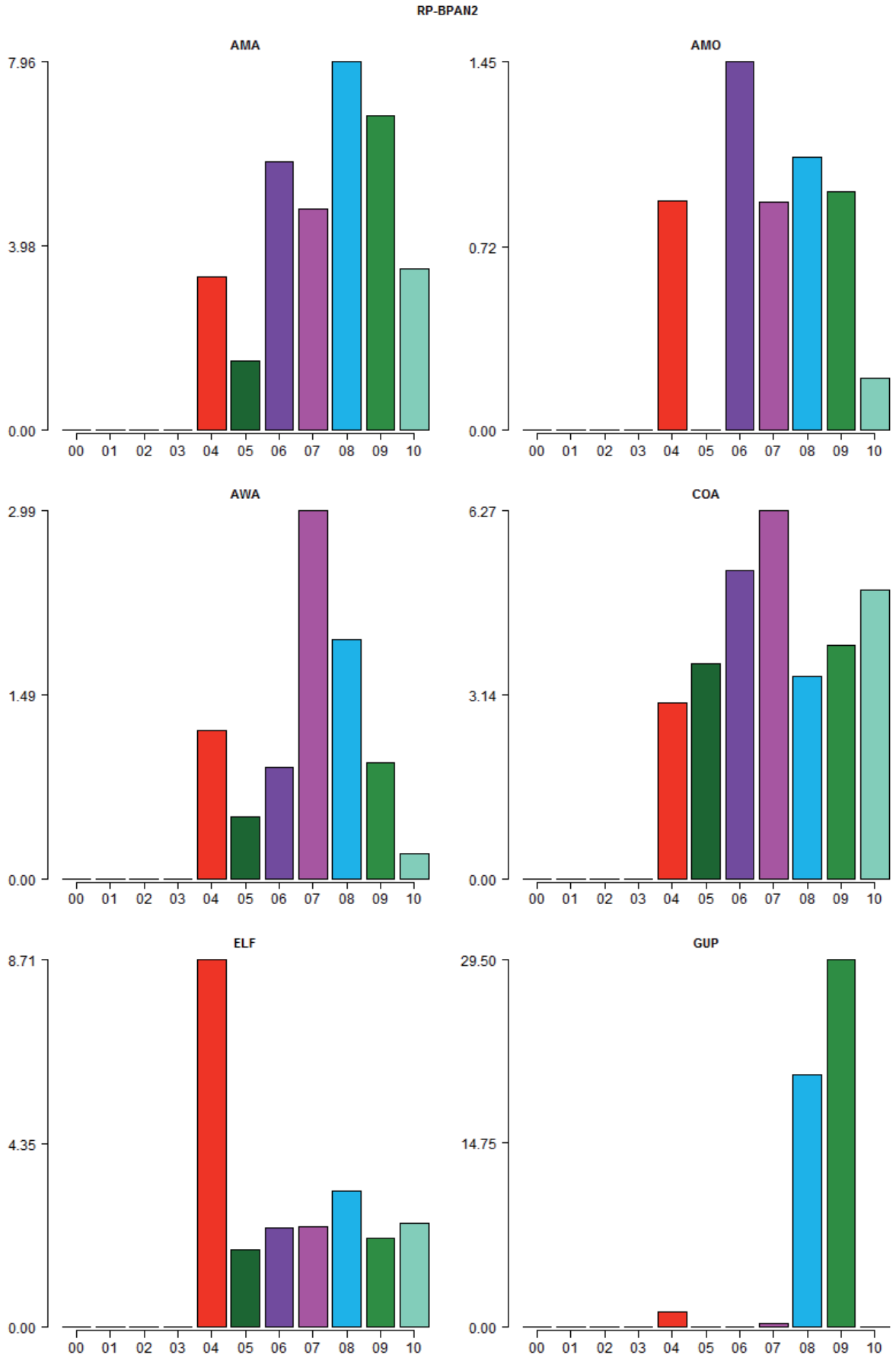

RP-ROC1
STE
0.54
0.27
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
TIL
29.10
14.55
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
XIP
3.95
1.97
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

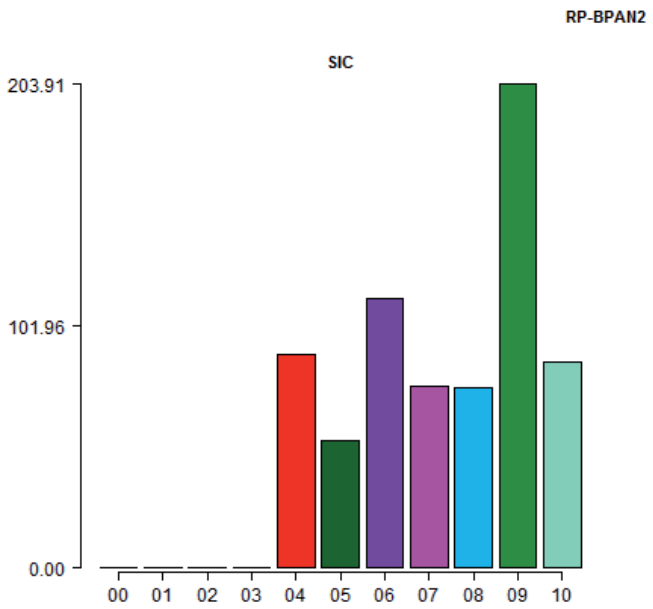

RP-ROC2
AGO
1.0
0.5
0.0
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMA
14.65
7.33
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AWA
4.76
2.38
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
68.05
34.03
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELF
6.76
3.38
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELM
1.17
0.58
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

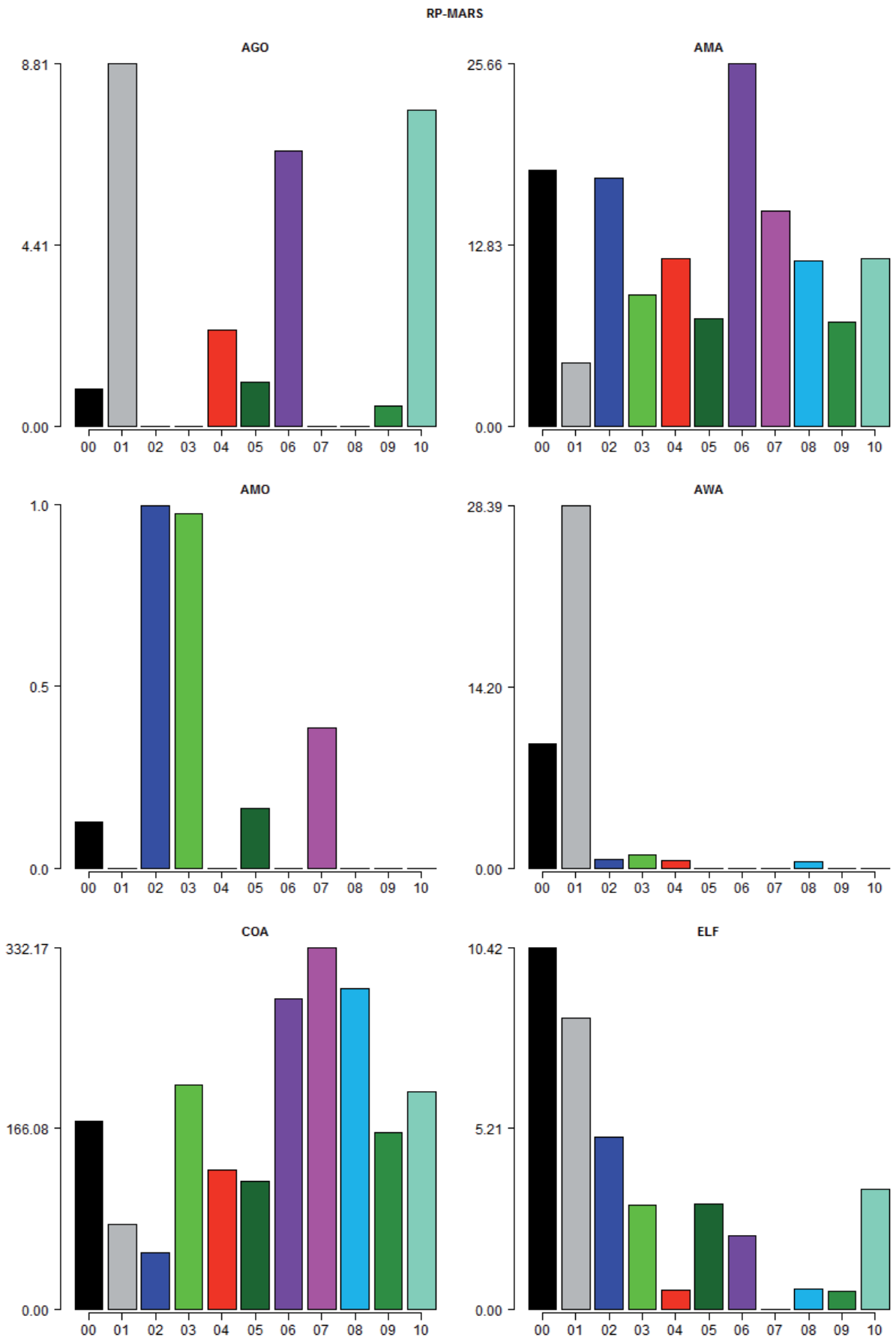

RP-ROC2
GUP
1.26
0.63
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
3.8
1.9
0.0
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
MIC
0.47
0.23
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
166.41
83.21
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

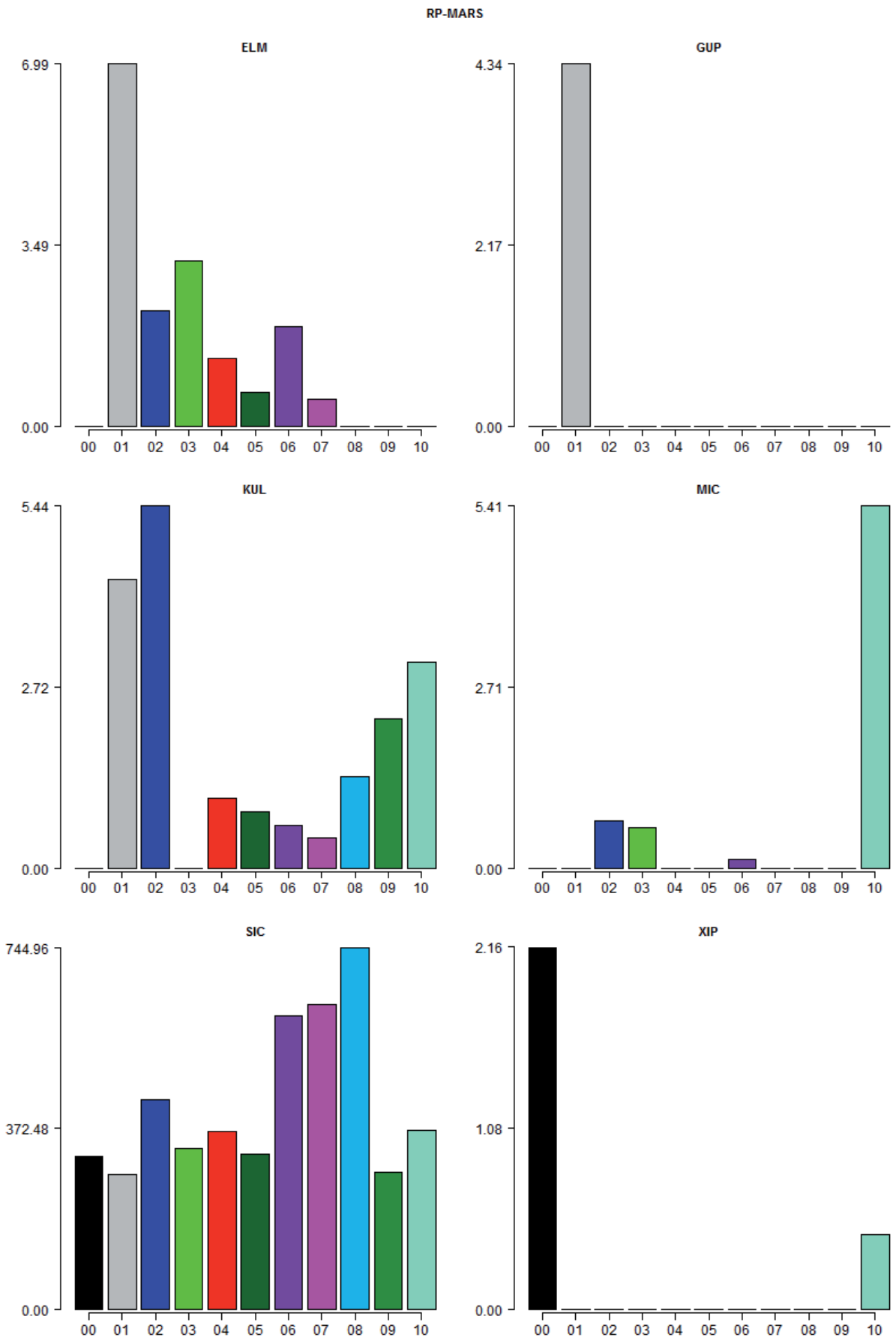

RP-BPAN1
ABI
0.68
0.34
0.00
AGO
0.39
0.20
0.00
AMA
16.2
8.1
0.0
AMO
2.96
1.48
0.00
AWA
6.53
3.27
0.00
COA
71.67
35.84
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

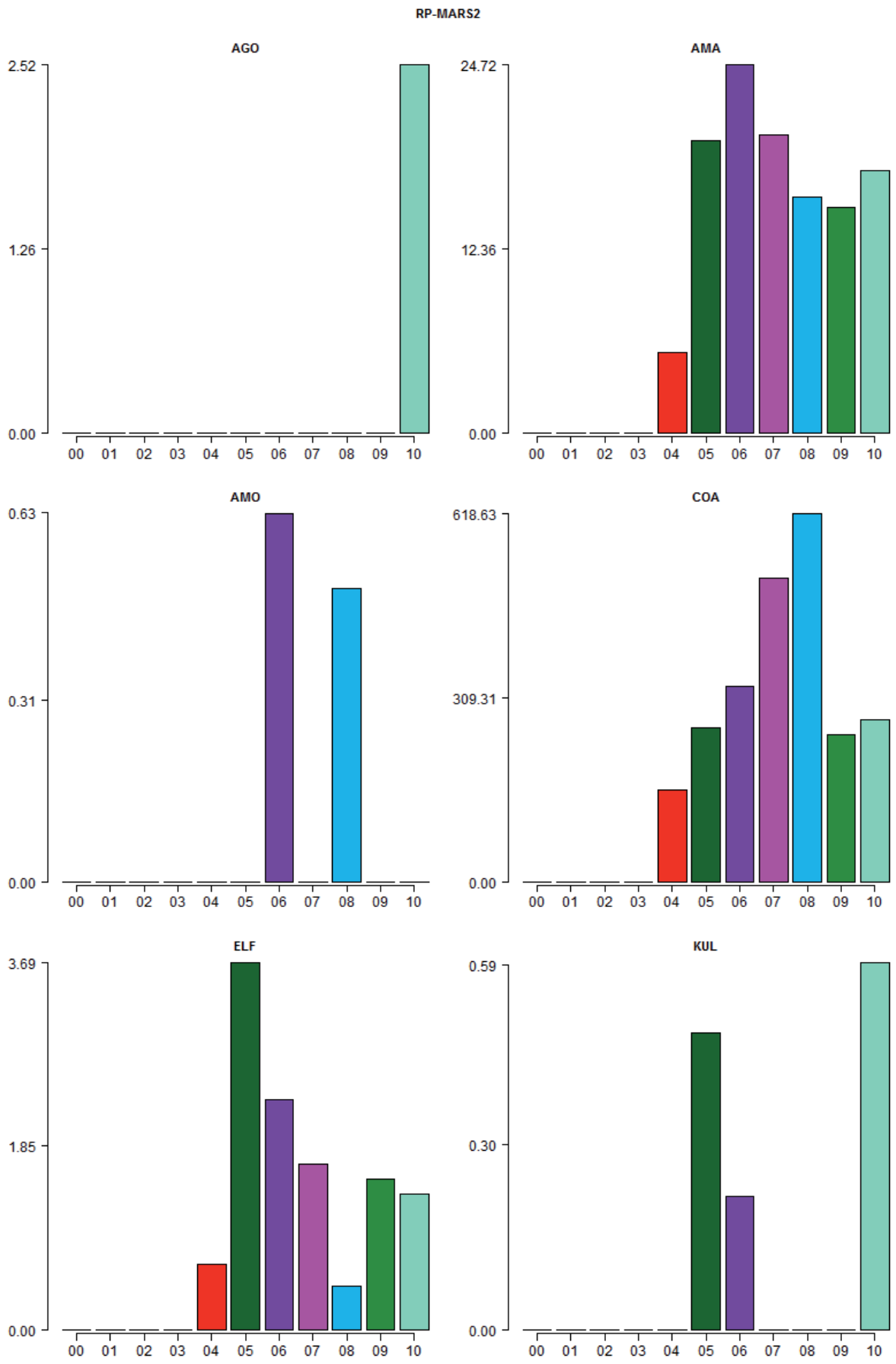

RP-BPAN1
ELF
8.94
4.47
0.00
ELM
0.91
0.45
0.00
GUP
5.33
2.67
0.00
KUL
0.82
0.41
0.00
SIC
345.64
172.82
0.00
XIP
1.69
0.85
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

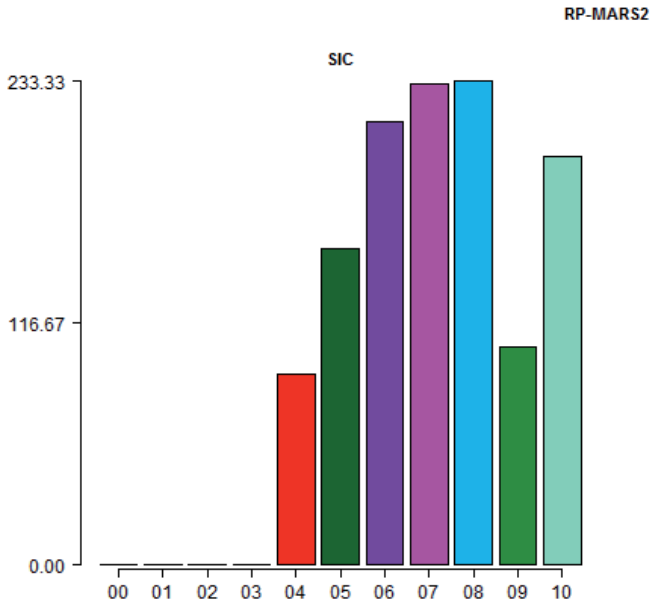

RP-BPAN2
AMA
7.96
3.98
0.00
AMO
1.45
0.72
0.00
AWA
2.99
1.49
0.00
COA
6.27
3.14
0.00
ELF
8.71
4.35
0.00
GUP
29.50
14.75
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

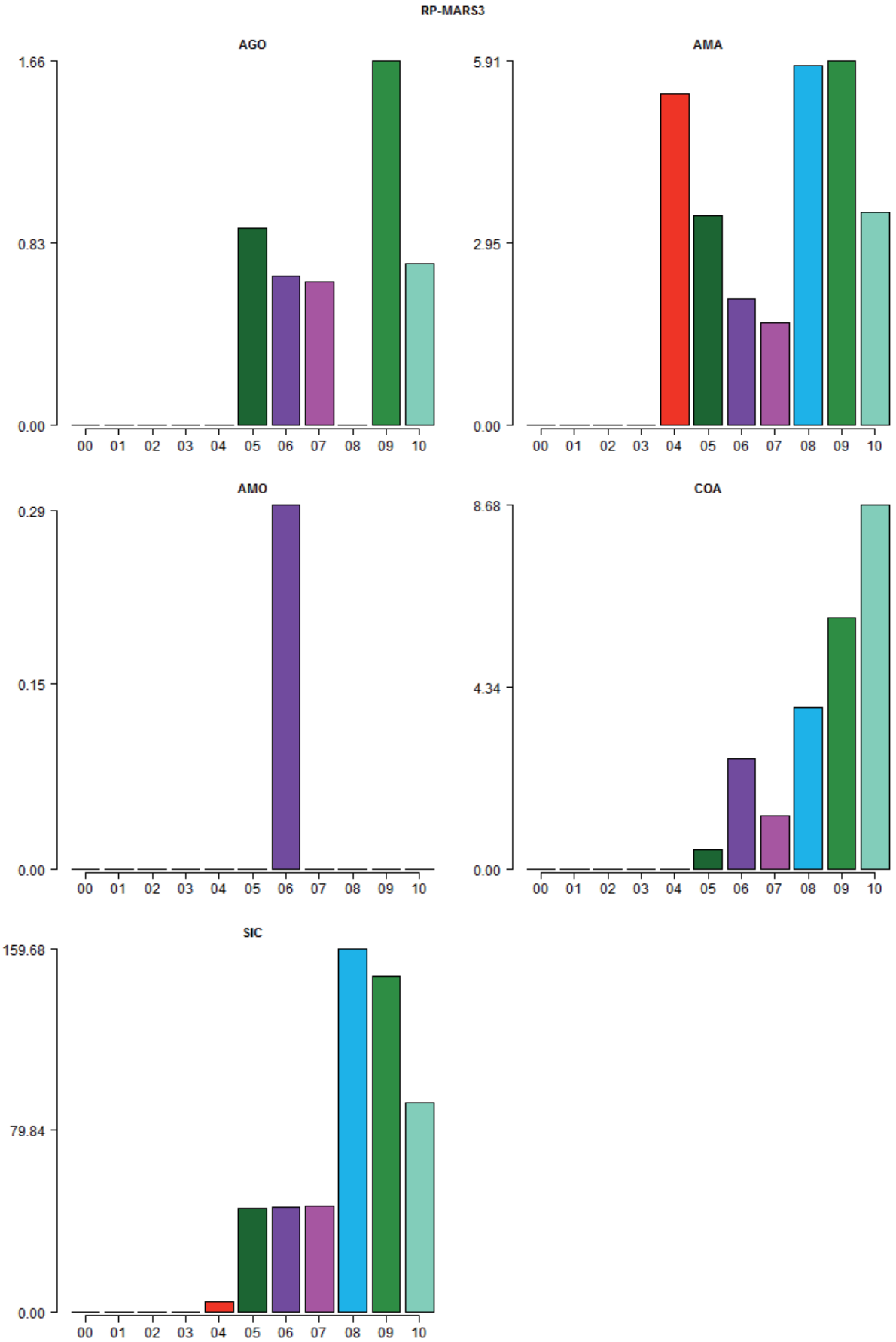

RP-BPAN2
SIC
203.91
101.96
0.00
00
01
02
03
04
05
06
07
08
09
10

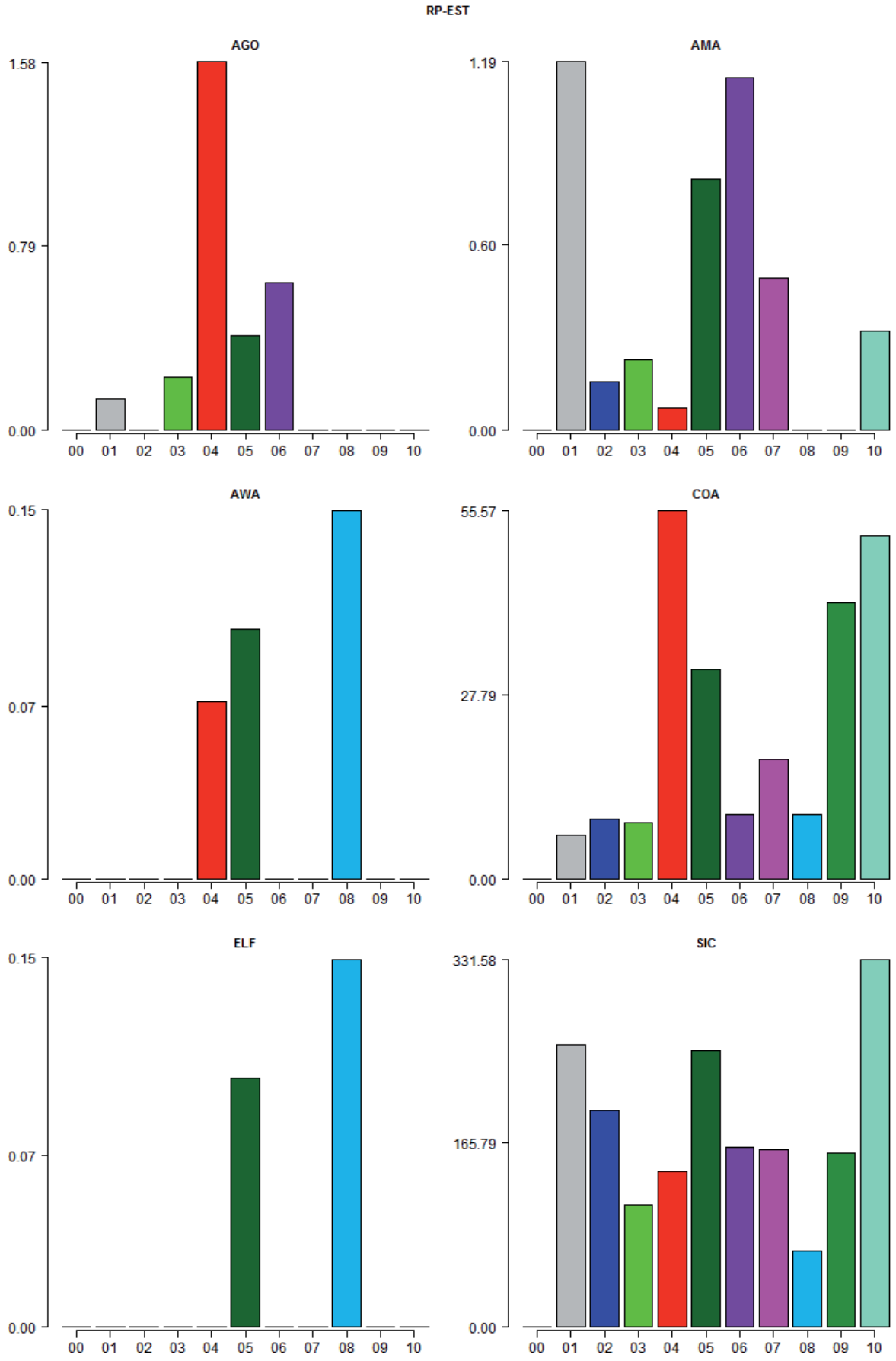

RP-MARS
AGO
8.81
4.41
0.00
AMA
25.66
12.83
0.00
AMO
1.0
0.5
0.0
AWA
28.39
14.20
0.00
COA
332.17
166.08
0.00
ELF
10.42
5.21
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

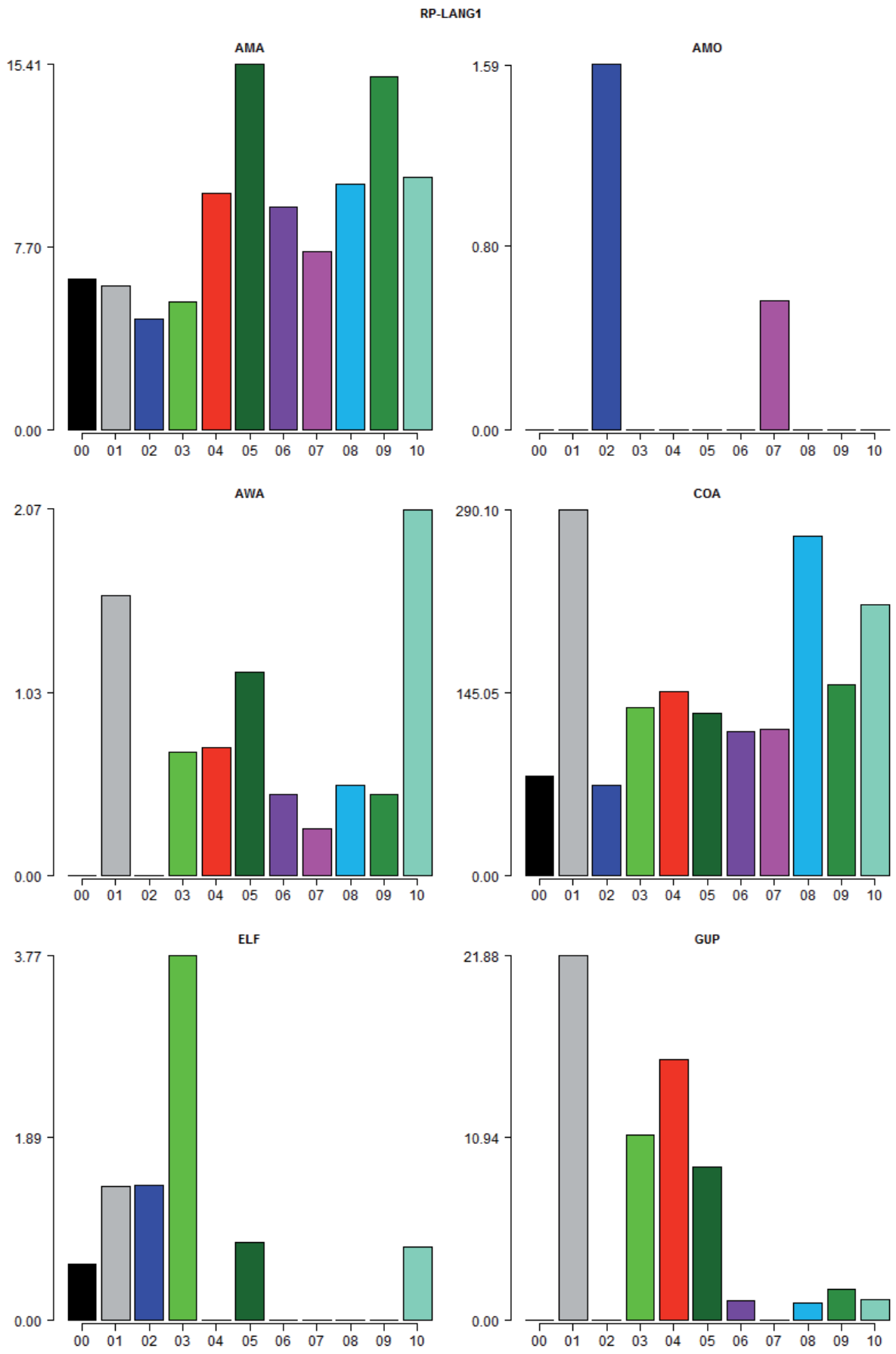

RP-MARS
ELM
6.99
3.49
0.00
GUP
4.34
2.17
0.00
KUL
5.44
2.72
0.00
MIC
5.41
2.71
0.00
SIC
744.96
372.48
0.00
XIP
2.16
1.08
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

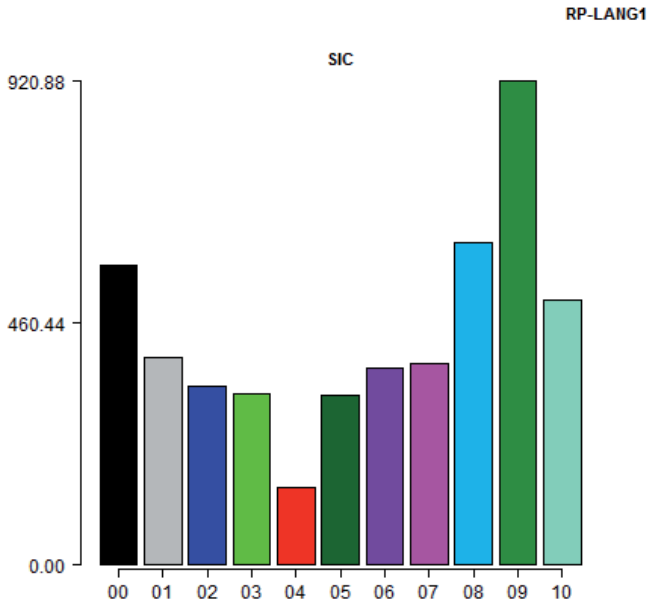

RP-MARS2
AGO
2.52
1.26
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMA
24.72
12.36
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMO
0.63
0.31
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
618.63
309.31
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELF
3.69
1.85
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
0.59
0.30
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

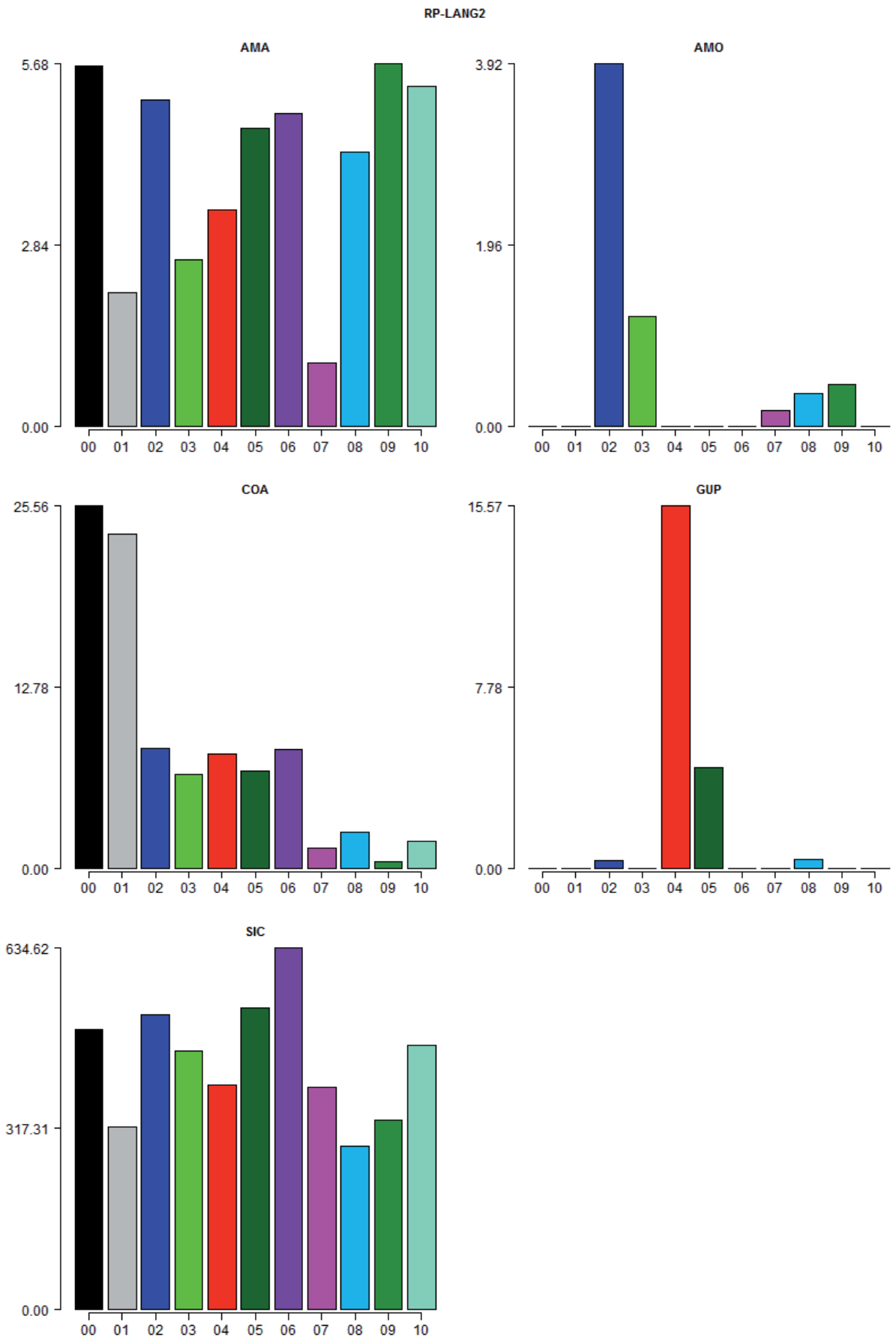

RP-MARS2
SIC
233.33
116.67
0.00
00
01
02
03
04
05
06
07
08
09
10

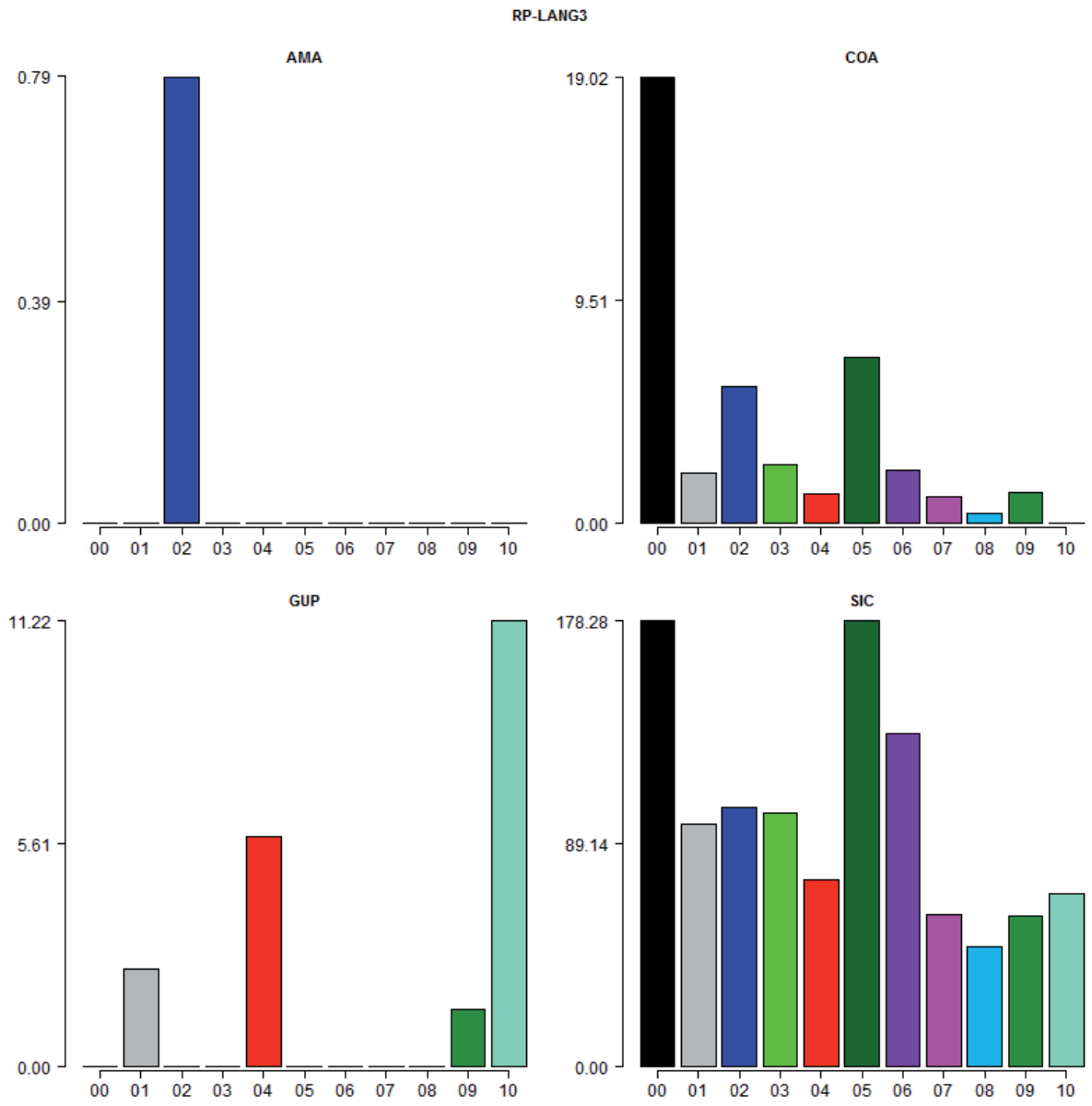

RP-MARS3
AGO
1.66
0.83
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMA
5.91
2.95
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMO
0.29
0.15
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
8.68
4.34
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
159.68
79.84
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

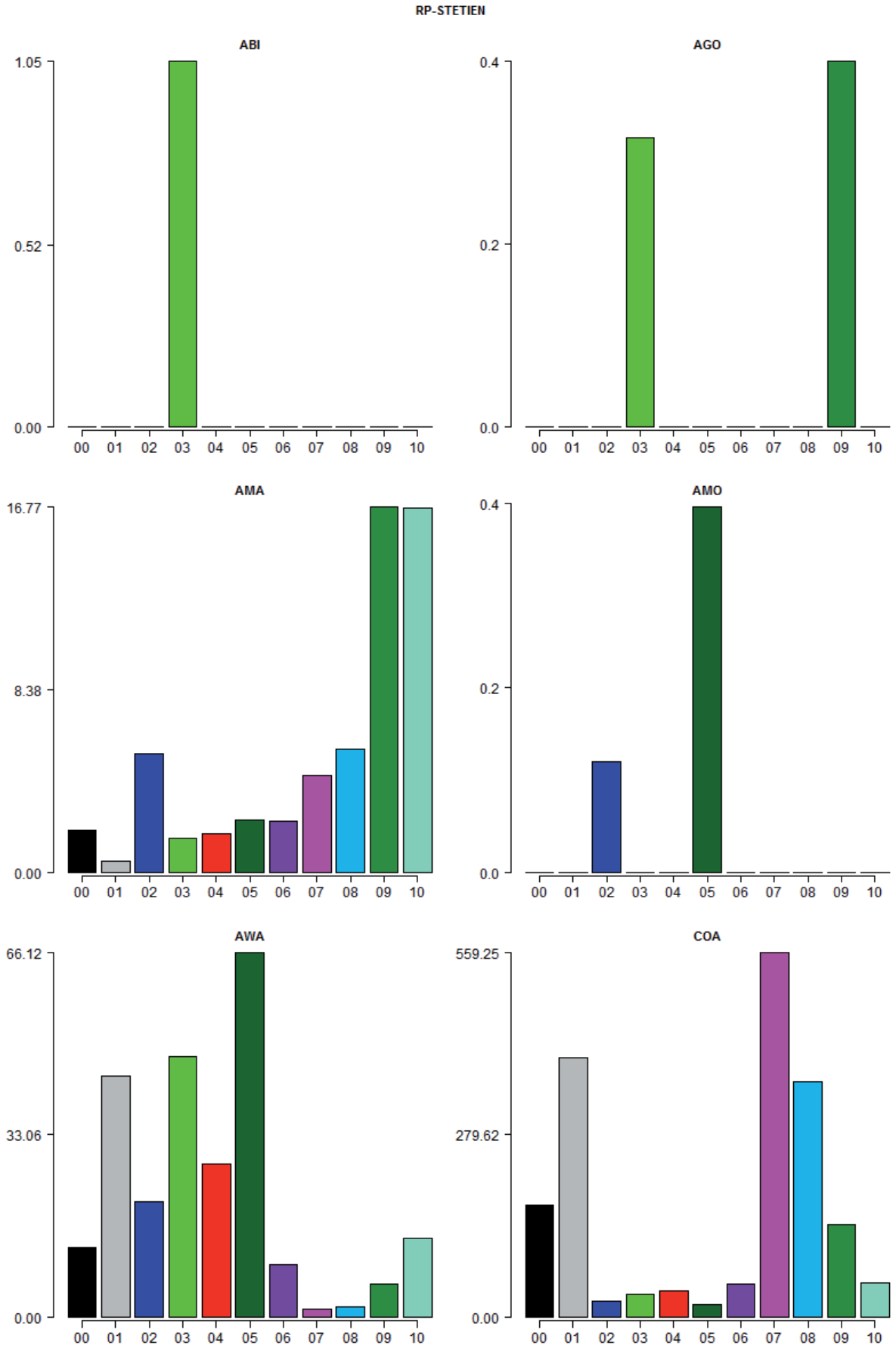

RP-EST
AGO
1.58
0.79
0.00
AMA
1.19
0.60
0.00
AWA
0.15
0.07
0.00
COA
55.57
27.79
0.00
ELF
0.15
0.07
0.00
SIC
331.58
165.79
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

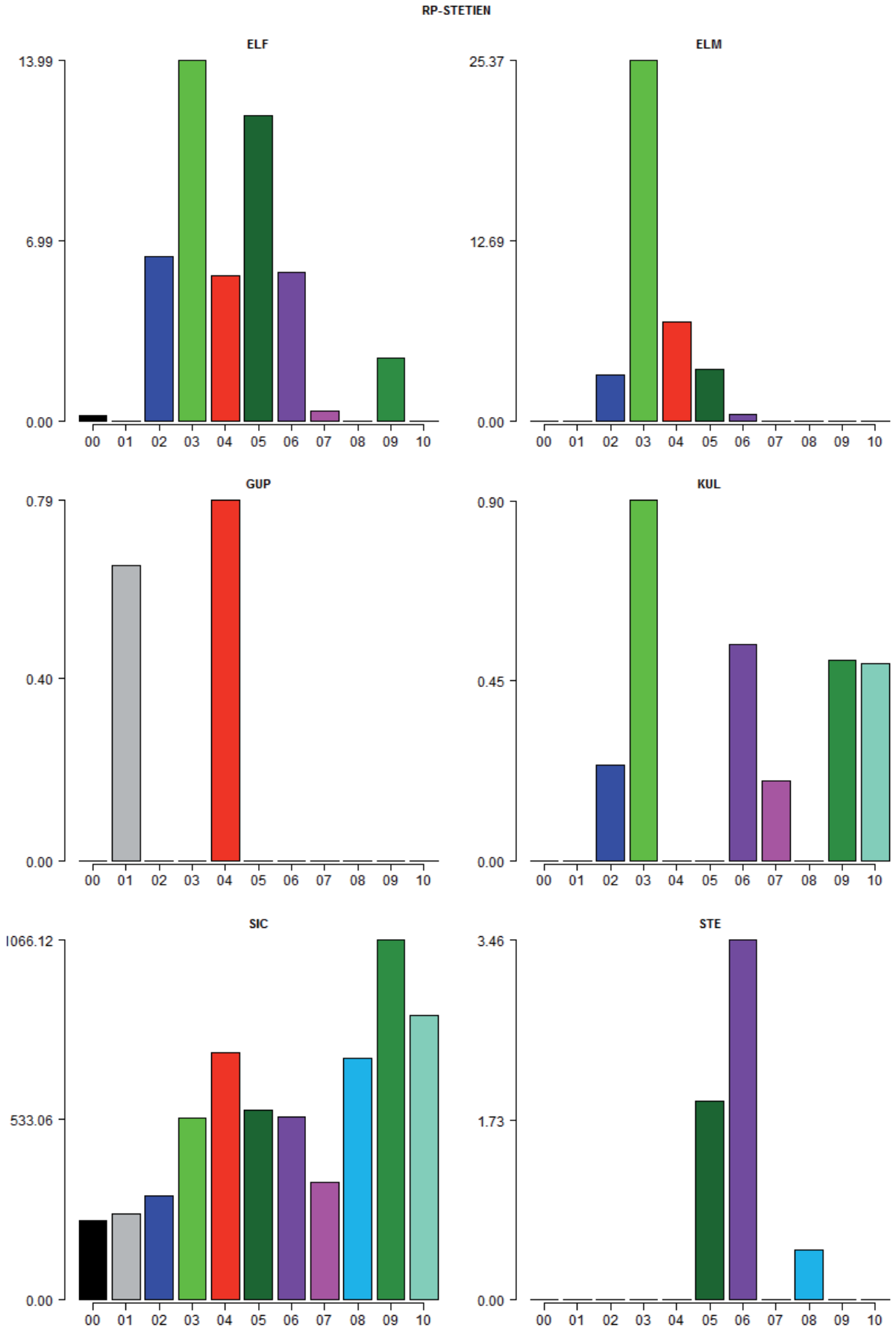

RP-LANG1
AMA
15.41
7.70
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMO
1.59
0.80
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AWA
2.07
1.03
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
290.10
145.05
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELF
3.77
1.89
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
21.88
10.94
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

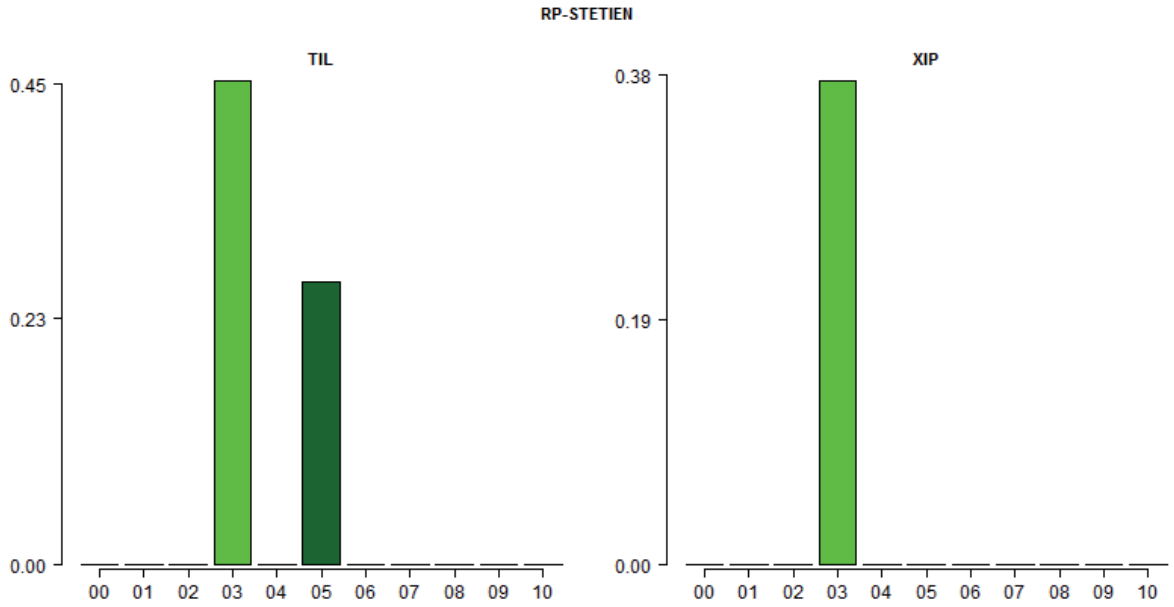

RP-LANG1
SIC
920.88
460.44
0.00
00
01
02
03
04
05
06
07
08
09
10

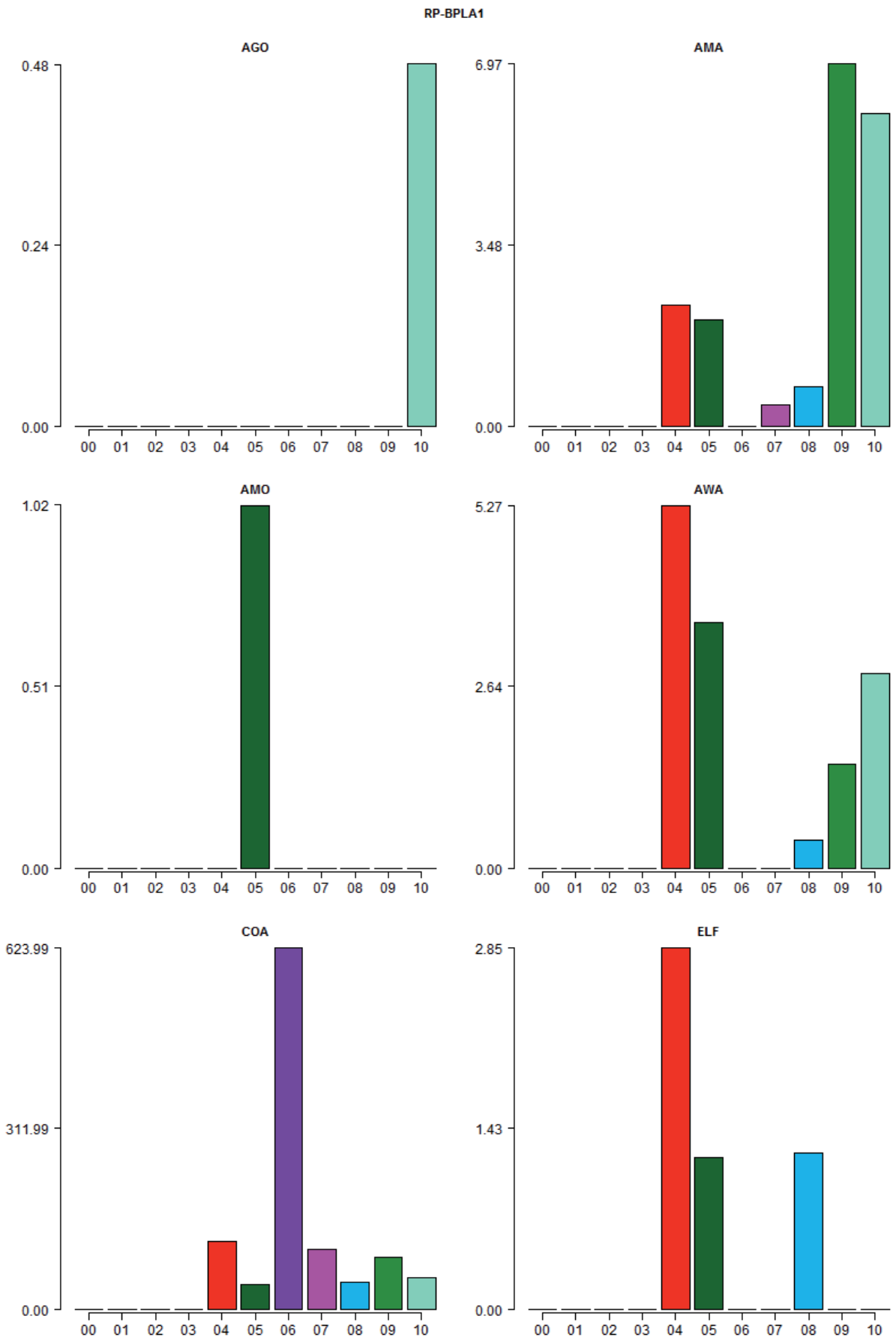

RP-LANG2
AMA
5.68
2.84
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMO
3.92
1.96
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
25.56
12.78
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
15.57
7.78
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
634.62
317.31
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

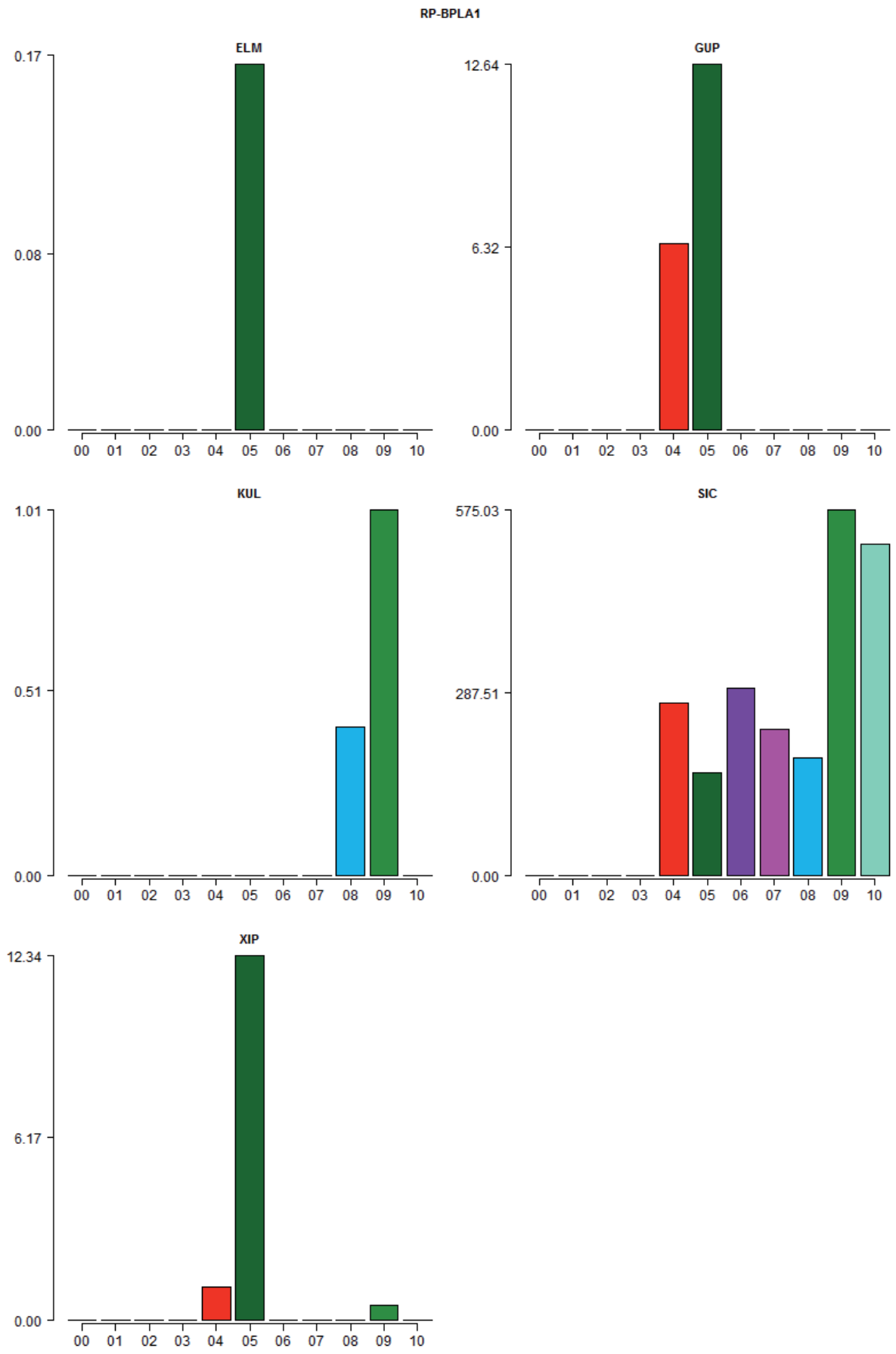

RP-LANG3
AMA
0.79
0.39
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
19.02
9.51
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
11.22
5.61
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
178.28
89.14
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

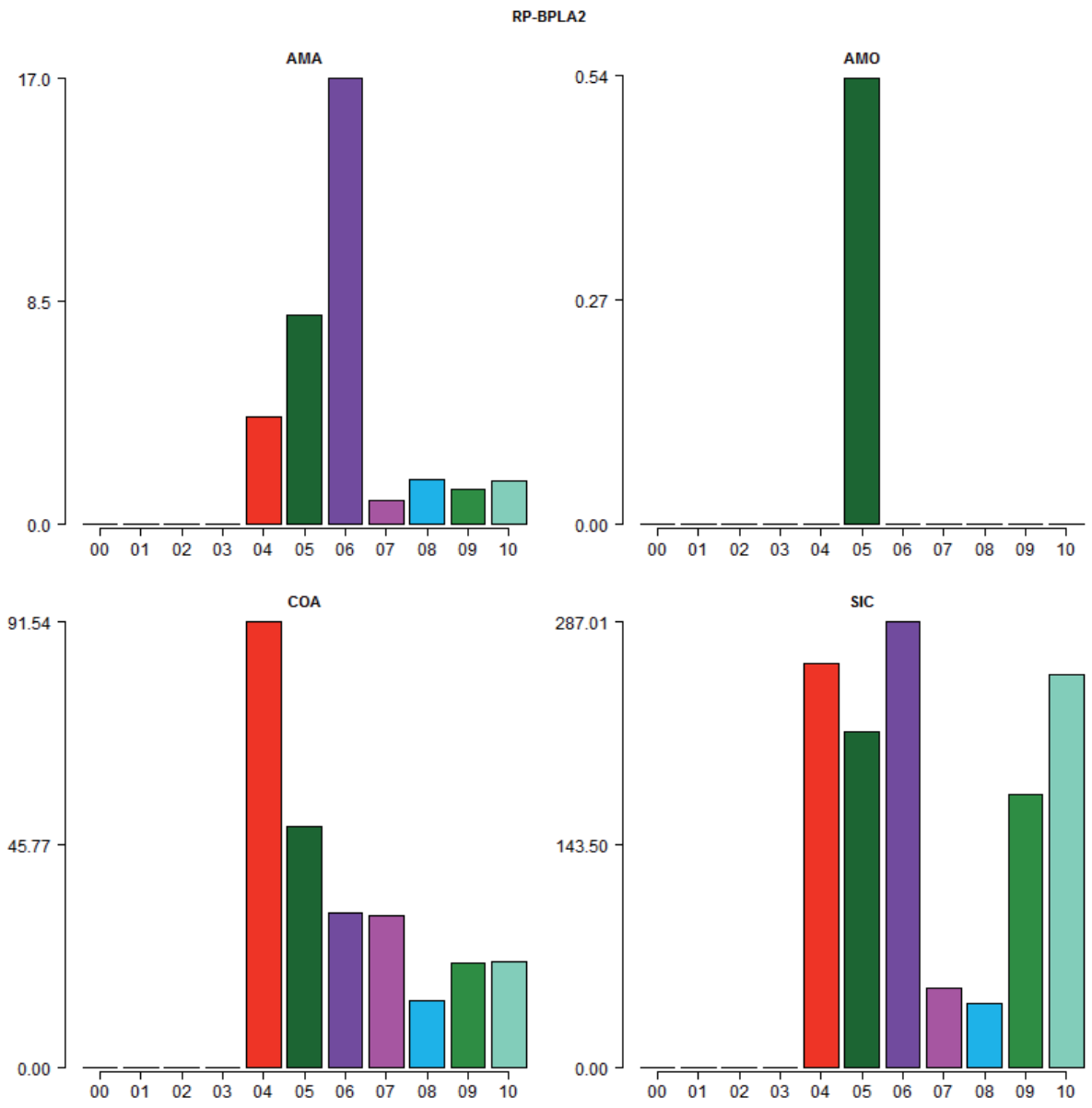

RP-STETIEN
ABI
1.05
0.52
0.00
AGO
0.4
0.2
0.0
AMA
16.77
8.38
0.00
AMO
0.4
0.2
0.0
AWA
66.12
33.06
0.00
COA
559.25
279.62
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

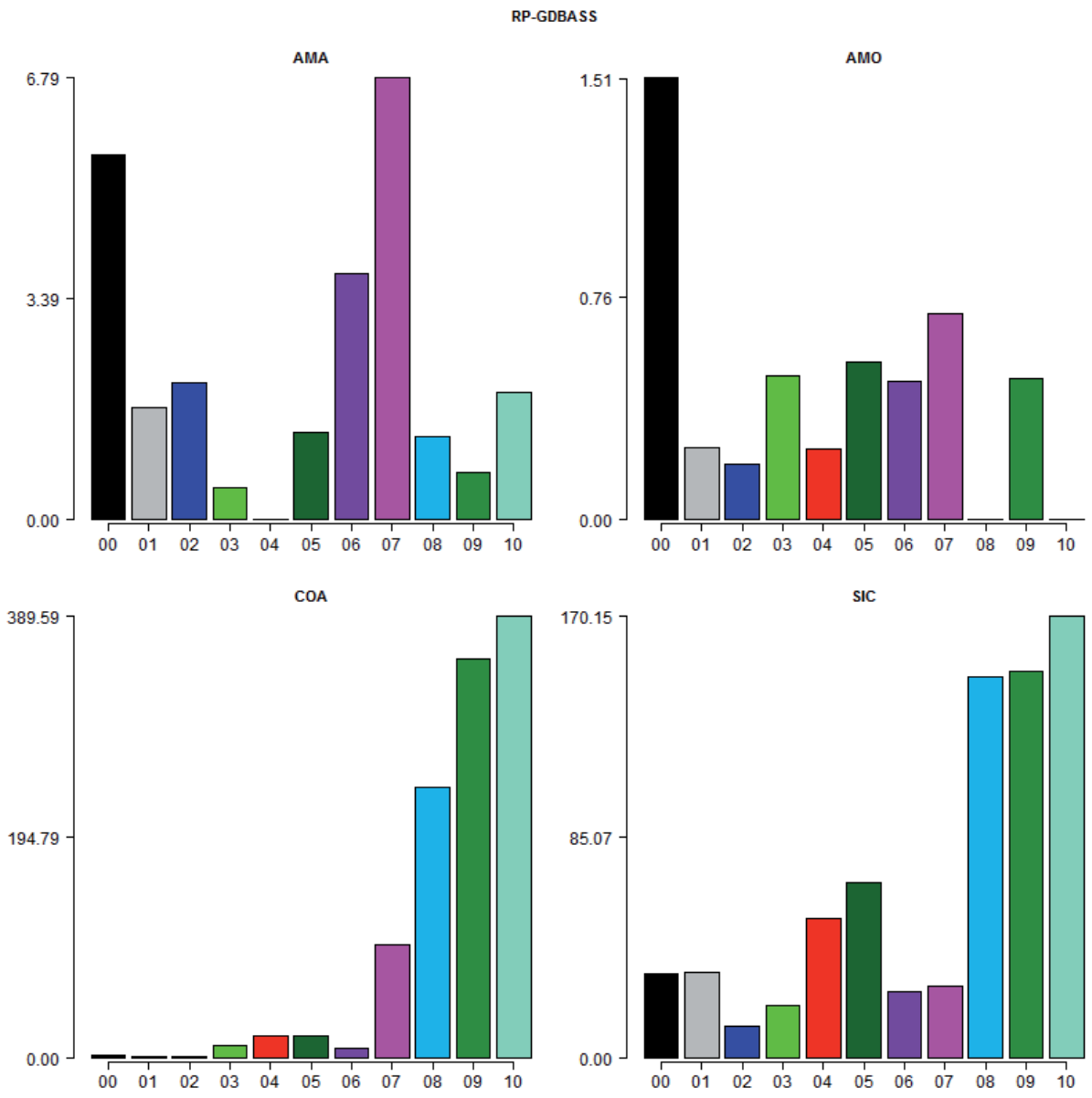

RP-STETIEN
ELF
13.99
6.99
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELM
25.37
12.69
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
0.79
0.40
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
0.90
0.45
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
1066.12
533.06
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
STE
3.46
1.73
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

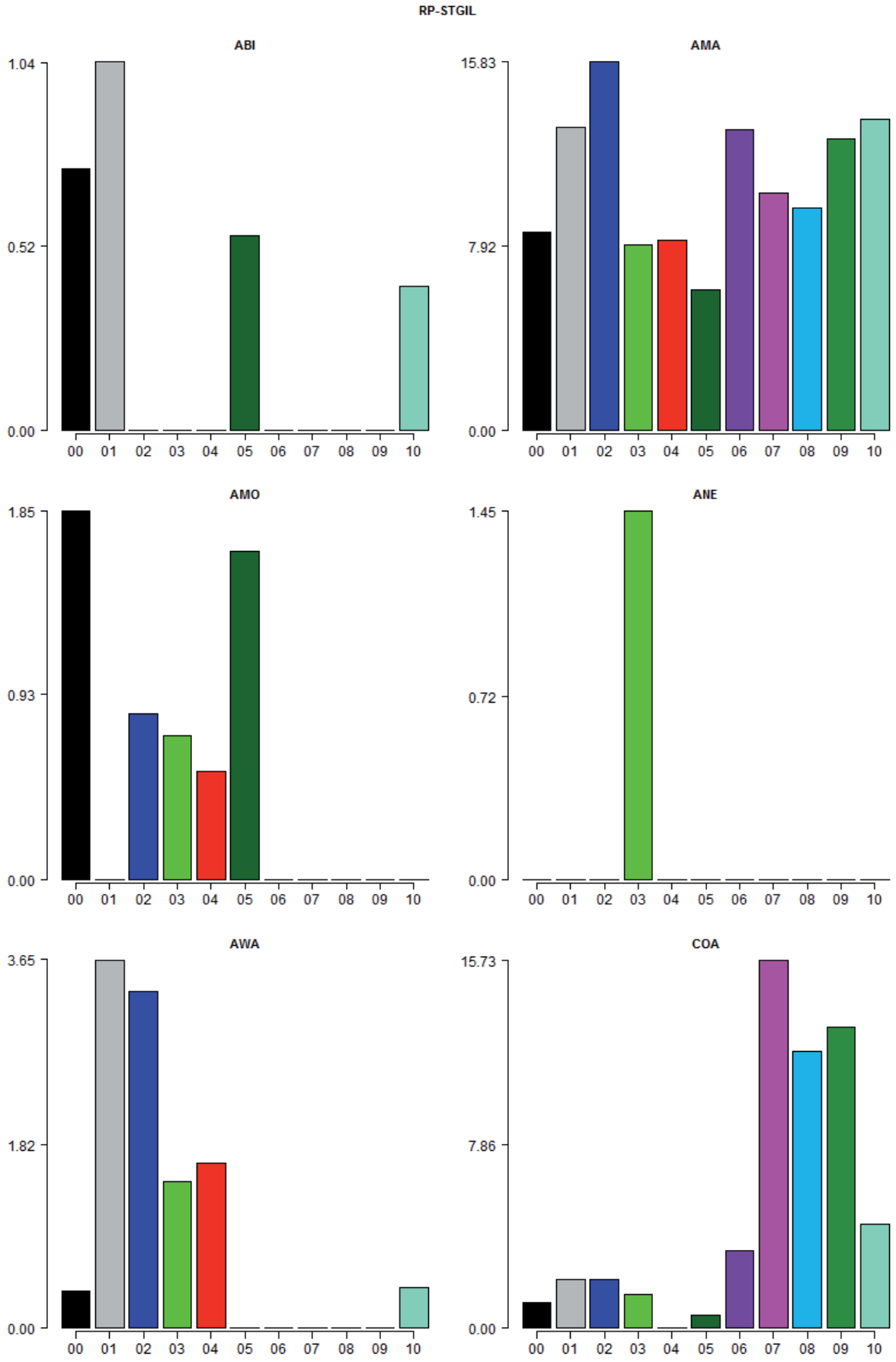

RP-STETIEN
TIL
0.45
0.23
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
XIP
0.38
0.19
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

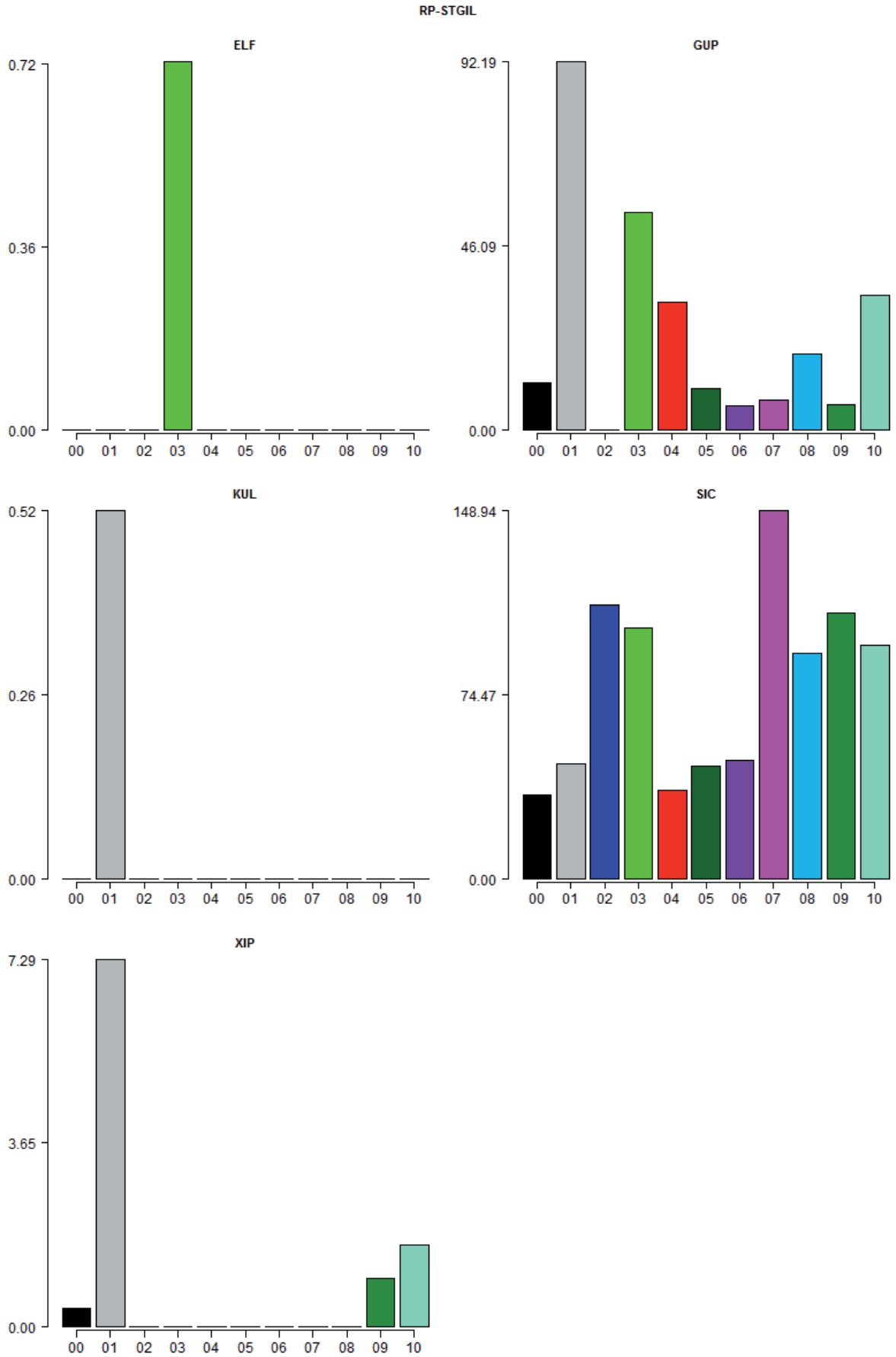

RP-BPLA1
AGO
0.48
0.24
0.00
AMA
6.97
3.48
0.00
AMO
1.02
0.51
0.00
AWA
5.27
2.64
0.00
COA
623.99
311.99
0.00
ELF
2.85
1.43
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

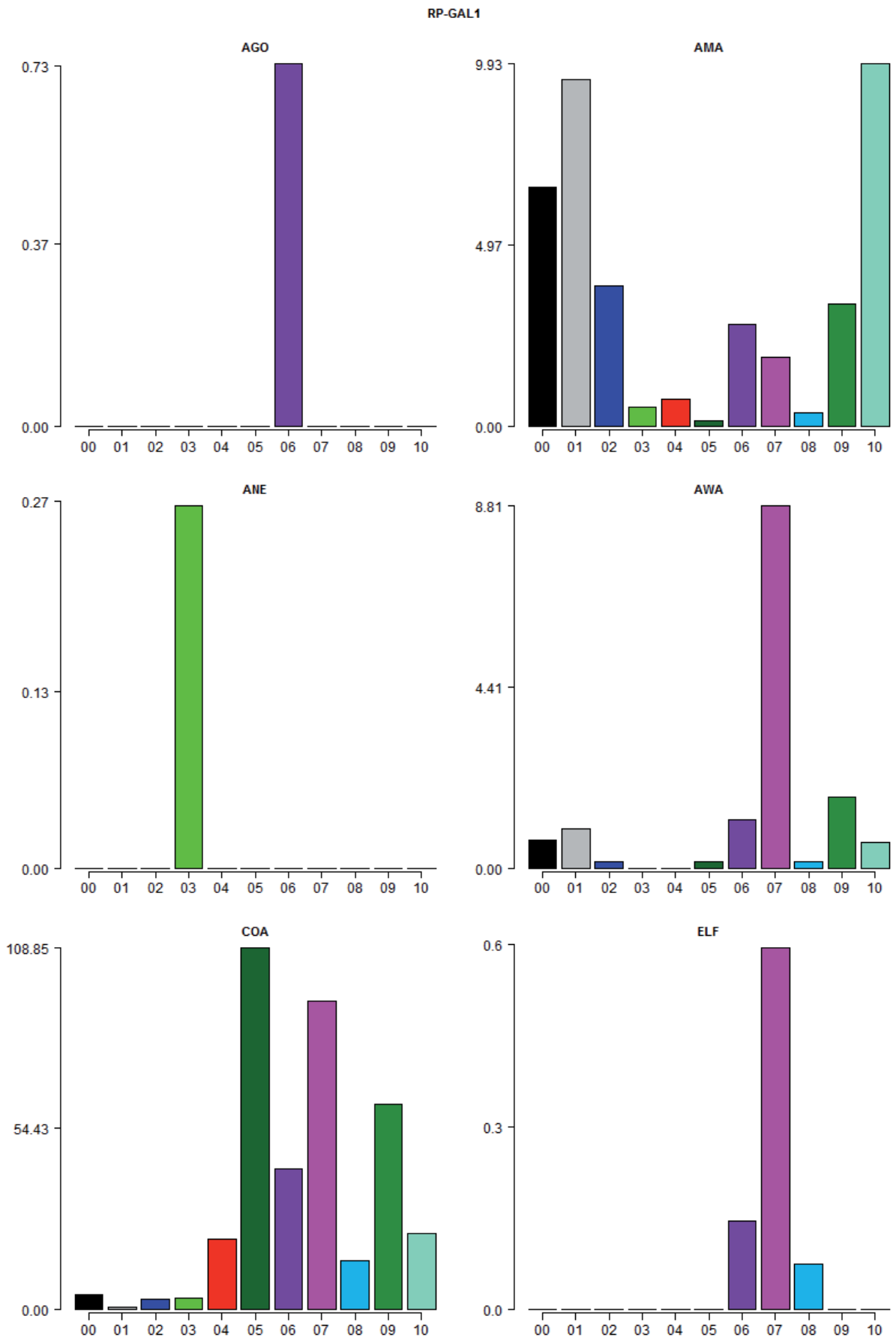

RP-BPLA1
ELM
0.17
0.08
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
12.64
6.32
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
1.01
0.51
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
575.03
287.51
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
XIP
12.34
6.17
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

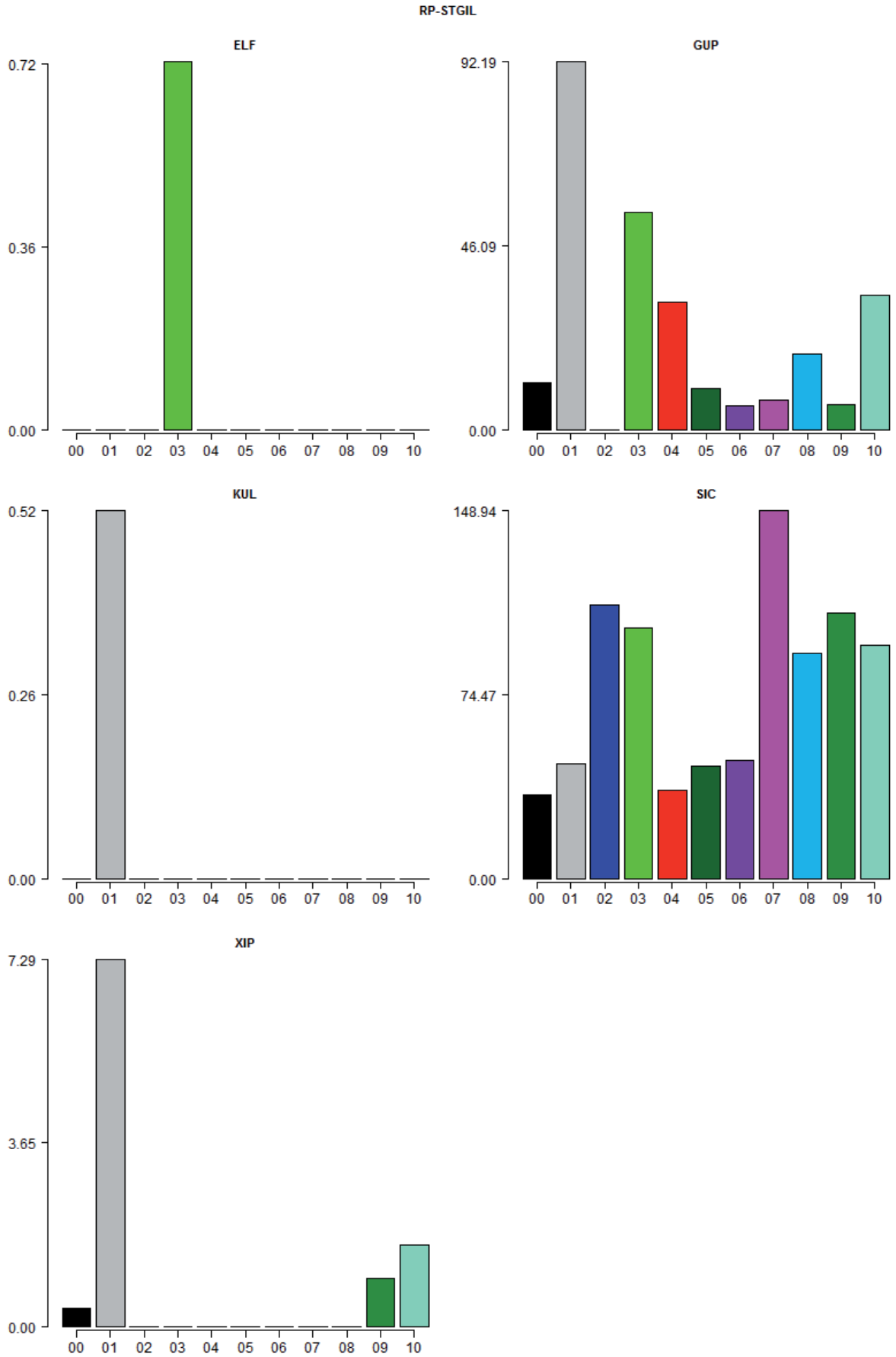

RP-BPLA2
AMA
17.0
8.5
0.0
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMO
0.54
0.27
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
91.54
45.77
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
287.01
143.50
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10


RP-GDBASS
AMA
6.79
3.39
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMO
1.51
0.76
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
389.59
194.79
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
170.15
85.07
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10


RP-STGIL
ABI
1.04
0.52
0.00
AMA
15.83
7.92
0.00
AMO
1.85
0.93
0.00
ANE
1.45
0.72
0.00
AWA
3.65
1.82
0.00
COA
15.73
7.86
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10


RP-STGIL
ELF
0.72
0.36
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
92.19
46.09
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
0.52
0.26
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
148.94
74.47
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
XIP
7.29
3.65
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10


RP-GAL1
AGO
0.73
0.37
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AMA
9.93
4.97
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ANE
0.27
0.13
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
AWA
8.81
4.41
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
COA
108.85
54.43
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
ELF
0.6
0.3
0.0
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10


RP-STGIL
ELF
0.72
0.36
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
GUP
92.19
46.09
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
KUL
0.52
0.26
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
SIC
148.94
74.47
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
XIP
7.29
3.65
0.00
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques.

Rivière Fleurs Jaunes, Cirque de Salazie

Mai 2012

Évaluation des pressions dans les rivières de La Réunion pour l'établissement des indices de bio-indication macroinvertébrés et poissons

Maxence Forcellini, Henri Grondin, Chloé Mathieu, Nicolas Péru, Marine Richarson, Pierre Sagnes, Philippe Usseglio-Polatera et Pierre Valade
Sous la direction scientifique de Sylvie Mérigoux et Jean-Michel Olivier

Convention de recherche et développement. Office de l'eau de la Réunion-CNRS. Programme d'étude et de recherche 2008-2011.

UMR CNRS 5023, Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés
43 Boulevard du 11 Novembre 1918 69622 Villeurbanne Cedex.

SOMMAIRE

1 QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DES COURS D'EAU 3

2 PRESSIONS HYDRO-MORPHOLOGIQUES 5

2.1 PRESSIONS HYDROLOGIQUES 5

2.2 PRESSIONS LIÉES À L'OCCUPATION DU SOL 6

3 PRESSIONS LIÉES À L'ALTÉRATION DE LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIE DES COURS D'EAU 10

L'évaluation de la qualité écologique des cours d'eau à travers l'utilisation d'indices biologiques est basée sur la mesure d'écarts à des valeurs calculées dans des stations de référence quasiment exemptes d'impacts des activités humaines. Le choix des stations de référence pour le calcul des indices repose sur l'appréciation des pressions d'origine anthropique qui s'exercent sur les bassins versants.

La colonisation récente de l'Île de La Réunion et l'exploitation des milieux aquatiques présents en quantités restreintes ont conduit à une altération importante de l'intégrité amont-aval des rivières.

Quatre types de pressions peuvent être à l'origine d'impacts importants sur la richesse spécifique et l'abondance des espèces :

- Les pressions physico-chimiques,
- Les pressions hydromorphologiques regroupant les pressions hydrologiques et les pressions basées sur une analyse des modalités d'occupation du sol,
- Des altérations de la continuité écologique des cours d'eau, paramètre essentiellement utilisé pour la construction de l'indice basé sur les peuplements de poissons.

1 Qualité physico-chimique des cours d'eau

Les données utilisées pour caractériser les stations ont été fournies par l'OLE (SEQ Eau).

Les paramètres utilisés pour caractériser les pressions physico-chimiques sont :

- les matières organiques et oxydables
- les matières azotées hors nitrates
- les nitrates
- les matières phosphorées
- le taux de matières en suspension
- l'acidification
- les contaminations par les micropolluants, basées uniquement sur la recherche des pesticides (75 paramètres)

Les classes de qualité sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1 : classes de qualité physico-chimique pour l'ensemble des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés et des poissons. Les valeurs indiquées en rouge sont des valeurs estimées (à partir des données disponibles sur les autres stations les plus proches). La signification des codes utilisés (classes de qualité) est la suivante : 1: très mauvaise, 2 : mauvaise, 3 : passable, 4 : bonne, 5 : très bonne. Lorsque la source est « KR », les valeurs ont été empruntées au travail de Master2 de Karoline Ruffié

Source	Stations éch. Macroinv.	Stations éch. poissons	Code Sandre	Mat. Org. et Oxyd.	Mat. Azot. hors NO3	Nitrates	Phosphore	Mat. en susp.	Acidification	Pesticides
SEQ	BEN		10606520	3	4	5	4	5	4	5
SEQ	CIL1		10600170	4	4	5	4	5	3	5
SEQ	CIL2		10600180	4	4	5	3	5	4	5
SEQ	EST	RP-EST	10050180	4	4	5	1	5	5	4
	FJA1		10206130	5	5	5	5	5	5	5
SEQ	FJA2	RP-FLJA	10206180	3	3	4	4	4	4	5
	GAL1		10400120	3	4	5	4	4	4	5
	GAL2		10400140	3	4	5	4	4	4	5
SEQ	GAL3		10400180	4	4	5	3	4	3	5
		RP-GAL1	10410125	4	4	5	3	4	3	5
SEQ	GAL4		10410150	3	3	5	3	5	3	4
	LAN1		10015225	5	5	5	5	5	5	5
	LAN2		10010140	5	5	5	5	5	5	5
SEQ	LAN3	RP-LANG 3	10010150	3	3	4	2	5	5	5
SEQ		RP-LANG2	10010180	3	3	5	4	5	4	5
SEQ	LAN4		10010185	3	3	5	4	5	4	5
SEQ		RP-LANG 1	10010190	3	3	5	4	5	4	5
SEQ	LIA		10215510	3	3	5	4	4	5	5
SEQ	MAR1		10120110	3	3	4	4	5	3	5
	MAR2		10120140	5	5	5	5	5	5	5
		RP-MARS 3	10120150	5	5	5	5	5	5	5
SEQ	MAR3	RP-MARS 2	10120170	3	3	5	4	5	4	3
SEQ	MAR4	RP-MARS 1	10120180	3	3	5	3	5	4	3
SEQ	MAT1		10200110	3	3	5	3	5	4	5
SEQ	MAT2	RP-MAT 3	10200180	3	3	5	3	4	4	5
SEQ	MAT3	RP-MAT 2	10200190	3	3	4	3	4	4	5
		RP-MAT 1	10220110	3	3	4	3	4	4	5
SEQ	MAT4	RP-MAT 0	10220180	3	3	4	2	2	4	3
		RP-BPAN 2	10136550	4	4	4	3	4	5	2
SEQ	PAN2	RP-BPAN1	10136250	4	4	4	3	4	5	2
		RP-GDBASS	10610210	5	5	5	5	5	5	5
	PLA1		10610210	5	5	5	5	5	5	5
	PLA2		10610240	5	5	5	5	5	5	5
SEQ	PLA3	RP-BPLA 2	10610250	4	4	4	4	4	4	5
		RP-BPLA 1	10610290	4	4	4	4	4	4	5
KR	PLU1		10310812	5	5	5	5	0	4	5
SEQ	PLU2	RP-PLUIES	10310830	4	4	5	2	4	4	5
SEQ	PLU3	RP-PLUIES 0	10310890	4	4	5	2	4	4	4
SEQ		RP-REM	10000175	4	3	5	2	5	4	4
SEQ	REM		10000190	4	3	5	2	5	4	4
	ROC1		10135508	4	4	5	4	5	5	5
SEQ	ROC2	RP-ROC 2	10130460	3	3	5	4	5	5	2
SEQ	ROC3	RP-ROC 1	10130480	3	3	5	4	5	5	2
KR	SDE1		10320310	4	4	5	4	5	4	5
SEQ	SDE2	RP-STDENIS	10320350	4	4	5	4	5	4	5
SEQ	SDE3		10320380	4	4	5	2	5	4	4
SEQ	SET	RP-STETIEN	10610160	4	4	5	2	5	4	4
SEQ	SGI	RP-STGIL	10510550	3	3	3	4	5	5	4
SEQ	SJE1		10300110	3	3	5	3	5	5	5
		RP-STJEAN1	10300170	4	4	5	3	5	5	1
SEQ	SJE2	RP-STJEAN	10300180	4	4	5	3	5	5	1
SEQ	SSU1		10300215	3	4	5	4	5	5	5
SEQ	SSU2		10300240	4	4	5	1	4	5	2
SEQ		RP-STESUZ	10300280	4	4	5	1	4	5	2

L'évaluation de la qualité pour les micropolluants (pesticides uniquement) est réalisée à partir du nombre de détections de concentrations supérieures à 0,1µg/l. (75 substances recherchées).

Les classes de qualité déclassantes sont les classes 1 et 2.

2 Pressions hydro-morphologiques

2.1 Pressions hydrologiques

Le débit au niveau de la station d'échantillonnage est un facteur important conditionnant à la fois la qualité et la disponibilité de l'habitat hydraulique pour les organismes aquatiques. A La Réunion, la gestion de la ressource en eau est une préoccupation majeure du fait du faible nombre de cours d'eau permanents, de l'hétérogénéité de cette ressource en fonction des bassins versants et de l'occupation du territoire par les populations. De ce fait, les prélèvements sur les cours d'eau peuvent être très importants et constituer une pression conséquente. L'impact de cette pression est quantifié à l'aide de la valeur du ratio R= débit mesuré / débit théorique sans prélèvement. Cinq classes d'impact ont été définies :

- 80%≤R : impact très faible (1)
- 60≤R<80% : impact faible (2)
- 30≤R<60% : impact moyen (3)
- 10≤R<30% : impact fort (4)
- R<10% : impact très fort (5)

Ces valeurs ont été calculées par K. Ruffié (2010)[1] dans le cadre d'un travail de Master 2 et validées par l'Office de l'Eau de la Réunion. "Les données utilisées proviennent principalement des bilans hydrologiques effectués par l'Office de l'Eau depuis l'étiage 1997. Les quantités d'eau prélevées proviennent des déclarations de prélèvement dans le milieu naturel, dans le cadre de la perception de la redevance du même nom par l'OLE, pour les années 2004 à 2008. Le détail pour chaque captage a permis de calculer un volume moyen prélevé par an, qui a ensuite été transformé en l/s" (Ruffié, 2010). Les valeurs de R prises en

[1] Ruffié Karoline (2009) Caractérisation et quantification des impacts ayant une incidence sur les peuplements de poissons, de macrocrustacés et de macroinvertébrés dans les rivières de l'Île de la Réunion. Mémoire de Master Environnement et Aménagement GESMARE 2ème année option Hydrobiologie.

compte sont des valeurs d'étiage (septembre à décembre) moyennes calculées sur la période 2000-2009. Les valeurs de R considérées comme **déclassantes** sont celles <60% (3 dernières classes).

2.2 Pressions liées à l'occupation du sol

La démarche est issue de celle adoptée en métropole (Usseglio-Polatera & Mondy, 2011)[2].

Certaines variables sont calculées à l'échelle du bassin versant (surface du bassin versant en amont de la station d'échantillonnage) et d'autres à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon. Dans ce dernier cas, la procédure de calcul de la longueur du cours d'eau en amont de la station d'échantillonnage à prendre en compte dans l'évaluation de la taille du sous-tronçon est fonction du rang de Strahler du cours d'eau au niveau de la station d'échantillonnage (rang 1 : 2500m, rang 2 : 3500m, rang 3 : 5000m, rang 4 : 7500m, rang 5 : 11500m, rang 6 : 17000m, rang 7 : 25000m, rang 8 : 40000m). Les rangs de Strahler ont été définis pour chaque station d'échantillonnage (H. Grondin, ARDA).

Pour chaque station d'échantillonnage (macroinvertébrés et poissons), les valeurs suivantes ont été calculées à partir des données de Corine Land Cover. Ainsi ont été quantifiés les pourcentages :

- à l'échelle du bassin versant :
  - de surface urbanisée
  - de surface en agriculture intensive
  - de surface en zone naturelle
  - de surface en couverture forestière
  - de surface en couverture forestière + zone naturelle

- à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon :

[2] Usseglio-Polatera, P. & Mondy, C. (2011) "Invertébrés benthiques : métriques biologiques, conditions de référence, méthodes de bioindication, système-expert", Rapport au Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement. (Février, 2011) UPV-Metz - LIEBE – UMR-CNRS 7146

- de surface urbanisée dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur
- de surface en agriculture intensive de canne a sucre dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur
- de surface en agriculture intensive dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur
- de surface en zone naturelle dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur
- de surface en couverture forestière dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur
- de surface en zone naturelle et couverture forestière dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur

Les variables d'occupation de l'espace sont issues de regroupements de modalités définies dans Corine Land Cover, définis en concertation avec l'OLE et listés ci-dessous :

Zone urbanisée

111 : Tissu urbain continu

112 : Tissu urbain discontinu

121 : Zones industrielles et commerciales

132 : Décharges

133 : Chantiers

141 : Espaces verts urbains

142 : Équipements sportifs et de loisirs

Agriculture intensive

222 : Vergers et petits fruits

224 : Canne à sucre

225 : Bananeraies

231 : Prairies

241 : Cultures annuelles associées aux cultures permanentes

242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes

243 : Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants

244 : Territoires agro-forestiers

321 : Pelouses et pâturages naturels

212 : Périmètres irrigués en permanence

Couverture Forestière

311 : Forêts de feuillus

312 : Forêts de conifères

313 : Forêts mélangées

324 : Forêt et végétation arbustive en mutation

Zone naturelle

511 : Cours et voies d'eau

512 : Plans d'eau

513 : Cours et voies d'eau temporaires

333 : Végétation clairsemée

323 : Végétation sclérophylle

322 : Landes et broussailles

Les distributions des valeurs de ces variables dans l'ensemble des stations (macroinvertébrés et poissons) montrent globalement que la pression des activités humaines en termes d'urbanisation et d'agriculture intensive, soit à l'échelle du bassin versant en amont des stations, soit à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur restent majoritairement **faibles** (figure 1 et tableau 2). Les pourcentages les plus élevés concernent l'agriculture intensive avec 75% des valeurs inférieures à 20% à l'échelle du bassin versant et inférieures à 30% à l'échelle du sous-tronçon.

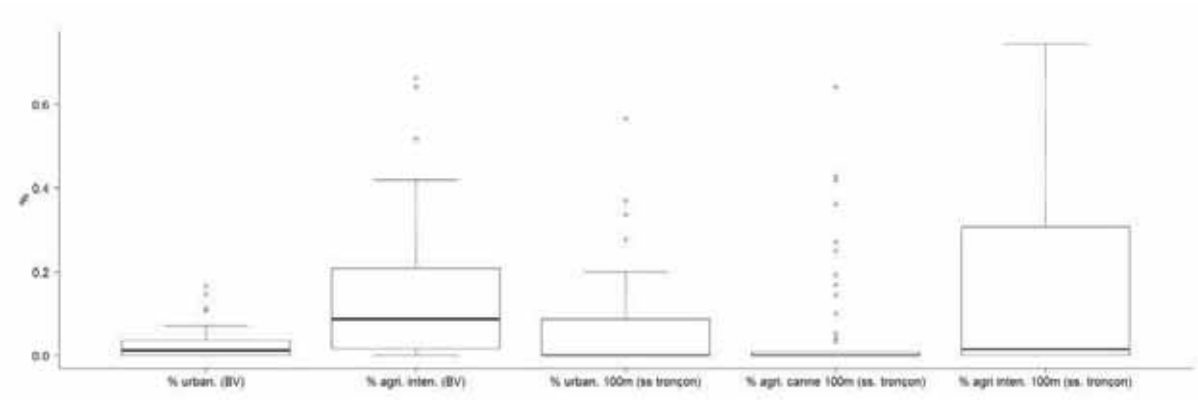


Figure 1 : distributions (box-plots) des valeurs des métriques d'occupation du sol potentiellement impactantes pour toutes les stations d'échantillonnage (macroinvertébrés et poissons)

Tableau 2 : Valeurs de quelques paramètres de description des données de 5 paramètres d'occupation du sol potentiellement générateurs d'impacts dans les rivières de La Réunion (toutes stations confondues – macroinvertébrés et poissons). 1 : % du BV urbanisé, 2 : % du BV en agriculture intensive, 3 : % d'urbanisation

dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon, 4 : % en agriculture intensive de canne à sucre dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon, 5 : % en agriculture intensive dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon.

	1	2	3	4	5
Min	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Max	16,6%	66,2%	56,5%	64,2%	74,5%
Médiane	1,2%	8,7%	0,0%	0,0%	1,6%
Moyenne	2,5%	13,5%	5,8%	5,8%	15,9%

Le tableau 3 (en Annexe) présente les valeurs des paramètres pour les 3 types de pression (physico-chimie, hydrologie et occupation du sol) pour l'ensemble des stations d'échantillonnage des macroinvertébrés et des poissons.

Il est très difficile d'établir une correspondance entre des valeurs de proportions d'occupation du sol par des activités potentiellement impactantes et un niveau d'impact sur la structure des peuplements de macroinvertébrés (difficulté de définir des limites de classes comme pour les autres types de pression). Suite à l'examen des valeurs mesurées, nous avons choisi arbitrairement de fixer la limite entre des valeurs impactantes et des valeurs non-impactantes comme suit :

- pourcentage d'urbanisation à l'échelle du bassin versant en amont de la station : ≥ 15%
- pourcentage de surface en agriculture intensive à l'échelle du bassin versant en amont de la station : ≥ 15%
- pourcentage d'urbanisation en amont de la station à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon : ≥ 10%
- pourcentage de surface en agriculture de canne à sucre à l'échelle du tronçon ou du sous- tronçon : ≥ 10%
- pourcentage de surface en agriculture intensive à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon : ≥ 10%

3 Pressions liées à l'altération de la continuité écologie des cours d'eau

La DEAL Réunion a missionné le groupement de bureaux d'études ANTEA GROUP – OCEA CONSULT' – HYDRETUDES – ECOGEA pour réaliser une évaluation de la continuité écologique (hydraulique, morphologique, biologique et trophique) des 13 rivières pérennes de La Réunion[3].

Parmi ces divers objectifs, cette étude propose la réalisation d'un inventaire des obstacles à la continuité et la réalisation d'un diagnostic de l'état des milieux et la définition de l'aire de colonisation des espèces de poissons.

L'étude identifie 8 types d'ouvrages et aménagements susceptibles d'altérer la continuité écologique des cours d'eau :

- les captages : (irrigation, alimentation en eau potable…)
- les ouvrages hydroélectriques
- les radiers : ouvrages permettant le franchissement des véhicules hors d'eau, constitués de dispositifs hydrauliques (buses…)
- les seuils sans prélèvement (ouvrage fixe ou mobile qui barre tout ou une partie du lit mineur)
- les endiguements
- les chutes naturelles (dénivellation brusque, dénivelé > 1,5 m)
- les assecs : tronçons sans écoulement superficiel
- les pêcheries à bichiques : espace aménagé afin d'y faciliter la pêche aux bichiques (larves de bouches-rondes remontant les embouchures).

Les espèces de poissons et de macrocrustacés indigènes étant des organismes diadromes, les conditions de survie et le maintien de ces espèces dans les rivières réunionnaises dépendent largement des possibilités de circulation le long du gradient longitudinal des cours d'eau. Ainsi ces espèces constituent de bons indicateurs de l'intégrité de la continuité écologique des cours d'eau.

---

[3] DEAL - Service Eau et Biodiversité - (2011) : évaluation de la continuité écologique des 13 rivières pérennes de La Réunion. Proposition d'un plan d'un plan d'action pour reconquérir cette continuité. Phase 1 – Diagnostic, Phase 2 évaluation de la continuité.

L'étude sur la continuité écologique propose un diagnostic de la franchissabilité des obstacles en tenant compte des capacités biologiques connues ou estimées des différentes espèces ciblées (capacités de franchissement, nage, saut, reptation, ventousage), de paramètres physiques et hydrauliques au niveau des ouvrages et de la connaissance de la structure des peuplements en amont des obstacles qui renseigne sur les capacités de montaison des espèces.

Le texte ci-dessous est extrait du rapport sus-cité (phase 2).

…..

La continuité biologique au droit des obstacles a été abordée au travers de 7 groupes d'espèces à la montaison et de 4 groupes d'espèces à la dévalaison. Les groupes d'espèces à la dévalaison sont moins nombreux car les espèces amphidromes pour lesquelles la dévalaison est effectuée par des larves sont considérées comme un unique groupe.

- *Groupes d'espèces pour la montaison (7) :*

  - Bouche rondes (*Sicyopterus lagocephalus* et *Cotylopus acutipinnis*),
  - Anguilles (*Anguilla* sp.),
  - Chitte (*Agonostomus telfairii*),
  - Poisson plat (*Kuhlia. rupestris*),
  - Poissons sans adaptation ou capacité de saut (*Awaous commersoni*, *Eleotris* sp., …),
  - Chevaquines (*Atyoida serrata*) à la montaison,
  - Macrocrustacés hors chevaquines à la montaison (*Caridina* sp., *Macrobrachium* sp., *Varuna litterata*),

- *Groupes d'espèces / Stades pour la dévalaison (4) :*

  - Larves d'espèces amphidromes de type bouches rondes, *A. commersoni, Eleotris* sp.,
  - Anguilles argentées (*Anguilla* sp.),
  - Poissons de « grande taille » (*A. telfairii* et *K. rupestris*)
  - Macrocrustacés adultes du genre *Macrobrachium*

L'état de franchissabilité des obstacles a été défini en classes prenant en compte à la fois la variabilité des capacités de nage pour une espèce ou un groupe d'espèces donné, ainsi que la variabilité des conditions hydrauliques et hydrologiques en période de migration au niveau des obstacles donnés.

Au final, il a été décidé de définir les 4 classes de franchissabilité suivantes :

- **Classe 1 : Barrière franchissable (valeur : 1)**

La barrière ne représente pas un obstacle vraiment notable aux espèces-cibles/stades, ou aux groupes d'espèces, et la plus grande partie de la population devrait passer pendant la plus grande partie de la période de migration. Cela ne signifie pas que la barrière n'occasionne aucun retard à la migration ou qu'absolument tous les individus franchissent l'ouvrage.

- **Classe 2 : Barrière partielle à impact modéré (valeur : 2)**

La barrière constitue un obstacle significatif aux espèces-cibles/stades, ou aux groupes d'espèces, mais la majeure partie de la population parvient à passer ; ou bien la barrière demeure franchissable une partie significative du temps.

- **Classe 3 : Barrière partielle à fort impact (valeur : 3)**

La barrière représente un obstacle important aux espèces-cibles/stades, ou aux groupes d'espèces, mais une faible partie de la population parvient à passer ; ou bien la barrière est infranchissable une grande partie du temps. Les buses représentent un bon exemple de barrières partielles à plus ou moins fort impact si elles bloquent les individus durant les périodes d'étiage ou lors des crues.

- **Classe 4 : Barrière totale ou quasi totale (valeur : 4)**

Les espèces-cibles/stades, ou groupes d'espèces ne peuvent franchir l'obstacle ou alors seuls quelques individus arrivent à franchir le site mais de manière anecdotique (ex : chute infranchissable sans dispositif de franchissement).

Méthodologie d'évaluation de la continuité biologique

Sur ces bases, il est proposé d'évaluer la continuité biologique pour les 7 groupes d'espèces présentés ci-avant, à la montaison et à la dévalaison. On définira alors un ensemble de 14 états de continuité biologique (2 par groupe d'espèces) qui seront ensuite synthétisés par bassin versant et à l'échelle des 13 principales rivières pérennes (24 masses d'eau cours d'eau).

L'intérêt est de pouvoir disposer d'indicateurs sur la continuité biologique d'une espèce ou d'un groupe d'espèces (espèces en danger d'extinction, espèce halieutique ou espèce patrimoniale par exemple), ou de l'ensemble des espèces, ces indicateurs constituent des outils potentiels d'évaluation sur le long terme de la reconquête de la continuité biologique.

L'état de la continuité biologique pour chacun des 7 groupes d'espèces est établi sur la base des critères de franchissabilité définis en phase 1 et selon la méthodologie suivante :

- la continuité à la montaison comme à la dévalaison est évaluée de l'aval vers l'amont,
- la continuité biologique est notée pour chaque tronçon de rivière entre deux obstacles (naturel ou anthropique),
- pour chaque groupe et stade (dévalaison / montaison), deux notes sont attribuées :
  - une note de continuité dite « naturelle », prenant en compte les chutes et les assecs naturels,
  - une note de continuité de l'état actuel, prenant en compte l'ensemble des obstacles,
- La note de continuité est attribuée comme suit (cf. figure 2) :

  1 si l'ensemble des obstacles aval sont notés 1 pour le franchissement,

  2 si un ou plusieurs obstacles de type 2 sont positionnés sur le cours aval,

  3 si un ou plusieurs obstacles de type 3 sont positionnés sur le cours aval,

  4 si un ou plusieurs obstacles de type 4 sont positionnés sur le cours aval.

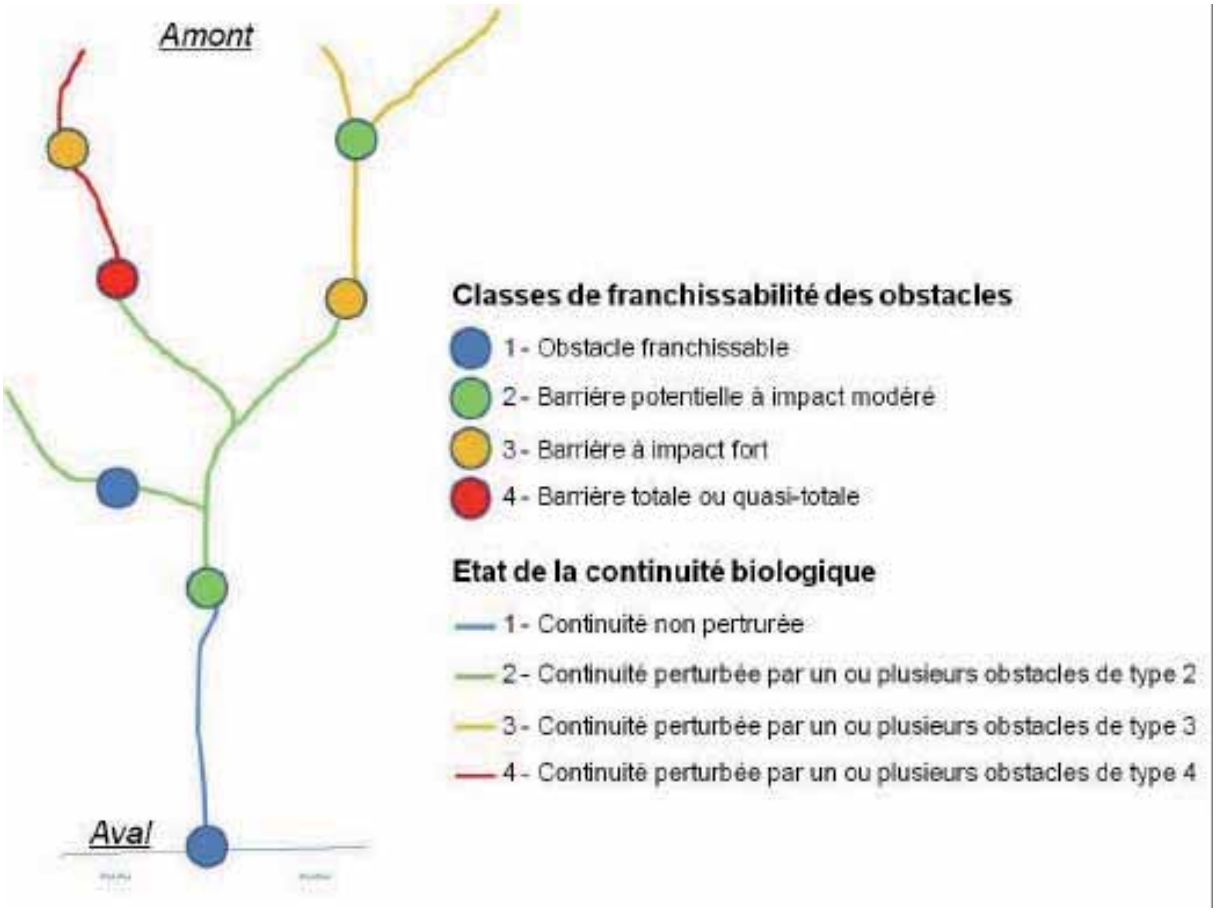


Figure 2 – Exemple d'attribution des notes d'état de la continuité biologique sur un bassin versant (DEAL - Service Eau et Biodiversité - 2011 - évaluation de la continuité écologique des 13 rivières pérennes de la Réunion. Phase 2 évaluation de la continuité).

Les données de continuité biologique « naturelle » (i.e. basée uniquement sur les chutes et les assecs d'origine naturelle) et anthropique seront comparées pour estimer la perte de continuité biologique liée aux obstacles anthropiques.

N.B : le potentiel de chaque groupe a été estimé à partir des observations de terrain 2010 et des reconnaissances héliportées de Malavoi de 1998. Ces potentiels estimés sont par conséquent sous-évalués par rapport au potentiel « naturel » du fait de l'impact des prises d'eau qui causent des réductions de la surface mouillée disponible.

…

L'indice de bio-évaluation développé dans la présente étude ne portant que sur les espèces de poissons, l'analyse de la continuité écologique pour les macrocrustacés n'a donc pas été prise en compte. Le rapport sur l'évaluation de la continuité écologique présente l'état de la continuité pour les différents groupes d'espèces dans les différents cours d'eau en **situation naturelle** et dans la **situation actuelle** en tenant compte des différentes altérations de la continuité d'origine anthropique. Pour les différents groupes d'espèces, les principaux impacts concernent la **phase de montaison** des poissons, c'est pourquoi nous avons focalisé notre attention sur l'impact des ouvrages sur la montaison.

La situation actuelle montre que le degré de perturbation de la continuité écologique pour la montaison de la plupart des groupes est très important.

Les conclusions de l'étude pour les différentes rivières sont les suivantes (extrait du rapport phase 2) :

- *Rivière Saint-Denis* : la continuité est fortement perturbée pour chaque espèce, pour la montaison et pour la dévalaison avec une perte de plus de 75% de potentiel d'habitat naturellement colonisable sans obstacle ; les obstacles à la montaison sont principalement de classe de continuité 4 pour les poissons ;
- *Rivière des Pluies* : la continuité est fortement perturbée à la montaison pour les espèces de bouches rondes, d'anguilles et pour les espèces sans adaptation au franchissement (*A. comersonni* et *Eleotris* sp.). Ces pertes de continuité sont principalement liées à la pêche des bichiques sur ce bassin versant. La continuité pour les autres espèces est moyennement perturbée (baisse de 50 % du potentiel de continuité 1 par des obstacles de classe de continuité 2) ; la dévalaison est moyennement perturbée par des obstacles de classe de continuité 2 ;
- *Rivière Sainte-Suzanne* : la continuité biologique est globalement peu perturbée à la montaison, par des obstacles de type 2 ou 3 uniquement (radiers routiers) ; ce bassin versant ne présente pas de perturbation anthropique pour la dévalaison des espèces de poissons ;
- *Rivière Saint-Jean* : seules les continuités des espèces de bouche ronde, d'anguilles et d'espèces sans adaptation au franchissement (*A. commersoni* et *Eleotris* sp.) sont perturbées par les pêcheries de bichiques, les autres espèces de poissons ainsi que l'ensemble des stades de dévalaison ne présentent pas de perturbation anthropique de la continuité ;
- *Rivière du Mât* : La continuité pour la montaison des espèces de poissons est fortement perturbée sur ce bassin versant (forte augmentation des continuités de classes 3 et 4), la continuité à la dévalaison pour les espèces de poissons ne présente pas (ou très peu) de perturbation en l'état ;

- *Rivière des Roches* : La continuité biologique à la montaison est perturbée pour la majorité des habitats disponibles (entre 64 et 100%) et pour l'ensemble des espèces. La continuité est perturbée par des obstacles de classe de continuité 2 (anguilles, chitte), de classe de continuité 3 (poisson plat, poissons sans adaptation au franchissement, autres crustacés) ou de classe de continuité 4 (bouche rondes) ; ce bassin versant ne présente pas de perturbation anthropique pour la dévalaison des espèces de poissons ;
- *Rivière des Marsouins* : seules les continuités des espèces de bouche ronde, d'anguilles et d'espèces sans adaptation au franchissement (*A. commersoni* et *Eleotris* sp.) sont perturbées par les pêcheries de bichiques, pour les autres espèces de poissons ainsi que l'ensemble des stades de dévalaison il n'est pas mis en évidence de perturbation anthropique de la continuité ;
- *Rivière de l'Est* : la continuité biologique des différentes espèces est perturbée pour la totalité des habitats disponibles (obstacle – assec – situé à l'embouchure). Selon les espèces et les stades, l'état de la continuité sur ce bassin versant est perturbé par un obstacle de classe de continuité 2 ou 3 ;
- *Rivière Langevin* : La continuité biologique du bassin versant de la rivière Langevin est uniquement perturbée pour les bouches rondes pour qui la majorité des habitats perturbés le sont naturellement par des obstacles de classe de continuité 2 ou 3 ; pour le chitte et le poisson plat, les habitats potentiels sont nuls sur ce bassin versant (présence d'un cassé naturel à l'embouchure), pour les espèces d'anguilles, la continuité est naturellement perturbée (classes de continuité 2 ou 3) par les cassés et assecs ;
- *Rivière des Remparts* : la continuité pour la montaison de l'ensemble des espèces de poissons et de macrocrustacés est perturbée pour la majorité (voir la totalité) des habitats naturellement colonisables sans obstacles ; les obstacles observés sur cette rivière (pêcherie, radier routier) sont de classe de continuité 2 (chitte), de type 3 (anguilles, poisson plat) ou 4 (bouche rondes, poissons sans adaptation au franchissement) ; la continuité à la dévalaison n'est pas perturbée sur ce bassin versant ;
- *Rivière Saint-Etienne* : la continuité biologique pour la montaison est impactée pour la majorité des habitats (55 à 90%) pour tous les groupes d'espèces de poissons, on observe sur ce bassin versant d'importants linéaires de classe de continuité 4 (en amont de barrières totales) pour le bouche ronde (100% des habitats), les anguilles (48% des habitats), le poisson plat (31 % des habitats) ainsi que les espèces sans adaptations au franchissement (31% des habitats) ; la continuité pour les espèces à la dévalaison est fortement perturbée pour les bouche rondes et les anguilles (40 à 50 % du potentiel d'habitat), dans une moindre mesure pour le poisson plat (30% du potentiel d'habitat) et pour moins de 20% des habitats potentiels pour les autres espèces ;
- *Ravine Saint-Gilles* : la continuité biologique du bassin de la ravine Saint-Gilles est fortement

perturbée pour toutes les espèces et tous les stades en raison de l'artificialisation de l'embouchure (obstacle de classe de continuité 3 à la montaison et à la dévalaison pour l'ensemble des espèces) ; il n'y a pas de pêcheurs de bichiques installés sur cette embouchure pérenne ;

- *Rivière des Galets* : la continuité biologique de la Rivière des Galets est fortement perturbée pour la montaison et la dévalaison des espèces (de 67 à 95% des habitats potentiels sans obstacle naturel) en raison d'obstacles de type assec et seuil à proximité de l'embouchure ; la continuité est plus fortement impactée à la montaison (classes de continuités 2 à 4) qu'à la dévalaison (classes de continuités 2 et 3).

Pour l'ensemble des cours d'eau, la continuité pour la montaison est fortement perturbée notamment pour les bouches rondes, les anguilles et les poissons sans adaptation au franchissement (*A. commersoni*, *Eleotris* sp.), de manière légèrement plus modérée pour le Chitte (*Agonostomus telfairii*) et le poisson plat (*Kuhlia rupestris*).

Les informations relatives à l'évaluation de la classe de continuité à la montaison au droit des stations d'échantillonnage du Réseau Piscicole de la Réunion pour les différents groupes d'espèces à l'état naturel et dans l'état actuel des cours d'eau sont synthétisées dans le tableau 4.

Les valeurs indiquées dans le tableau 4 montrent clairement que la continuité écologique des rivières au droit de l'ensemble des stations d'échantillonnage est fortement perturbée pour la majorité des espèces et notamment les 2 espèces de cabots bouche ronde (espèces dominantes dans les cours d'eau réunionnais). Cette **altération majeure** de la qualité écologique des rivières de La Réunion pose un problème important pour **le choix des stations de référence** dans le cadre de la construction d'un indice de qualité écologique basé sur les peuplements de poissons des rivières. La pêche aux bichiques, activité traditionnelle à La Réunion, constitue une altération importante de la continuité écologique au niveau des embouchures et affecte toutes les rivières exceptées la Ravine Saint-Gilles, dont l'embouchure est fortement aménagée et la Rivière de l'Est pour laquelle le débit à l'embouchure est très réduit, voire inexistant. Cette activité a pour conséquence une modification de la morphologie des embouchures et des zones les plus aval des cours d'eau (concentration des flux d'eau - canaux à bichiques). À l'heure actuelle, il n'existe pas de statistiques concernant les quantités pêchées. De même, l'impact numérique global de cette activité sur les quantités de poissons (larves et juvéniles toutes espèces confondues) n'est pas

estimé. Il est donc impossible aujourd'hui d'évaluer scientifiquement l'impact des pêcheries de bichiques sur les densités de poissons en amont des embouchures.

L'ensemble des données pour les pressions physico-chimiques, hydrologiques et les modalités d'occupation du sol pour toutes les stations (invertébrés et poissons) sont consignées en annexe.

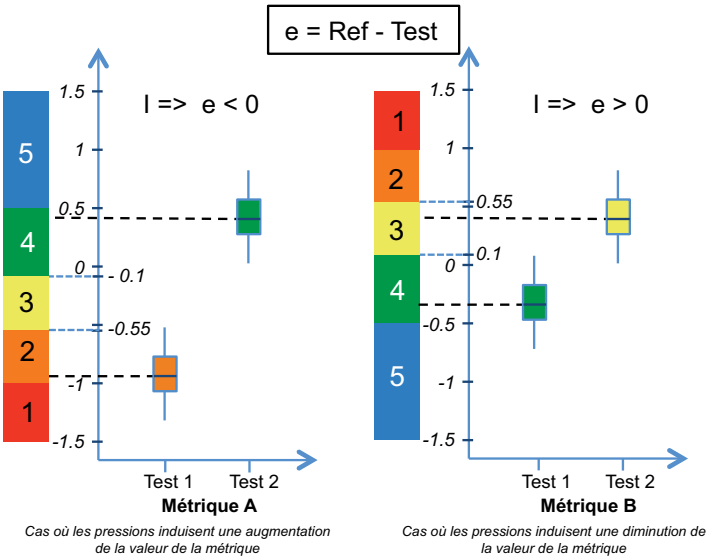
Stations	Type BV	Position	Hydro	Continuité biologique naturelle à la montaison					Continuité biologique aménagée à la montaison				
RP			Hydro-eco-2010	Cabots bouche ronde	Anguilles	Chitte	Kuhlia	Poissons divers	Cabots bouche ronde	Anguilles	Chitte	Kuhlia	Poissons divers
LANG 1	1	intermédiaire	M61	2	2	4	4	3	4	2	4	4	3
LANG 2	1	intermédiaire	M61	2	3	4	4	4	4	3	4	4	4
LANG 3	1	amont	M61	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
REMPART	1	aval	M61	1	1	1	1	1	4	3	2	3	4
STETIEN	1	aval	M62	1	1	1	1	1	4	2	2	3	3
BPLA 1	1	intermédiaire	M62	1	1	1	1	1	4	2	2	3	3
BPLA 2	1	intermédiaire	M62	1	1	1	1	1	4	2	2	3	3
GDBASS	1	amont	P62	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4
STGIL	3	intermédiaire	MP64	1	1	1	1	1	3	3	3	4	4
GAL 1	3	intermédiaire	M62	1	1	1	1	1	4	3	3	4	4
STDENIS	3	intermédiaire	MP63	1	1	1	1	1	4	3	3	4	4
PLUIES 0	1	aval	MP63	1	1	1	1	1	4	2	1	1	2
PLUIES	1	intermédiaire	MP63	1	1	1	1	1	4	2	1	1	2
STESUZ	2	aval	MP63	1	1	1	1	1	3	3	2	2	3
STJEAN	2	aval	MP63	1	1	1	1	1	4	2	1	1	2
STJEAN 1	2	aval	MP63	1	1	1	1	1	4	2	1	1	2
MAT 0	1	aval	M61	1	1	1	1	1	4	2	1	1	2
MAT 1	1	intermédiaire	M61	1	1	1	1	1	4	3	4	4	4
MAT 2	1	intermédiaire	P61	1	1	1	1	1	4	3	4	4	4
MAT 3	1	amont	P61	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4
FLJA	1	amont	P61	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4
ROC 1	2	aval	MP63	1	1	1	1	1	4	2	2	3	3
ROC 2	2	aval	MP63	1	1	1	1	1	4	2	2	3	3
BPAN 1	2	aval	MP63	1	1	1	1	1	4	2	2	3	3
BPAN 2	2	intermédiaire	MP63	1	1	1	1	1	4	2	2	3	3
MARS 1	1	Aval	MP63	1	1	1	1	1	4	2	1	1	2
MARS 2	1	intermédiaire	MP63	1	1	1	1	1	4	2	1	1	2
MARS 3	1	intermédiaire	MP63	1	1	1	1	1	4	2	1	1	2
EST	1	intermédiaire	MP63	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3

Tableau 4 : note de continuité biologique au droit des stations d 'échantillonnage du Réseau Piscicole de la Réunion en situation naturelle et en situation aménagée (actuelle). Données extraites de l'étude sur l'évaluation de la continuité écologique des 13 rivières pérennes de la Réunion (DEAL Réunion, 2011).

Annexe : Valeurs des métriques de pressions pour les stations de référence (stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques et poissons). HER2010 : hydro-éco-région 2010, urban : % du BV urbanisé, agri_inten : % du BV en agriculture intensive, natur : % du BV en zone naturelle, foret : % du BV en Couverture Forestière, natur_foret : % du BV en couverture forestière + zone naturelle, urban100m : % d'urbanisation dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur échelle sous-tronçon, agrican100m : % en agriculture intensive de canne à sucre dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur échelle sous-tronçon, agri100m : % en agriculture intensive dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon, natur100m : % en zone naturelle dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon, foret100m : % en couverture forestière dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur échelle sous-tronçon, natur_foret100m : % en zone naturelle et couverture forestière dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur échelle sous-tronçon, Moox : classe de qualité pour les matières organiques et oxydables, MN : classe de qualité pour les matières azotées hors nitrates, NO3 :classe de qualité pour les nitrates, Phos : classe de qualité pour les matières phosphorées, MES : classe de qualité pour les taux de matières en suspension, Acid : classe de qualité pour l'acidification, micropol : classe de qualité pour les micropolluants, clashydro : classe d'impact hydrologique, 20 : R= débit mesuré / débit théorique sans prélèvement.

Codes stations référence invertébrés	Codes stations référence poissons	Code sandre	Rang de Strahler	HER2010	Code HER2010	urban	agri_inten	natur	foret	natur_foret	urban 100m	agrican 100m	agri 100m	natur 100m	foret 100m	natur_foret 100m	MooX	MN	NO3	Phos	MES	Acid	micrpol	clashydro	R
LAN3		10010150	1	Cirques au vent (couloir)	M61	1,2%	9,2%	17,7%	56,1%	73,8%	6,7%	0,0%	0,0%	0,0%	93,3%	93,3%	3	3	4	2	5	5	5	1	100
LAN4		10010185	1	Cirques au vent (couloir)	M61	2,2%	17,3%	12,0%	58,1%	70,1%	7,1%	0,0%	34,3%	0,0%	58,6%	58,6%	3	3	5	4	5	4	5	1	95
	RP-MAT0	10220180	3	Cirques au vent (couloir)	M61	5,0%	22,9%	6,8%	64,2%	71,0%	10,9%	14,5%	19,6%	66,9%	2,6%	69,5%	3	3	4	2	2	4	3	1	94
	RP-LANG1	10010190	1	Cirques au vent (couloir)	M61	2,4%	17,2%	12,0%	58,0%	70,0%	15,7%	0,0%	34,5%	0,0%	49,3%	49,3%	3	3	5	4	5	4	5	1	95
	RP-LANG2	10010180	1	Cirques au vent (couloir)	M61	1,6%	12,0%	15,9%	56,3%	73,8%	8,7%	0,0%	0,0%	0,0%	91,3%	91,3%	3	3	5	4	5	4	5	1	95
PLA2		10610240	2	Cirques sous le vent (couloir)	M62	0,9%	8,2%	24,8%	65,2%	90,0%	0,0%	0,0%	0,0%	55,0%	45,0%	100,0%	5	5	5	5	5	5	5	1	93
MAR3	RP-MARS2	10120170	3	Versants au vent	MP63	0,2%	1,8%	22,7%	75,3%	98,0%	0,0%	0,9%	0,9%	19,5%	79,6%	99,1%	3	3	5	4	5	4	3	1	100
PLU1		10310812	1	Versants au vent	MP63	0,0%	0,0%	7,7%	90,1%	97,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	70,8%	70,8%	5	5	5	5	0	4	5	1	100
PLU2	RP-PLUIES1	10310830	1	Versants au vent	MP63	1,2%	3,4%	4,4%	89,9%	94,3%	0,0%	0,0%	0,0%	23,7%	76,3%	100,0%	4	4	5	2	4	4	5	1	149
ROC2	RP-ROC2	10130460	3	Versants au vent	MP63	0,5%	5,9%	3,2%	90,4%	93,6%	0,0%	5,4%	6,2%	0,0%	93,8%	93,8%	3	3	5	4	5	5	2	1	95
SDE1		10320310	2	Versants au vent	MP63	0,0%	0,0%	3,6%	96,4%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%	98,7%	100,0%	4	4	5	4	5	4	5	2	77
SDE2		10320350	2	Versants au vent	MP63	1,7%	0,0%	2,1%	96,2%	98,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	4	4	5	4	5	4	5	1	92
SSU1		10300215	1	Versants au vent	MP63	0,0%	0,2%	0,0%	99,7%	99,7%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	99,6%	99,6%	3	4	5	4	5	5	5	1	100
	RP-BPAN2	10136550	1	Versants au vent	MP63	0,0%	9,7%	0,0%	90,5%	9,7%	0,0%	0,0%	32,4%	0,0%	67,6%	67,6%	4	4	4	3	4	5	2	1	100
	RP-STJEAN	10300180	2	Versants au vent	MP63	14,6%	64,3%	0,0%	21,1%	21,1%	33,8%	36,0%	66,2%	0,0%	0,0%	0,0%	4	4	5	3	5	5	1	1	98
FJA1		10206130	1	Cirques au vent (réception)	P61	2,2%	18,0%	7,2%	70,0%	77,3%	0,0%	0,0%	21,5%	21,2%	57,3%	78,5%	5	5	5	5	5	5	5	1	100
FJA2		10206180	2	Cirques au vent (réception)	P61	5,1%	28,7%	4,4%	60,9%	65,3%	0,0%	0,0%	22,0%	0,0%	78,0%	78,0%	3	3	4	4	4	4	5	1	97
LAN1		10015225	1	Cirques au vent (réception)	P61	0,0%	0,0%	28,9%	45,3%	74,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	5	5	5	5	5	5	5	1	100
LIA		10215510	1	Cirques au vent (réception)	P61	0,0%	0,0%	4,4%	95,6%	99,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	3	3	5	4	4	5	5	1	100
MAT1		10200110	1	Cirques au vent (réception)	P61	0,0%	3,7%	31,4%	58,8%	90,2%	0,0%	0,0%	43,2%	0,0%	56,8%	56,8%	3	3	5	3	5	4	5	1	100
BEN		10606520	1	Cirques sous le vent (réception)	P62	0,0%	2,6%	6,5%	85,4%	91,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	3	4	5	4	5	4	5	2	72
CIL1		10600170	2	Cirques sous le vent (réception)	P62	4,1%	4,9%	25,7%	61,0%	86,7%	0,0%	0,0%	7,5%	30,5%	62,0%	92,5%	4	4	5	4	5	3	5	1	93
GAL1		10400120	1	Cirques sous le vent (réception)	P62	0,0%	0,0%	20,2%	68,6%	88,8%	0,0%	0,0%	0,0%	11,8%	88,2%	100,0%	3	4	5	4	4	4	5	1	89
GAL2		10400140	1	Cirques sous le vent (réception)	P62	0,0%	4,0%	50,9%	41,0%	91,9%	0,0%	0,0%	0,0%	96,7%	3,3%	100,0%	3	4	5	4	4	4	5	1	89
GAL3		10400180	2	Cirques sous le vent (réception)	P62	1,2%	2,4%	44,0%	50,8%	94,8%	0,0%	0,0%	2,3%	15,7%	82,0%	97,7%	4	4	5	3	4	3	5	1	89
PLA1		10610210	2	Cirques sous le vent (réception)	P62	0,0%	15,5%	12,9%	71,6%	84,5%	0,0%	0,0%	3,8%	1,3%	94,9%	96,2%	5	5	5	5	5	5	5	1	100
	RP-GDBASS	10610210	1	Cirques sous le vent (réception)	P62	0,0%	15,5%	12,9%	71,6%	84,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	5	5	5	5	5	5	5	1	81

Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques.



Mai 2012

Développement de l'Indice Réunion Macroinvertébrés v0 et v1 (IRM)

Maxence Forcellini, Henri Grondin, Chloé Mathieu, Nicolas Péru, Marine Richarson, Pierre Sagnes, Philippe Usseglio-Polatera et Pierre Valade.

Sous la direction scientifique de Sylvie Mérigoux et Jean-Michel Olivier

Convention de recherche et développement. Office de l'eau de la Réunion-CNRS. Programme d'étude et de recherche 2008-2011.

UMR CNRS 5023, Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés

43 Boulevard du 11 Novembre 1918 69622 Villeurbanne Cedex.

Avant-Propos

Cette étude s'est déroulée entre 2008 et 2011. La dernière réunion du Comité de pilotage de l'étude a eu lieu le 30 août 2012. En 2011, un échantillonnage a été réalisé conformément au protocole appliqué les années précédentes dans 40 des 42 stations échantillonnées entre 2008 et 2010.

L'IRM a été appliqué aux données issues de l'échantillonnage réalisé en 2011 l'analyse des résultats a conduit à la mise au point d'une version 1 de l'IRM qui a été appliquée à l'ensemble du jeu de données (2008-2011). Les notes obtenues avec cette version semblent donner des résultats plus en accord avec l'avis des experts locaux. Il a donc été décidé lors du Comité de pilotage du 30 août 2012 de conserver cette version dans le futur.

Afin de faciliter la diffusion de l'ensemble des résultats relatifs à la présente étude, il a été décidé de présenter conjointement les versions V0 et V1 de l'IRM dans ce rapport.

SOMMAIRE

1 DESCRIPTION DES JEUX DE DONNÉES 4

1.1 MACROINVERTÉBRÉS 4

1.2 CHOIX DES STATIONS DE RÉFÉRENCE 4

1.2.1 Pressions physico-chimiques 4

1.2.2 Pressions hydro-morphologiques 5

2 CHOIX DES MÉTRIQUES BIOLOGIQUES 12

2.1 LISTE DES MÉTRIQUES CONSIDÉRÉES 12

2.2 CRITÈRES DE SÉLECTIONS DES MÉTRIQUES 14

2.3 MÉTRIQUES RETENUES 14

2.4 HYPOTHÈSES DU SENS DE VARIATION ATTENDU EN RÉPONSE À UN IMPACT 16

2.5 VARIABILITÉ DES MÉTRIQUES BIOLOGIQUES EN CONDITIONS DE RÉFÉRENCES 17

3 ECART À LA RÉFÉRENCE 19

3.1 PROJECTION DES STATIONS-CAMPAGNES « TEST » SUR L'ACP INTRA-TYPE REF 20

3.2 CALCUL DES ÉCARTS À LA RÉFÉRENCE 21

4 CONSTRUCTION DES CLASSES DE QUALITÉ ET DÉTERMINATION DE LA NOTE FINALE 23

5 RÉSULTATS : NOTES DES STATIONS ÉTUDIÉES 28

6 DISCUSSION 30

7 INTÉGRATION DES DONNÉES COLLECTÉES EN 2011 ET PROPOSITION D'UNE VERSION V1 DE L'IRM (SEPTEMBRE 2012) 32

1 Description des jeux de données

1.1 Macroinvertébrés

Les données de macroinvertébrés proviennent de trois campagnes d'échantillonnage réalisées en période d'étiage en 2008, 2009 et 2010. Au cours de ces campagnes, 42 stations réparties dans 13 bassins versants et 20 rivières ont été échantillonnées. Pour plus de détails sur le protocole d'échantillonnage, se référer au volet « macroinvertébrés benthiques » de ce rapport. Ces 42 stations sont réparties dans 6 types de masses d'eau définies dans l'arrêté du 12 janvier 2010 (JO du 2 février 2010[1]). Des détails sur cette typologie sont donnés en Annexe 12 du volet « macroinvertébrés benthiques » de ce rapport.

1.2 Choix des stations de référence

Le choix des stations de référence a été réalisé sur la base de l'examen des modalités des différents types de pressions (qualité physico-chimique de l'eau, pression hydrologique et modalités d'occupation du sol) au niveau des stations d'échantillonnage. Le détail des données est présenté dans le Tableau 3 du volet « pressions » de ce rapport.

Le choix des stations a été effectué sur la base de l'élimination des stations pour lesquelles une des variables comporte des valeurs déclassantes.

1.2.1 Pressions physico-chimiques

Les classes de qualité 1 et 2 sont considérées comme déclassantes. Trois paramètres comportent des valeurs de classes potentiellement impactantes : la concentration en phosphore, la concentration en matières en suspension et la concentration en pesticides. Les stations potentiellement déclassées par les pressions physico-chimiques sont répertoriées dans le Tableau 1.

[1] Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement, Journal officiel de la République Française, 2 février 2010.

Tableau 1 : Liste des stations déclassées par au moins 1 des paramètres physico-chimiques (en rouge : valeurs estimées), les valeurs surlignées sont les valeurs déclassantes.

Stations	Code Sandre	Mat. Org. et Oxyd.	Mat. Azot. hors NO3	Nitrates	Phosphore	Mat. en susp.	Acidification	Pesticides
EST	10050180	4	4	5	1	5	5	4
SSU2	10300240	4	4	5	1	4	5	2
LAN3	10010150	3	3	4	2	5	5	5
MAT4	10220180	3	3	4	2	2	4	3
REM	10000190	4	3	5	2	5	4	4
PLU2	10310830	4	4	5	2	4	4	5
PLU3	10310890	4	4	5	2	4	4	4
SDE3	10320380	4	4	5	2	5	4	4
SET	10610160	4	4	5	2	5	4	4
SJE2	10300180	4	4	5	3	5	5	1
PAN2	10136250	4	4	4	3	4	5	2
ROC2	10130460	3	3	5	4	5	5	2
ROC3	10130480	3	3	5	4	5	5	2

1.2.2 Pressions hydro-morphologiques

1.2.2.1 Pressions hydrologiques

Une priorité a été mise sur les valeurs de coefficients R de pression hydrologique (*cf.* volet « pressions » de ce rapport), l'altération des débits étant considérée comme un facteur impactant très important. Les stations déclassées par des valeurs de R <60% sont référencées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Liste des 8 stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques déclassées par le paramètre "hydrologie" ; valeur de "R" dans ces stations et classe.

Code station Suivi "macro-inv."	Code_sandre	R	Classe
CIL2	10600180	2,61	5
EST	10050180	7,23	5
MAR2	10120140	2,5	5
PLA3	10610250	3,99	5
ROC1	10135508	55,39	3
SDE3	10320380	4,58	5
SET	10610160	8,42	5
SGI	10510550	32,76	4

1.2.2.2 Occupation du sol

Les paramètres d'occupation du sol pouvant potentiellement avoir un impact sur la qualité des peuplements de macroinvertébrés sont les pourcentages de surfaces urbanisées, de surfaces utilisées pour l'agriculture intensive en amont des stations d'échantillonnage soit à l'échelle du bassin versant, soit à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon. Les valeurs de pourcentage déclassantes pour les paramètres d'occupation du sol sont le pourcentage :

- d'urbanisation à l'échelle du bassin versant en amont de la station : ≥ 15%
- de surface en agriculture intensive à l'échelle du bassin versant en amont de la station ≥ 15%
- d'urbanisation en amont de la station à l'échelle du tronçon ou du sous- tronçon : ≥ 10%
- de surface en agriculture de canne à sucre à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon : ≥ 10%
- de surface en agriculture intensive à l'échelle du tronçon ou du sous- tronçon : ≥ 10%

Les stations potentiellement déclassées sont : FJA1, FJA2, LAN4, MAR4, MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PAN2, PLU3, REM, ROC3, SET, SGI, SJE2, SSU2.

Sur la base de l'examen des paramètres des 3 variables de pression (qualité physicochimique de l'eau, pression hydrologique et modalités d'occupation du sol) au niveau des stations d'échantillonnage, **21 stations de référence** ont été retenues. Les valeurs de coefficient d'abstraction de débit ont été considérées prioritairement pour caractériser les niveaux des impacts à l'échelle de la station. Le détail des données concernant les stations de référence est présenté dans le Tableau 3.

La qualité physico-chimique des stations est généralement bonne (indice compris entre 2 et 5). Trois valeurs sont égales à 2 : le paramètre de qualité pour le phosphore dans les stations LAN3 et PLU2 et le paramètre de qualité pour les pesticides à la station ROC2. Les fortes valeurs de concentration en phosphore observées de manière ponctuelle sont à mettre en relation avec la nature volcanique du substratum de l'Île de La Réunion. Elles ne sont pas associées à de fortes concentrations en nitrates, il est donc très improbable qu'elles induisent

des phénomènes d'eutrophisation durables lorsque les débits sont moyens. Pour cette raison, nous n'avons pas considéré ces valeurs comme déclassantes dans les stations concernées. La valeur concernant les pesticides à la station ROC2 est une valeur estimée (du fait du faible nombre de stations de mesure pour ce paramètre), nous n'avons donc pas considéré cette valeur comme déclassante.

La distribution de ces variables montre que les limites supérieures sont très faibles à l'exception de quelques valeurs (Figure 1 & Figure 2 et Tableau 4).

Tableau 3 : Valeurs des métriques de pressions pour les stations de référence (stations d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques). Sta. : stations, Rg : Rang de Strahler, 1 : % du BV urbanisé, 2 : % du BV en agriculture intensive, 3 : % du BV en zone naturelle, 4 : % du BV en Couverture Forestière, 5 : % du BV en couverture forestière+ zone naturelle, 6 : % d'urbanisation dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur échelle sous-tronçon, 7 : % en agriculture intensive de canne à sucre dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur échelle sous-tronçon, 8 : % en agriculture intensive dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon, 9 : % en zone naturelle dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon, 10 : % en couverture forestière dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur échelle sous-tronçon, 11 : % en zone naturelle et couverture forestière dans une zone de 100m de part et d'autre du lit mineur échelle sous-tronçon, 12 : classe de qualité pour les matières organiques et oxydables, 13 : classe de qualité pour les matières azotées hors nitrates, 14 : classe de qualité pour les nitrates, 15 : classe de qualité pour les matières phosphorées, 16 : classe de qualité pour les taux de matières en suspension, 17 : classe de qualité pour l'acidification, 18 : classe de qualité pour les micropolluants, 19 : classe d'impact hydrologique, 20 : R= débit mesuré / débit théorique sans prélèvement. Les valeurs surlignées en bleu sont des valeurs supérieures aux valeurs inférieures des limites de déclassement.

Sta.	Type	Rg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BEN	P62	1	0,01%	2,62%	6,53%	85,37%	91,90%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	3	4	5	4	5	4	5	2	72,09
CIL1	P62	2	4,08%	4,86%	25,67%	61,05%	86,72%	0,00%	0,00%	7,48%	30,54%	61,97%	92,52%	4	4	5	4	5	3	5	1	93,1
FJA1	P61	1	2,21%	18,03%	7,22%	70,04%	77,26%	0,00%	0,00%	21,50%	21,24%	57,25%	78,50%	5	5	5	5	5	5	5	1	100
FJA2	P61	2	5,06%	28,66%	4,43%	60,87%	65,30%	0,02%	0,00%	22,03%	0,00%	77,96%	77,96%	3	3	4	4	4	4	5	1	96,8
GAL1	P62	1	0,00%	0,00%	20,18%	68,60%	88,78%	0,00%	0,00%	0,00%	11,77%	88,23%	100,00%	3	4	5	4	4	4	5	1	89,08
GAL2	P62	1	0,00%	3,98%	50,91%	40,98%	91,89%	0,00%	0,00%	0,00%	96,71%	3,29%	100,00%	3	4	5	4	4	4	5	1	89,08
GAL3	P62	2	1,19%	2,43%	43,96%	50,81%	94,77%	0,00%	0,00%	2,30%	15,74%	81,95%	97,70%	4	4	5	3	4	3	5	1	89,08
LAN1	P61	1	0,00%	0,00%	28,88%	45,27%	74,15%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	5	5	5	5	5	5	5	1	100
LAN3	M61	1	1,23%	9,22%	17,65%	56,10%	73,76%	6,71%	0,00%	0,00%	0,00%	93,29%	93,29%	3	3	4	2	5	5	5	1	100
LAN4	M61	1	2,16%	17,31%	12,04%	58,07%	70,10%	7,13%	0,04%	34,27%	0,00%	58,60%	58,60%	3	3	5	4	5	4	5	1	94,78
LIA	P61	1	0,00%	0,00%	4,37%	95,56%	99,93%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	3	3	5	4	4	5	5	1	100
MAR3	MP63	3	0,20%	1,77%	22,67%	75,35%	98,02%	0,00%	0,90%	0,90%	19,47%	79,63%	99,10%	3	3	5	4	5	4	3	1	100
MAT1	P61	1	0,00%	3,70%	31,36%	58,80%	90,16%	0,00%	0,00%	43,17%	0,00%	56,83%	56,83%	3	3	5	3	5	4	5	1	100
PLA1	P62	2	0,00%	15,53%	12,88%	71,58%	84,47%	0,00%	0,00%	3,83%	1,27%	94,90%	96,17%	5	5	5	5	5	5	5	1	100
PLA2	M62	2	0,89%	8,16%	24,82%	65,20%	90,03%	0,00%	0,00%	0,00%	54,96%	45,04%	100,00%	5	5	5	5	5	5	5	1	92,82
PLU1	MP63	1	0,00%	0,00%	7,69%	90,09%	97,78%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	70,80%	70,80%	5	5	5	5	0	4	5	1	100
PLU2	MP63	1	1,19%	3,37%	4,39%	89,90%	94,29%	0,00%	0,00%	0,00%	23,75%	76,25%	100,00%	4	4	5	2	4	4	5	1	148,61
ROC2	MP63	3	0,49%	5,92%	3,22%	90,37%	93,59%	0,00%	5,38%	6,25%	0,00%	93,75%	93,75%	3	3	5	4	5	5	2	1	95,02
SDE1	MP63	2	0,00%	0,00%	3,60%	96,40%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,33%	98,67%	100,00%	4	4	5	4	5	4	5	2	77,1
SDE2	MP63	2	1,69%	0,00%	2,07%	96,25%	98,32%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	4	4	5	4	5	4	5	1	92,11
SSU1	MP63	1	0,00%	0,24%	0,00%	99,71%	99,71%	0,00%	0,00%	0,42%	0,00%	99,58%	99,58%	3	4	5	4	5	5	5	1	100

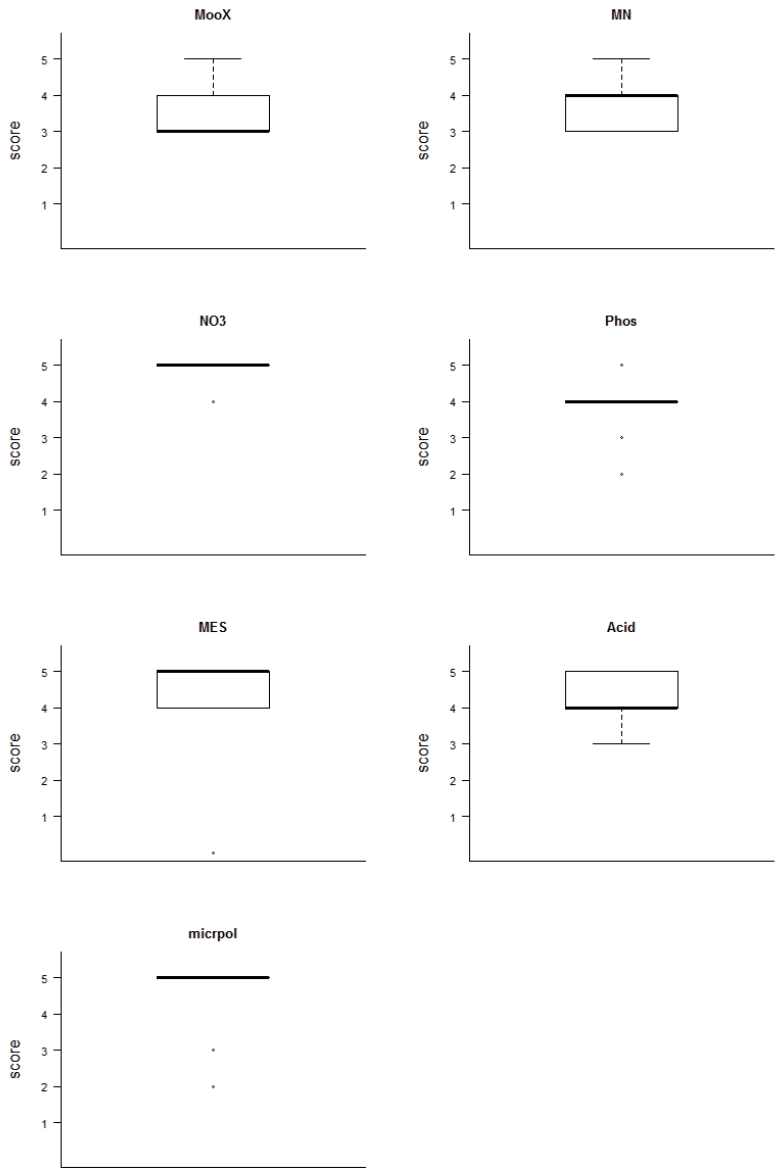


Figure 1 : Distribution des valeurs des métriques de physico-chimie dans les stations de référence « macroinvertébrés ». Avec MooX : matière organique et oxydable ; MN : matière azotée hors nitrates ; NO3 : nitrates ; Phos : Phosphore ; MES : matière en suspension ; Acid : acidification ; micrpol : micropolluant.

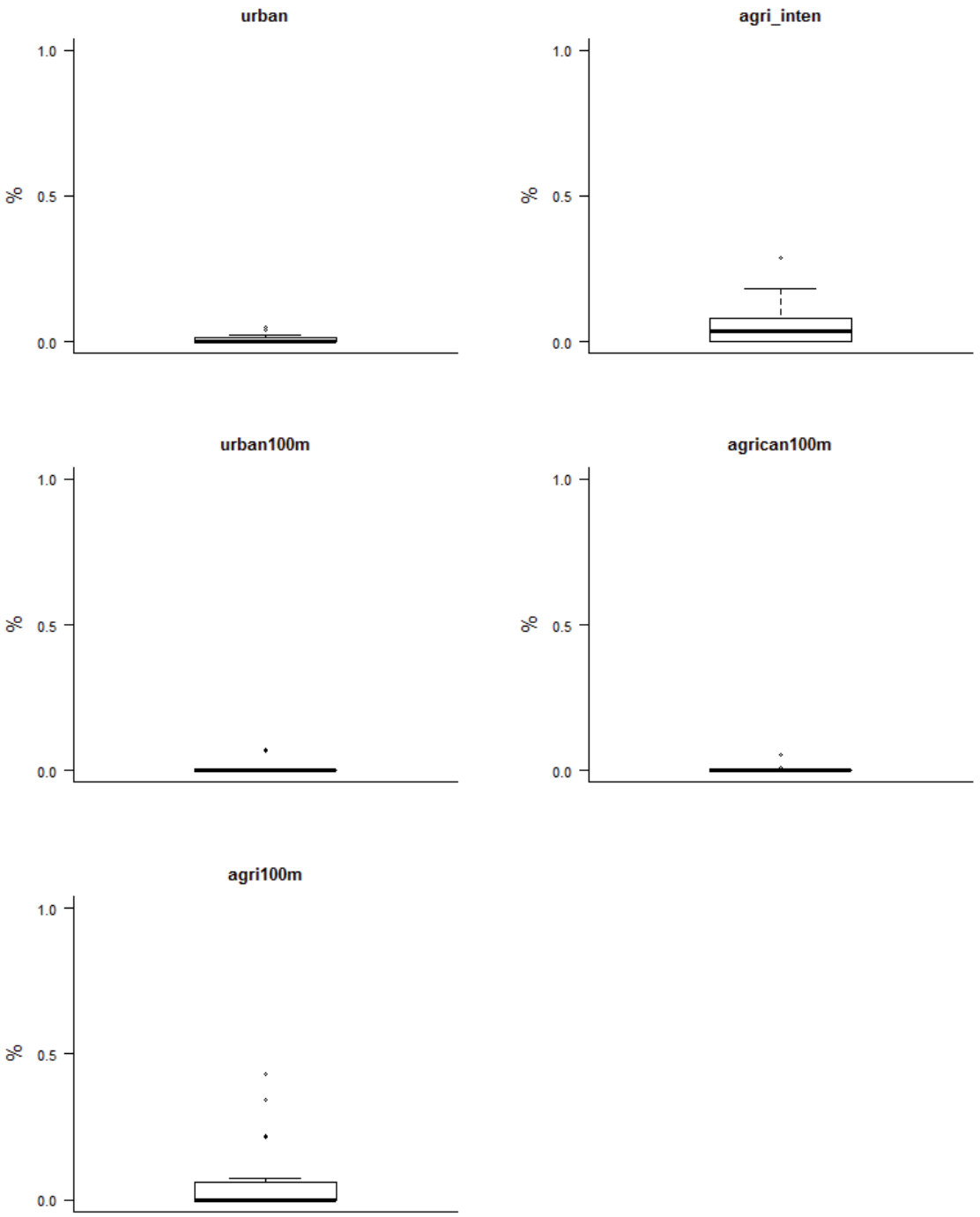


Figure 2 : Distribution des valeurs des métriques d'occupation du sol dans les stations de référence « macroinvertébrés ». Avec urban : % du BV urbanisé ; agri_inten : % du BV en agriculture intensive ; urban100m : % d'urbanisation dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon ; agrican100m : % en agriculture intensive de canne à sucre dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon ; agri100m : % en agriculture intensive dans une zone de 100m de part et d'autre du lit min échelle sous-tronçon.

Parmi les 21 stations de référence sélectionnées, 5 (FJA1, FAJ2, LAN4, MAT1, PLA1) présentent des caractéristiques d'occupation du sol et notamment des pourcentages de surfaces en agriculture intensive qui pourraient être déclassants. Une analyse détaillée (Tableau 4) des modalités d'occupation du sol montre que les impacts induits par ces activités sont probablement **très limités** sur ces stations.

Ces modalités pour les 5 stations concernées sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Détails des modalités d'occupation du sol pour la variable agriculture intensive (à l'échelle du bassin versant et à l'échelle du sous-tronçon) pour les 5 stations pour lesquelles les pourcentages associés à cette variable sont relativement élevés. Territoires agro-forestiers : La nomenclature CLC-Dom précise qu'il s'agit de cultures annuelles ou pâturage sous couvert arboré.

Stations	Pourcentage en agriculture intensive échelle du BV	Pourcentage en agriculture intensive échelle du sous-tronçon
FJA1	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants Territoires agro-forestiers Systèmes culturaux et parcellaires complexes	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants Territoires agro-forestiers
FJA2	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants Territoires agro-forestiers Systèmes culturaux et parcellaires complexes	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
LAN4	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants Systèmes culturaux et parcellaires complexes Canne à sucre (6,8%) Prairie	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
MAT1		Territoires agro-forestiers
PLA1	Prairie	

Nous avons donc identifié 21 stations de référence parmi les 42 stations échantillonnées, les 21 autres stations étant des stations dites « test » (Tableau 5).

Tableau 5 : Statut des 42 stations d'échantillonnage de macroinvertébrés. En bleu les stations de référence.

BASSIN-VERSANT	RIVIERE	Code station	Code Sandre	Altitude	Lieu	Intitulé Hydroécorégion	Type de ME	Statut
Rivière St-Denis	Rivière St-Denis	**SDE1**	10320310	260	Ilet à Guillaume	Versant au vent	MP63	ref
	Rivière St-Denis	**SDE2**	10320350	70	En amont du captage AEP	Versant au vent	MP63	ref
	Rivière St-Denis	**SDE3**	10320380	20	Bas de la Rivière	Versant au vent	MP63	test
Rivière des Pluies	Rivière des Pluies	**PLU1**	10310812	385	Amont tunnel	Versant au vent	MP63	ref
	Rivière des Pluies	**PLU2**	10310830	140	Ilet Quinquina	Versant au vent	MP63	ref
	Rivière des Pluies	**PLU3**	10310890	25	Embouchure/Gillot	Versant au vent	MP63	test
Rivière Ste-Suzanne	Rivière Ste-Suzanne	**SSU1**	10300215	730	Amont pont route des hauts	Versant au vent	MP63	ref
	Rivière Ste-Suzanne	**SSU2**	10300240	150	Amont cascade Niagara	Versant au vent	MP63	test
Grande Riviere St-Jean	Grande Riviere St-Jean	**SJE1**	10300110	312	Bras des chevrettes	Versant au vent	MP63	test
	Grande Riviere St-Jean	**SJE2**	10300180	6	Quartier français	Versant au vent	MP63	test
Rivière du Mât	Bras des Lianes	**LIA**	10215510	666	Amont captage AEP	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	P61	ref
	Fleurs Jaunes	**FJA1**	10206130	670	Mare à vieille place	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	P61	ref
	Fleurs Jaunes	**FJA2**	10206180	350	Bois de Pomme	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	P61	ref
	Rivière du Mât	**MAT1**	10200110	670	Ilet à Vidot	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	P61	ref
	Rivière du Mât	**MAT2**	10200180	425	Ilet Bananier	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	P61	test
	Rivière du Mât	**MAT3**	10200190	250	"Escalier"	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	P61	test
	Rivière du Mât	**MAT4**	10220180	30	Embouchure	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	M61	test
Rivière des Roches	Rivière des Roches	**ROC1**	10135508	160	Abondance	Versant au vent	MP63	test
	Rivière des Roches	**ROC2**	10130460	12	Mon désir	Versant au vent	MP63	ref
	Rivière des Roches	**ROC3**	10130480	5	Radier beauvallon	Versant au vent	MP63	test
	Bras Panon	**PAN2**	10136250	40	Bras pétard	Versant au vent	MP63	test
Rivière des Marsouins	Rivière des Marsouins	**MAR2**	10120140	560	Takamaka	Versant au vent	MP63	test
	Rivière des Marsouins	**MAR3**	10120170	60	Bethléem	Versant au vent	MP63	ref
	Rivière des Marsouins	**MAR4**	10120180	5	St-Benoît	Versant au vent	MP63	test
Rivière de l'Est	Rivière de l'Est	**EST**	10050180	150	Amont aval pont	Versant au vent	MP63	test
Rivière Langevin	Rivière Langevin	**LAN1**	10015225	685	Cap Blanc	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	P61	ref
	Rivière Langevin	**LAN2**	10010140	430	Cascade Grand Galet	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	P61	test
	Rivière Langevin	**LAN3**	10010150	270	Passerelle	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	M61	ref
	Rivière Langevin	**LAN4**	10010185	40	Langevin	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	M61	ref
Rivière des Remparts	Rivière des Remparts	**REM**	10000190	10	L'Abattoir	Cirques au vent (Cirques sud et est au vent)	M61	test
Rivière St-Etienne	Bras de Benjoin	**BEN**	10606520	1050	Amont du rejet	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	P62	ref
	Grand bras de Cilaos	**CIL1**	10600170	370	Pavillon	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	P62	ref
	Grand bras de Cilaos	**CIL2**	10600180	200	Ilet Furcy	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	M62	test
	Bras de Ste-Suzanne	**PLA1**	10610210	600	Grand Bassin	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	P62	ref
	Bras de la Plaine	**PLA2**	10610240	420	Amont barrage	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	M62	ref
	Bras de la Plaine	**PLA3**	10610250	350	Petite ravine	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	M62	test
	Rivière St-Etienne	**SET**	10610160	40	Embouchure Pont RN	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	M62	test
Ravine St-Gilles	Ravine St-Gilles	**SGI**	10510550	40	Verrou	Versant sous le vent (Versant sud-ouest secs)	MP64	test
Rivière des Galets	Rivière des Galets	**GAL1**	10400120	1400	Marlat	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	P62	ref
	Rivière des Galets	**GAL2**	10400140	1200	Trois roches	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	P62	ref
	Rivière des Galets	**GAL3**	10400180	300	Amont de la prise ILO	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	P62	ref
	Rivière des Galets	**GAL4**	10410150	120	Ilet malidé	Cirques sous le vents (Cirques sud-ouest sous le vent)	M62	test
Total	**20**	**42**						

A noter que le **type de masses d'eau P62** (petits cours d'eau des cirques sous le vent) **ne possède pas de station « test »** et que le **type MP64** (cours d'eau des versants sous le vent) **ne possède pas de station de référence**. De plus, le type MP63 présente le nombre maximum de stations de référence (n=7) et de stations « test » (n=12) (Tableau 6).

Tableau 6 : Nombre de stations de référence et de stations « test » dans chacun des 6 types de masses d'eau de l'arrêté du 12 janvier 2010.

code	type	ref	test
M61	Cirques au vent (couloir)	2	2
M62	Cirques sous le vent (couloir)	1	4
MP63	Versants au vent	7	11
MP64	Versants sous le vent	0	1
P61	Cirques au vent (réception)	5	3
P62	Cirques sous le vent (réception)	6	0

2 Choix des métriques biologiques

2.1 Liste des métriques considérées

Le choix des métriques biologiques est une étape essentielle dans le cadre du développement d'un indice biotique. Des **hypothèses claires doivent être notamment**

posées quant aux variations des valeurs des métriques face à un impact anthropique potentiel. Aussi, un ensemble de métriques a été considéré dans un premier temps. Des critères de sélection ont ensuite été mis en place pour ne garder que les métriques pertinentes dans le contexte des macroinvertébrés de l'île de La Réunion. Un total de **47 métriques** a donc été testé pour le développement de l' Indice Réunion Macroinvertébrés (IRM). Il s'agit de **la richesse totale en taxons** ainsi que **la densité** (nindiv/m^2) **et la richesse** (n taxons) **de 23 catégories de traits biologiques ou écologiques (46 métriques)**. Ces caractéristiques biologiques et écologiques proviennent de données de la littérature et de travaux récents notamment sur les régimes alimentaires des taxons de l'île de La Réunion synthétisés dans la nouvelle version de l'Atlas des Macroinvertébrés des eaux douces de l'île de la Réunion (Forcellini *et al*., 2012[2]). Ces métriques sont listées ci-dessous :

Préférences hydrauliques :
1. limnophiles
2. rhéophiles
3. ubiquistes

Comportements alimentaires :
4. brouteurs
5. broyeurs
6. collecteurs
7. filtreurs avec construction de filets
8. filtreurs (total)
9. perceurs
10. prédateurs

Régimes alimentaires :
11. détritus/algues
12. généralistes
13. généraliste, dominance microphytes
14. invertébrés vivants
15. contenu cytoplasmique

Modes de locomotion :
16. fixés
17. fouisseurs
18. marcheurs
19. nageurs
20. rampants

Modes de respiration :
21. aérienne
22. branchies
23. tégument

[2] Forcellini M., Mathieu C. & Mérigoux S. 2012. Atlas des Macroinvertébrés des eaux douces de l'île de la Réunion. 129 pp.

2.2 Critères de sélections des métriques

Les métriques qui présentaient des valeurs de faible amplitude dans chacun des différents types de masses d'eau ont été supprimées des analyses.

De même, les métriques redondantes (corrélations > 0,8) (Figure 3), et/ou pour lesquelles il n'existait aucune hypothèse claire sur le sens de variation de leurs valeurs en réponse à un impact potentiel ont été supprimées.

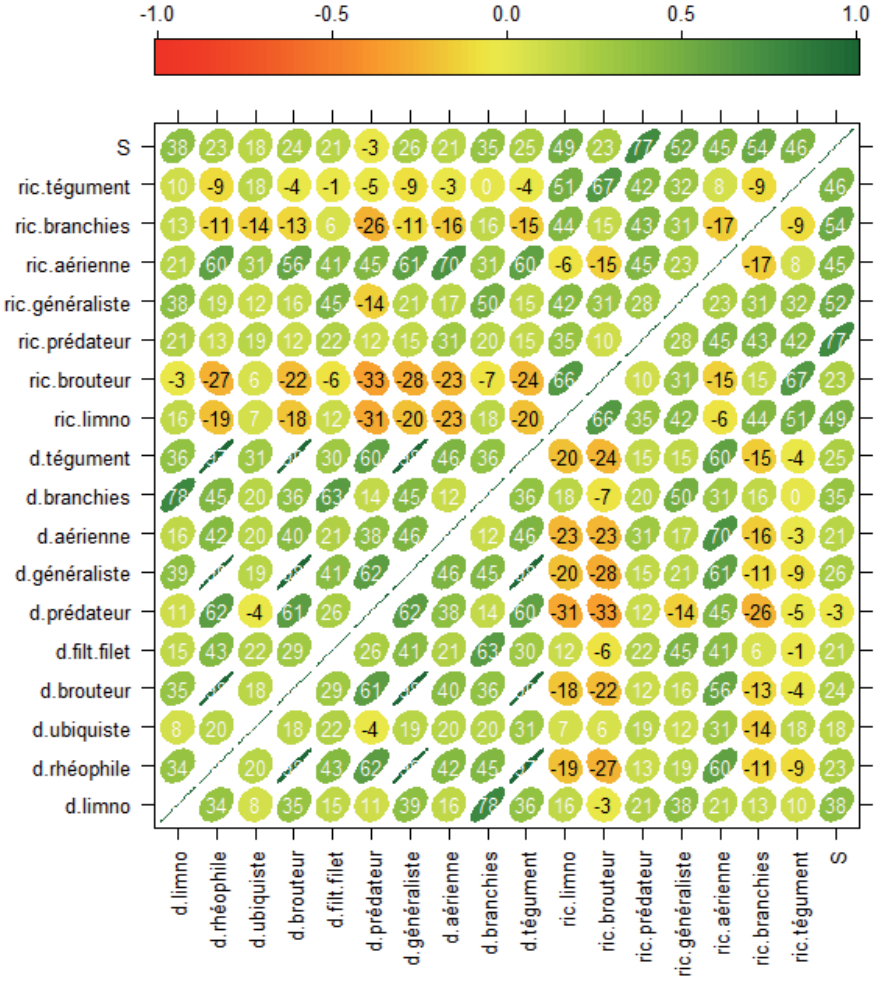


Figure 3 : Corrélogramme des valeurs des métriques (normées au préalable) retenues dans les sites de référence. Pour chaque corrélation, la forme du patch est de plus en plus elliptique lorsque la corrélation tend vers 1 ou -1. Le code couleur, indiqué par une barre au dessus de la figure, permet de distinguer rapidement les corrélations positives (en vert) ou négatives (en rouge). Le coefficient de corrélation de Pearson est indiqué (pourcentage).

2.3 Métriques retenues

Finalement, nous avons retenu un total de **8 métriques** pour le développement de l'IRM.

- 3 métriques relatives aux contraintes hydrauliques :

- Densité des taxons limnophiles

- Densité des taxons rhéophiles
- Densité des taxons ubiquistes

- 2 métriques relatives aux comportements ou aux régimes alimentaires :

- Densité des filtreurs (avec construction de filet)
- Densité des généralistes

- 3 métriques de richesse taxonomique :

- Richesse en taxons limnophiles
- Richesse en taxons à respiration tégumentaire
- Richesse taxonomique totale

Les 29 taxons impliqués dans ces métriques sont listés dans les Tableaux 7 et 8.

Tableau 7 : Codes des taxons impliqués dans les métriques retenues pour le développement de l'IRM (Cf. Tableau 8 pour le détail des codes taxons).

Préférences hydrauliques			Comportements/régimes alimentaires		Respiration tégumentaire
Limnophiles	Rhéophiles	Ubiquistes	Généralistes	Filtreur (filet)	
AROD	FMOD	BWEB	HMOK	HMOK	AROD
EOSP	HMOK	CHSP	HSTA		BWEB
HDUR	HSTA	CLIN	LCOL		CBET
HEME	ORTH	DASP	LNAT		CHSP
HGRU	SIMU	DUSP	LTRU		DASP
HKIE		LIMNsp1	NCOL		DUSP
LCOL		NCOL	ORTH		FMOD
LNAT		SBOR	PACU		HDUR
LTRU			SIMU		HEUR
PACU			TANY		LCOL
TANY			TASP		LNAT
TASP					LTRU
TSCA					OESP
					ORTH
					PACU
					TANY
					TASP

Tableau 8 : Niveau systématique de chacun des taxons impliqués dans les 8 métriques retenues dans l'IRM.

E/C/O/F				Taxon	Code
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Planorbidae	*Afrogyrus rodriguezensis*	AROD
Annelida	Hirudinea	Arhynchobdellida	Salifidae	*Barbronia weberi*	BWEB
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Philopotamidae	*Chimarra bettinae*	CBET
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	Chironomini	CHSP
Arthropoda	Insecta	Diptera	Empididae	Clinocerinae	CLIN
Arthropoda	Insecta	Diptera	Ceratopogonidae	*Dasyhelea* sp.	DASP
Plathelminthe	Turbellaria	Tricladida	Dugesiidae	*Dugesia* sp.	DUSP
Arthropoda	Insecta	Lepidoptera	Crambidae	*Eoophyla* sp.	EOSP
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Ferrissiidae	*Ferrissia modesta*	FMOD
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Planorbidae	*Helisoma duryi*	HDUR
Arthropoda	Insecta	Diptera	Empididae	Hemerodromiinae	HEME
Annelida	Hirudinea	Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	*Helobdella europaea*	HEUR
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	*Hydroptila grucheti*	HGRU
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	*Hydroptila kieneri*	HKIE
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydropsychidae	*Hydropsyche mokaensis*	HMOK
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Hydroptilidae	*Hydroptila starmüehlneri*	HSTA
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Lymnaeidae	*Lymnaea columella*	LCOL
Arthropoda	Insecta	Diptera	Muscidae	*Limnophora* sp.1	LIMNsp1
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Lymnaeidae	*Lymnaea natalensis*	LNAT
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Lymnaeidae	*Lymnaea truncatula*	LTRU
Arthropoda	Insecta	Ephemeroptera	Baetidae	*Nigrobaetis colonus*	NCOL
Arthropoda	Insecta	Trichoptera	Leptoceridae	*Oecetis* sp.	OESP
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	Orthocladiinae	ORTH
Mollusca	Gastropoda	Pulmonata	Physidae	*Physella acuta*	PACU
Mollusca	Gastropoda	Neritopsina	Neritidae	*Septaria borbonica*	SBOR
Arthropoda	Insecta	Diptera	Simuliidae	Simuliidae	SIMU
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	Tanypodinae	TANY
Arthropoda	Insecta	Diptera	Chironomidae	Tanytarsini	TASP
Mollusca	Gastropoda	Sorbeoconcha	Thiaridae	*Thiara scabra*	TSCA

2.4 Hypothèses du sens de variation attendu en réponse à un impact

- Densité des taxons limnophiles : la densité devrait augmenter suite à une diminution du débit et donc des contraintes hydrauliques. Par contre, des variations importantes fréquentes de débit (e.g. régime d'éclusées) devraient entrainer une diminution de la valeur de cette métrique.
- Densité des taxons rhéophiles : la densité devrait diminuer suite à une abstraction de débit. Pas de réponse attendue aux variations journalières de débit.
- Densité des taxons ubiquistes : la densité devrait augmenter suite à des modifications de débit (abstraction ou variations fréquentes journalières).
- Densité des filtreurs (avec construction de filet) : la densité devrait diminuer en réponse à des modifications de débit (notamment abstraction d'eau).
- Densité des taxons à régime alimentaire généraliste : la densité devrait augmenter en réponse à des modifications de la qualité trophique du milieu.

- Richesse en taxons limnophiles : la richesse devrait augmenter suite à une diminution du débit et donc des contraintes hydrauliques. Par contre, des variations de débit (régime d'éclusées) devraient entrainer une diminution de cette métrique.
- Richesse en taxons à respiration tégumentaire : la richesse devrait diminuer en milieu appauvri en oxygène (e.g. présence importante d'algues filamenteuses, réduction de débit).
- Richesse taxonomique totale : la richesse devrait diminuer suite à une réduction de la diversité d'habitats (e.g. endiguement, réduction de débit).

2.5 Variabilité des métriques biologiques en conditions de références

L'approche par condition de référence nécessite une évaluation de la variabilité des métriques dans les stations de référence pour chaque type. Le moyen le plus simple pour visualiser globalement cette variabilité reste l'ACP (normée dans ce cas, puisque il y a à la fois des métriques de densité et des métriques de richesse). Cette ACP illustre la variabilité intra-types des valeurs observées des 8 métriques retenues dans les stations-campagnes de référence. L'ACP, appelée « ACP-intra-types ref. » dans la suite du rapport, révèle une forte variabilité intra-types (Figure 4). La plus forte variabilité est observée pour le type P62 (« Cirque sous le vent, réception ») dans lequel on distingue deux groupes de stations : CIL1, GAL2 et GAL1 d'une part, et PLA1, BEN et GAL3 d'autre part, PLA1 et BEN présentant notamment une grande diversité taxonomique (Figure 5).

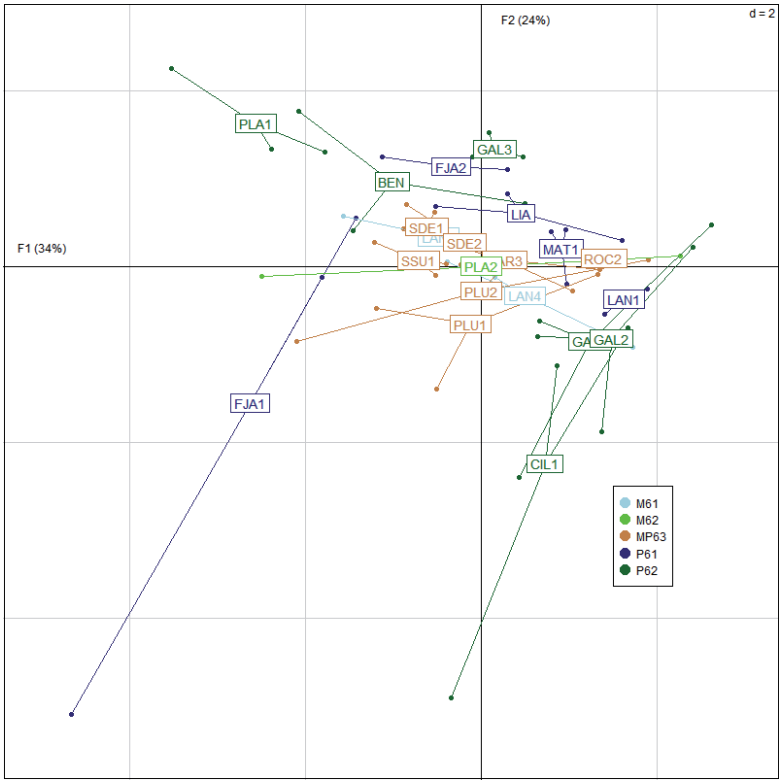


Figure 4 : Premier plan factoriel de l'ACP intra-types ref. Chaque point correspond à une station-campagne de référence. Chaque station est positionnée au barycentre des stations-campagnes. Les couleurs regroupent les stations selon leur type de masses d'eau.

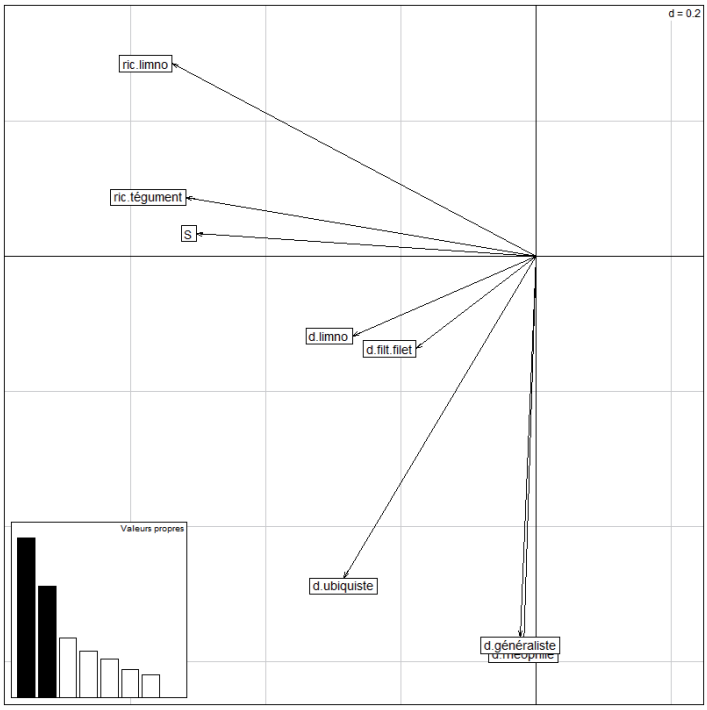


Figure 5 : Premier plan factoriel de l'ACP intra-types ref des 8 métriques retenues. Avec ric. : richesse, d : densité et S : richesse taxonomique totale.

3 Ecart à la référence

L'approche DCE compatible impose une comparaison des stations « test » à une référence. Une **valeur de référence** doit donc être définie pour **chaque métrique biologique** et pour **chacun des types de masses d'eau**. De manière générale, les outils de bioindication se basent sur la moyenne des valeurs observées (Bonada *et al*., 2006[3]) au sein d'un type de masses d'eau. Dans le contexte des métriques « macroinvertébrés » de l'île de La Réunion, ce calcul de la moyenne serait inadapté vu la variabilité importante observée au sein de chaque type en conditions de référence (Figure 4). Cette variabilité, en plus du faible nombre de stations, impose d'essayer de conserver le maximum de valeurs de référence possible afin 1) d'exprimer au mieux la variabilité en conditions de référence et 2) d'avoir un nombre de valeurs statistiquement suffisant. Le choix a donc été fait de conserver les valeurs des métriques pour toutes les stations-campagnes de tous les types. Ainsi, pour une valeur d'une métrique donnée d'une station-campagne « test » donnée, on calculera les écarts de cette valeur à chacune des stations-campagnes de référence du type correspondant. Par exemple, une valeur d'une métrique

[3] Bonada, N., N. Prat, V. H. Resh, and B. Statzner. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approach. Annual Review of Entomology **51**: 495-523.

donnée d'une station-campagne « test » dans le type P61, sera comparée à 15 valeurs correspondant aux 15 stations-campagnes de référence de ce type (5 stations * 3 années).

3.1 Projection des stations-campagnes « test » sur l'ACP intra-type ref

La projection des stations « test » sur le premier plan factoriel de l'ACP « ref .» présente une première illustration de l'importance des écarts entre stations « test » et stations de référence suivant le type de masses d'eau considéré (Figure 6). Ces écarts sont par exemple importants pour le type M62 (cours d'eau moyens des cirques sous le vent) mais sont plus faibles pour le type P61 (petits cours d'eau des cirques au vent).

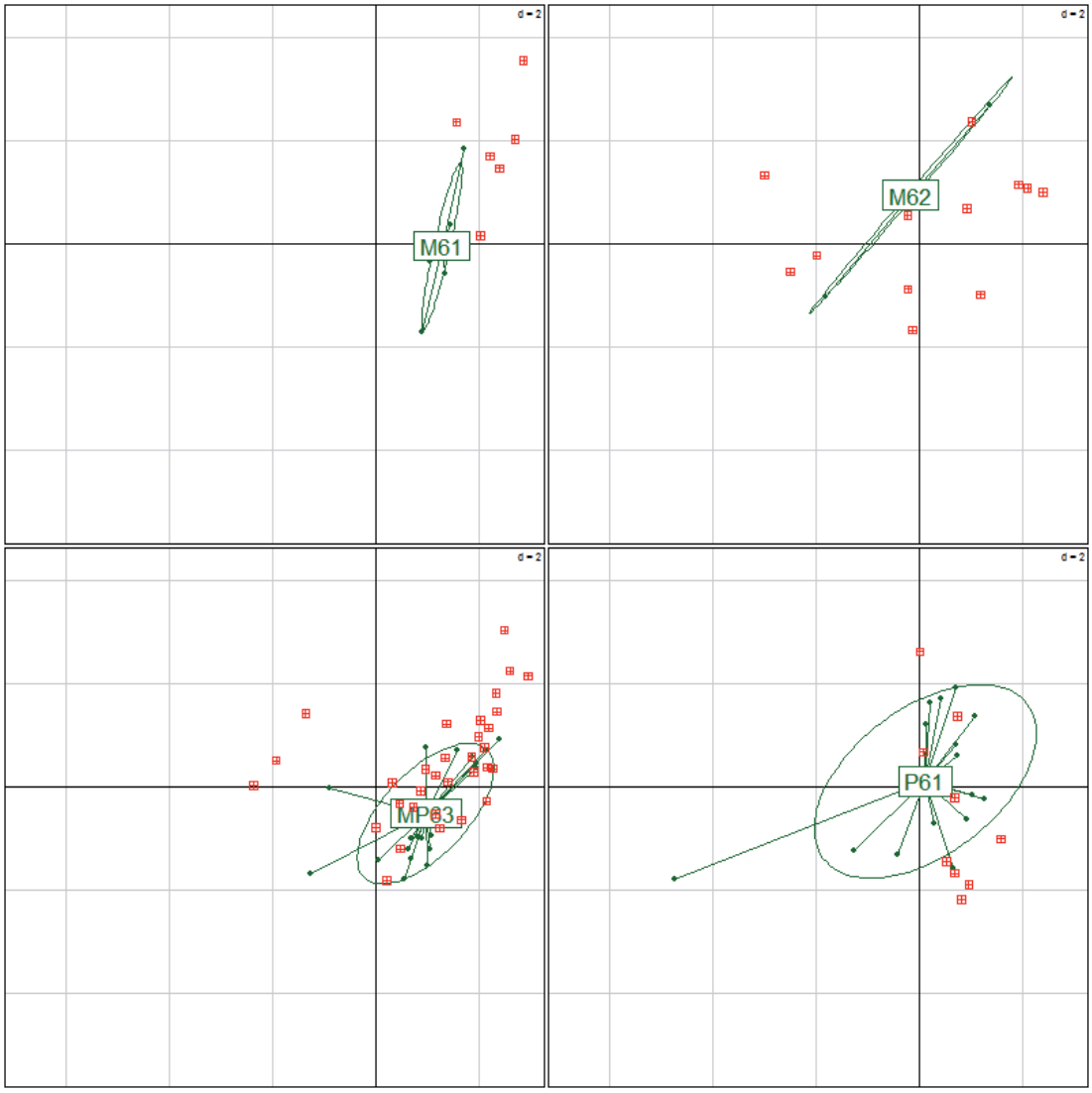


Figure 6 : Projection en individus supplémentaires des stations-campagnes « test » (carrés rouges) sur le premier plan factoriel de l'ACP ref. La distribution des valeurs de référence est représentée par une ellipse illustrant la variabilité au sein de chaque type. Les deux types P62 et MP64 ne sont pas représentés (pas de station « test » ou de référence, Tableau 6).

3.2 Calcul des écarts à la référence

Dans la définition des écarts à la référence, il est important de pouvoir distinguer des écarts dus à une simple variabilité naturelle des communautés (faibles impacts anthropiques) de ceux provenant d'une modification du milieu d'origine anthropique. Au sein d'un type donné, la variabilité des conditions de référence (exprimant en grande partie la variabilité naturelle des communautés) d'une métrique donnée est quantifiée par les distances Euclidiennes entre stations-campagnes de référence. A partir de la matrice de ces distances, le coefficient de distance maximale est calculé selon un algorithme (Rao 1982[4], Chessel *et al.* 2004[5]) qui vise à estimer la distance maximale théorique que l'on pourrait obtenir selon la distribution observée des distances. Cette démarche est à rapprocher des estimateurs de richesse établis à partir des courbes de saturation (Magurran, 2004)[6]. On notera que l'algorithme conduit quasiment toujours à une valeur maximale estimée très importante (Péru, 2010[7]), toujours très supérieur à l'écart maximal observé entre stations de référence (Tableau 9).

Tableau 9 : Valeurs du coefficient de distance maximale théorique (colonnes divcmax) et de l'écart maximal observé entre stations-campagnes de référence (colonnes Obs.) pour chaque métrique de l'IRM dans chaque type de masses d'eau. Avec d : densité, ric. : richesse et S : richesse taxonomique totale.

	M61		**M62**		**MP63**		**P61**		**P62**	
	divcmax	Obs.	divcmax	Obs.	divcmax	Obs.	divcmax	Obs.	divcmax	Obs.
d.limno	10100	201	1.9E+05	863	3.6E+06	3792	1.61E+05	802	1.07E+06	2072
d.rhéophile	60762	493	1.0E+06	2035	3.2E+06	3554	7.41E+06	5444	5.15E+07	14347
d.ubiquiste	15625	250	361	38	5256	145	2.87E+06	3389	8100	180
d.filt.filet	57121	478	1.7E+05	829	1.7E+05	827	2.05E+05	906	4.34E+05	1318
d.prédateur	11556	215	1332	73	6972	167	676	52	37249	386
d.généraliste	63252	503	1.3E+06	2293	3.5E+06	3742	8.38E+06	5788	5.48E+07	14799
d.branchies	32580	361	2.1E+05	918	2.6E+06	3224	9.05E+05	1903	2.42E+06	3110
ric.limno	6	5	4	4	6	5	4	4	16	8
ric.brouteur	1	2	4	4	6	5	9	6	9	6
ric.prédateur	4	4	1	2	9	6	6	5	16	8
ric.tégument	2	3	9	6	6	5	12	7	16	8
S	25	10	20	9	42	13	20	9	36	12

L'écart à la référence pour une métrique donnée d'une station-campagne « test » donnée, est ensuite quantifié par les distances Euclidiennes de cette station-campagne « test » aux stations-campagnes de référence.

[4] Rao, C.R. 1982 Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. Theoretical Population Biology, 21 : 24–43.

[5] Chessel, D., A. B. Dufour, and J. Thioulouse. 2004. The ade4 package - {I}: one-table methods. R News 4:5-10.

[6] Magurran A.E. (2004) Measuring biological diversity. Blackwell Science (Ltd). 209p.

[7] Péru, N. 2010. Apport des traits biologiques dans la caractérisation de la diversité fonctionnelle des écosystèmes lotiques en situation de référence. Thèse. Lyon 1, Villeurbanne.

Les écarts à la référence ont été standardisés en les divisant par le coefficient de distance maximale. Cette standardisation permet de fournir une échelle des écarts commune pour tous les types et toutes les métriques et faciliter la définition des échelles de qualité. Le score standardisé (e_{ik}, ci-dessous) exprime le pourcentage de différence observé entre une station-campagne « test » et ses stations-campagnes de référence par rapport à la différence maximale que l'on pourrait attendre au regard de la variabilité naturelle. Cet écart devrait être généralement compris dans l'intervalle [0,1] mais peut s'en écarter dans les situations nettement éloignées des conditions de référence. Du fait de la valeur élevée prise par le coefficient de distance maximale, il a été décidé de prendre la racine carrée de l'écart afin d'avoir une meilleure utilisation de l'intervalle [0,1]. Cependant, ceci a pour conséquence de réduire la valeur des écarts >1. Ceci sera pris en compte lors de la construction des classes de qualité.

$$e_{ik} = \sqrt{\frac{\mathrm{d_{Euclid}}\ (\mathrm{REF}_{jl}, \mathrm{TEST}_{ik})}{\mathrm{divc_{max}}(\mathrm{d_{Euclid}}\ (\mathrm{REF}))}}$$

avec, e_{ik} : l'écart à la référence de la station test i lors de la campagne k ; REF_{jl} : la valeur pour la station de référence j de la campagne l et $\mathrm{divc_{max}}(\mathrm{d_{Euclid}}\ (\mathrm{REF}))$: le coefficient de distance maximale entre stations de référence.

Une distance étant sans signe par définition, nous avons conservé le signe de la différence :

$$sgn(e_{ik}) = REF - TEST$$

Avec REF et TEST, les valeurs brutes des métriques pour les stations-campagnes de référence et la station-campagne « test » respectivement.

Par ce mode de calcul, il y a deux possibilités quant à l'interprétation des valeurs des e_{ik} (qui varie donc après cette conservation du signe de -∞ à +∞) :

- la **réponse de la métrique** est supposée **croissante** (d'après les hypothèses du sens de variations des métriques à un impact) : la pression est supposée induire une augmentation de la valeur de la métrique. Dans ce cas, les **impacts devraient être mesurés par des** $e_{ik}<0$ et dont la valeur absolue est d'autant plus forte que l'on s'écarte de la situation de référence.
- la **réponse de la métrique** est supposée **décroissante**

- (d'après les hypothèses du sens de variations des métriques à un impact) : la pression induit une réduction de la valeur de la métrique. Dans ce cas, les **impacts devraient être mesurés par** $e_{ik}>0$ et dont la valeur absolue est d'autant plus forte que l'on s'écarte de la situation de référence.

A la suite de cette étape, nous disposons d'un ensemble de valeurs d'écarts aux valeurs de référence pour chaque métrique d'une station-campagne « test » donnée. Nous avons choisi de retenir la médiane de cette distribution comme valeur servant à définir la classe de qualité pour la station-campagne « test ».

En résumé, si après calcul on obtient pour une métrique donnée, un signe opposé au sens attendu des impacts, on est en situation de non-impact. Par exemple, si on observe une augmentation de la densité en rhéophiles ($e_{ik}<0$ = REF-TEST<0) alors qu'un impact devrait induire une diminution ($e_{ik}>0$ = REF-TEST>0) alors on est en situation de non-impact.

4 Construction des classes de qualité et détermination de la note finale

La construction de l'échelle de qualité a été faite à partir de la distribution empirique des écarts à la référence pour toutes les métriques confondues.

Dans le cas d'une métrique dont la valeur est supposée diminuer en réponse à un impact, on attend une valeur d'écart positive (respectivement négative dans le cas d'une métrique en augmentation) en cas d'impact. Les trois classes de mauvais état au sens DCE (i.e. : « Etat moyen », « Mauvais état » et « Très mauvais état »), seront donc définies dans l'intervalle]0, +∞[(respectivement]-∞, 0[). De fait, toutes les valeurs d'écart >1 (respectivement <-1) s'écartent très fortement de la référence et constituent donc la classe de « Très mauvais état » et se verront attribuer un score de 1. Les écarts entre 0.55 et 1 (respectivement -1 et -0.55), constitueront la classe « Mauvais état » et auront un score de 2. Nous avons choisi de considérer un écart à la référence de 10% (en valeur absolue) comme acceptable d'un point de vue écologique. Ainsi, la classe « Etat moyen » (score de 3) sera attribuée pour des écarts dans l'intervalle 0.55 et 0.1 (respectivement -0.55 et -0.1) et le « Bon état » (score de 4) sera atteint pour des écarts entre 0.1 et -0.5 (respectivement -0.1 et 0.5). Ces intervalles sont repris dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Limites des 5 classes d'état écologique définies à partir des hypothèses sur le sens de variation des métriques en réponse à un impact. Les valeurs dans les intervalles correspondent aux écarts avec leur signe.

Etat	Réponse attendue de la métrique : diminution	Réponse attendue de la métrique : augmentation
Très mauvais	]1, +∞[	]-∞,-1]
Mauvais	]0.55, 1]	]-1, -0.55]
Moyen	]0.1, 0.55]	]-0.55, -0.1]
Bon	]-0.5, 0.1]	]-0.1, 0.5]
Très bon	]-∞,-0.5]	]0.5, +∞[

La Figure 7 montre un exemple de sortie graphique pour deux stations-campagnes « test » dans le cas où les pressions (I sur la figure) induisent une augmentation de la métrique (Métrique A) et dans le cas contraire (Métrique B).

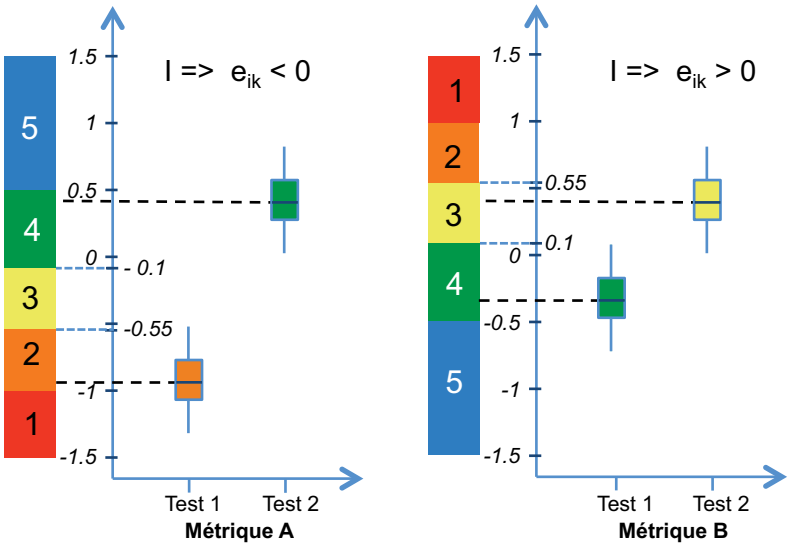


Figure 7 : Exemple fictif de graphe des notes de l'IRM pour deux métriques A et B dans deux stations-campagnes « test » 1 et 2.

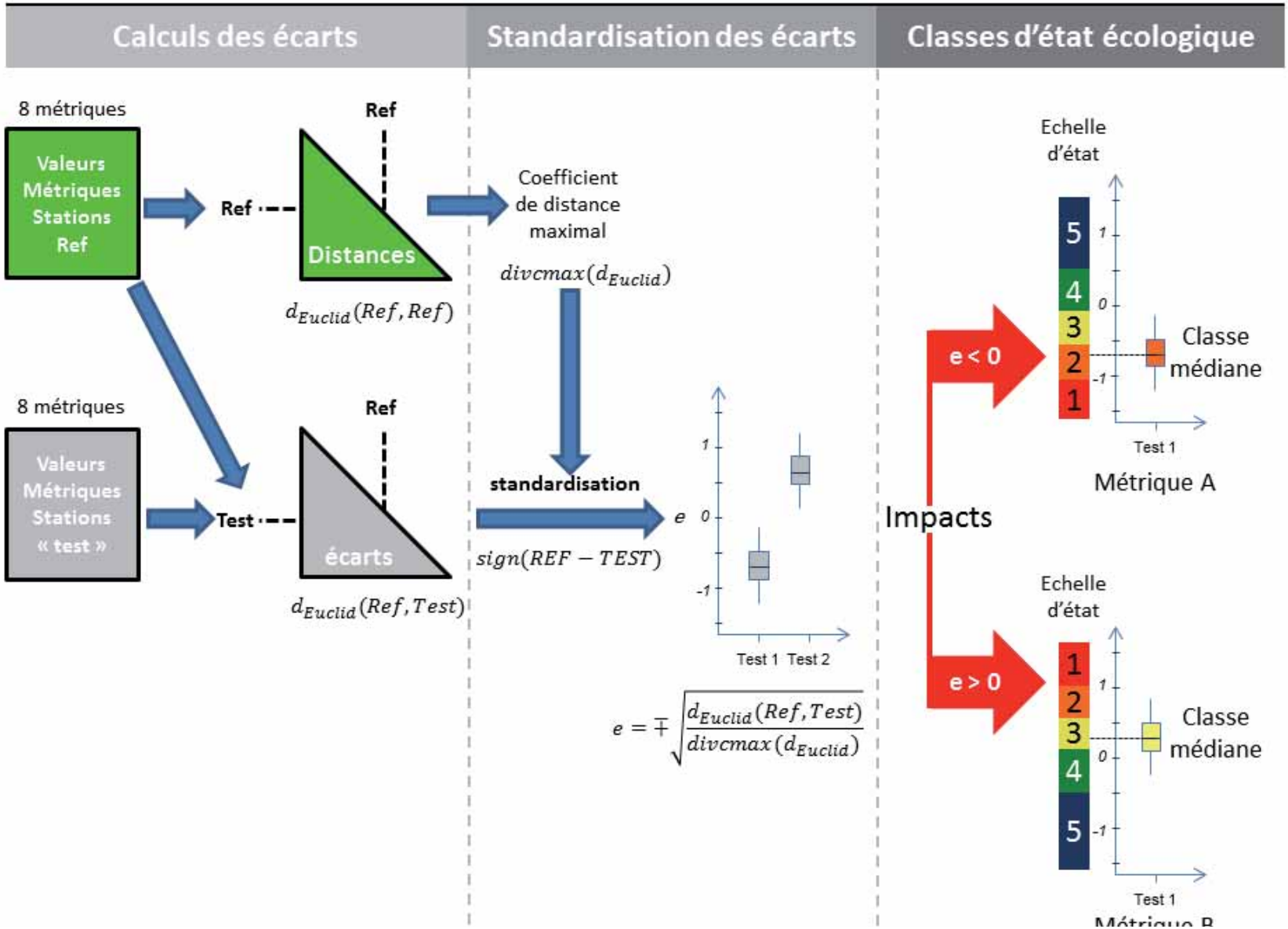
La note globale de l'IRM est donc calculée en additionnant les 8 notes de qualités exprimées par chacune des 8 métriques biologiques et écologiques retenues. On obtient ainsi une note / 40 (Tableau 11).

Tableau 11 : Notes calculées en additionnant les 8 métriques biologiques et écologiques retenues et limites des 5 classes d'état écologique.

Etat	Note
Très mauvais	[8-15]
Mauvais	[16-23]
Moyen	[24-31]
Bon	[32-39]
Très bon	40

Démarche de la construction de l'indice IRM.

Trois grandes étapes de la construction de l'indice : 1 - Phase de calcul des écarts : calcul de deux matrices de distances pour chaque métrique retenue entre stations de référence (triangle vert) d'une part, et entre stations « test » et stations de référence d'autre part (triangle gris). 2 - Phase de standardisation des écarts : la matrice de distances entre stations de référence sert de base au calcul du coefficient de distance maximale. Les écarts Ref-Test sont divisés par ce coefficient. L'écart utilisé correspond à la racine carrée de ce quotient auquel est affecté le signe de la différence entre la valeur de référence de la métrique et la valeur test. 3 - Phase de construction des classes d'état écologique : définies selon le sens de variation attendu en réponse à un impact et également selon la distribution empirique des écarts à la référence (e). La médiane de la distribution des écarts d'une station « test » est utilisée pour définir la classe d'état écologique finale de la station.



Résumé de la démarche méthodologique – Indice Réunion macroinvertébrés (IRM)

Jeu de données : 42 stations échantillonnées de 2008 à 2010 (3 campagnes d'échantillonnage)

Évaluation des pressions (analyse pressions-impacts) :

- Pressions chimiques
- Pressions hydrologiques
- Pressions hydromorphologiques (activités humaines, occupation du sol, continuité écologique)

Détermination des stations de référence

Détermination des stations « test » (impactées)

Choix des métriques biologiques

- **3 métriques relatives aux contraintes hydrauliques :**
  - Densité des taxons limnophiles
  - Densité des taxons rhéophiles
  - Densité des taxons ubiquistes
- **2 métriques relatives aux comportements ou aux régimes alimentaires :**
  - Densité des filtreurs (avec construction de filet)
  - Densité des généralistes
- **3 métriques de richesse taxonomique :**
  - Richesse en taxons limnophiles
  - Richesse en taxons à respiration tégumentaire
  - Richesse taxonomique totale

Typologie des cours d'eau

Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement, Journal officiel de la République Française, 2 février 2010.

Remarque : le type de masses d'eau P62 (petits cours d'eau des cirques sous le vent) ne possède pas de station « test » et le type MP64 (cours d'eau des versants sous le vent) ne possède pas de station de référence.

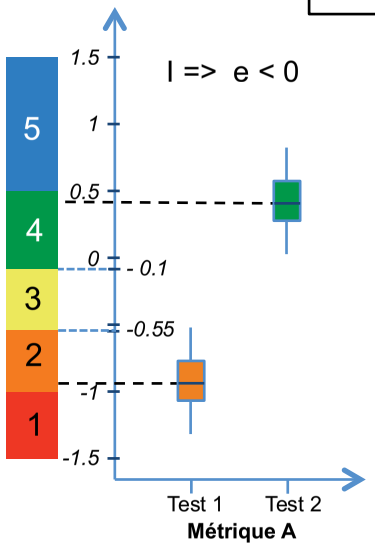
Analyse de la variabilité des stations de référence (calculée à partir des valeurs des métriques biologiques), analyse de la variabilité intra-types.

Pour chaque station « test », pour chaque métrique, mesure de l'écart à la référence.
Standardisation par un coefficient de variabilité maximale des conditions de référence

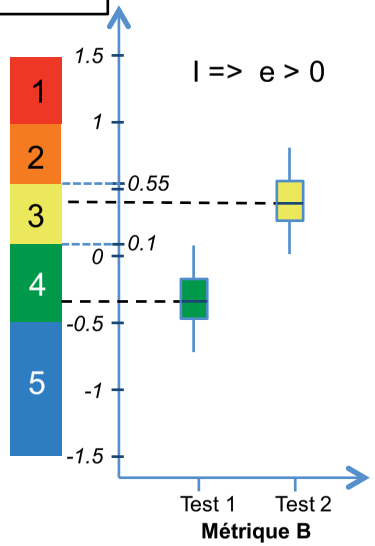
Calibration de l'échelle de qualité basée sur la distribution des écarts à la référence.

∑ des notes de qualité (/5) pour l'ensemble des métriques (à partir de la note médiane de chaque métrique) : calcul d'une **note** (indice) /40

e = Ref - Test



Cas où les pressions induisent une augmentation de la valeur de la métrique



Cas où les pressions induisent une diminution de la valeur de la métrique

5 Résultats : notes des stations étudiées

Un total de 25 stations-campagnes « test » montre un état écologique « Bon » avec une note ≥ 32 pour les 8 métriques retenues dans l'IRM (Tableau 12). La note maximale est atteinte pour la station-campagne PLA3-2010, (35/40). On notera que certaines stations, quelle que soit la campagne, atteignent toujours ce « Bon état » (**e.g**. MAT2, PAN2, SET, SJE1 et SSU2) alors que d'autres stations atteignent ce « Bon état » uniquement lors d'une ou deux campagnes sur les 3 (Tableau 12). Les 35 autres stations-campagnes avec des notes de 27/40 (SDE3-2010) à 31/40 atteignent un état écologique « Moyen ».

Tableau 12 : Notes obtenues pour chaque station-campagne « test» à partir du score des 8 métriques biologiques et écologiques utilisées dans le calcul de l'IRM. Les couleurs indiquent l'état écologique des stations-campagnes (vert = Bon état ; jaune = Etat moyen).

Station	campagne	Type	d.limno	d.rhéophile	d.ubiquiste	d.filt.filet	d.généraliste	ric.limno	ric.tégument	Richesse	Note
CIL2	2008	M62	4	4	4	4	4	5	4	4	33
	2009	M62	4	4	1	4	4	3	5	4	29
	2010	M62	4	4	4	4	4	4	5	4	33
EST	2008	MP63	4	4	4	4	4	5	2	3	30
	2009	MP63	4	4	4	4	4	5	2	3	30
	2010	MP63	4	4	4	4	4	5	2	3	30
GAL4	2008	M62	4	4	4	4	4	5	3	4	32
	2009	M62	3	4	3	4	4	2	3	5	28
	2010	M62	4	4	1	4	4	5	3	4	29
LAN2	2008	P61	4	4	4	4	4	3	3	4	30
	2009	P61	4	4	4	4	4	3	2	3	28
	2010	P61	4	4	4	4	4	3	2	3	28
MAR2	2008	MP63	4	4	4	4	4	2	4	4	30
	2009	MP63	4	4	3	4	4	3	4	4	30
	2010	MP63	4	4	3	4	4	3	4	4	30
MAR4	2008	MP63	4	4	3	4	4	5	4	3	31
	2009	MP63	4	4	4	4	4	4	4	3	31
	2010	MP63	4	4	3	4	4	4	5	3	31
MAT2	2008	P61	4	4	4	4	4	5	4	4	33
	2009	P61	4	4	4	4	4	5	4	4	33
	2010	P61	4	4	4	4	4	5	4	3	32
MAT3	2008	P61	4	4	4	4	4	4	4	3	31
	2009	P61	4	4	4	4	4	4	4	3	31
	2010	P61	4	4	4	4	4	4	4	3	31
MAT4	2008	M61	4	4	4	4	4	5	4	4	33
	2009	M61	4	4	4	4	3	5	1	3	28
	2010	M61	4	4	4	4	4	5	1	2	28
PAN2	2008	MP63	4	4	3	4	4	4	5	4	32
	2009	MP63	4	4	4	4	4	4	4	4	32
	2010	MP63	4	4	3	4	4	5	4	4	32
PLA3	2008	M62	4	4	3	4	4	5	3	3	30
	2009	M62	4	4	3	4	4	4	4	4	31
	2010	M62	4	4	4	4	4	5	5	5	35
PLU3	2008	MP63	4	4	4	4	4	4	4	3	31
	2009	MP63	4	4	3	4	4	3	4	3	29
	2010	MP63	4	4	4	4	4	4	4	3	31
REM	2008	M61	4	3	4	3	4	5	4	4	31
	2009	M61	4	3	4	3	4	5	1	3	27
	2010	M61	4	4	4	3	4	5	4	4	32
ROC1	2008	MP63	4	4	4	4	4	3	4	4	31
	2009	MP63	4	4	4	4	4	4	4	4	32
	2010	MP63	4	4	4	4	4	3	4	4	31
ROC3	2008	MP63	4	4	4	4	4	4	5	3	32
	2009	MP63	4	4	3	4	4	2	5	3	29
	2010	MP63	4	4	3	4	4	2	5	3	29
SDE3	2008	MP63	4	4	4	4	4	5	5	3	33
	2009	MP63	4	4	4	4	4	4	4	4	32
	2010	MP63	4	4	4	4	4	2	2	3	27
SET	2008	M62	4	4	4	4	4	5	4	4	33
	2009	M62	4	4	4	4	4	5	4	4	33
	2010	M62	4	4	4	4	4	4	5	4	33
SJE1	2008	MP63	4	4	4	4	4	4	4	4	32
	2009	MP63	4	4	4	4	4	4	4	4	32
	2010	MP63	4	4	4	4	4	5	3	4	32
SJE2	2008	MP63	4	4	3	4	4	3	5	4	31
	2009	MP63	4	4	3	4	4	4	4	3	30
	2010	MP63	4	4	2	4	4	4	4	4	30
SSU2	2008	MP63	4	4	4	4	4	4	4	4	32
	2009	MP63	4	4	4	4	4	5	4	4	33
	2010	MP63	4	4	4	4	4	4	4	4	32

6 Discussion

Plus de la moitié des stations macroinvertébrés atteignent un état écologique « Bon », les autres stations atteignant un état « Moyen ». Certaines stations proches des embouchures, fortement impactées par l'urbanisation entre autres, atteignent de manière surprenante un bon état écologique (SET, Rivière St-Etienne, SSU2, Rivière Ste-Suzanne ou PAN2, Bras Panon).

Même si la procédure de calcul est pertinente, les valeurs d'indice obtenues pour les stations « test » semblent donc surestimer l'état écologique de ces stations. Plusieurs hypothèses permettraient d'expliquer ce phénomène :

- la forte variabilité intra-types des stations de référence qui remettrait en question la typologie des masses d'eau (arrêté 2010[8]) ;
- la faiblesse statistique du jeu de données (notamment temporelle) ;
- le faible nombre de métriques biologiques ou écologiques potentiellement utilisables ;
- l'état de référence attribué à certaines stations a probablement été surévalué. Par exemple, certaines stations ont été sélectionnées comme stations de référence car certains impacts comme les assecs ou les éclusées en aval de barrages (e.g. LAN4, Rivière Langevin ou MAR3, Rivière des Marsouins) ou encore la fréquentation des cours d'eau pour différents usages (loisirs, lessive, braconnage etc...) ne sont actuellement pas quantifiables.

L'Indice Réunion Macroinvertébrés (IRM) est basé sur un jeu de données de 42 stations * 3 années. Même si l'effort d'échantillonnage est particulièrement important, la construction de l'indice étant basée sur des calculs statistiques, il reste insuffisant (nombre de stations-campagnes) pour asseoir les calculs sur des procédures robustes. De ce fait, l'indice proposé dans ce travail constitue une première étape (version 0), majoritairement destinée à établir une méthodologie de calcul basée sur une méthode DCE compatible.

Le plan d'échantillonnage a été construit pour intégrer au mieux la variabilité spatiale des peuplements, aussi bien à l'échelle intra-bassins qu'à l'échelle inter-bassins. Lorsque ce plan d'échantillonnage a été élaboré, la typologie des ME cours d'eau de La Réunion n'était pas aboutie (arrêté 2010). Un effort a cependant été fait pour intégrer au mieux les impacts majeurs des pressions dominantes (*cf.* Annexe 1 du volet invertébrés benthiques de ce rapport). Malgré cet effort, il existe des lacunes en termes de stations d'échantillonnage par rapport à la typologie

[8] Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement, Journal officiel de la République Française, 2 février 2010.

publiée dans l'arrêté 2010, avec un type sans station « test » et un autre sans station de « référence» (*cf.* Tableau 6).

La méthodologie employée s'appuie sur un inventaire détaillé et quantitatif des pressions-impacts à l'échelle du tronçon, cette étape étant incontournable. Fin 2011, ces données n'étaient que partiellement disponibles et un important travail de recensement des pressions, au droit des stations d'échantillonnage, a dû être entrepris. Le jeu de données utilisé n'est donc pas optimal et devra prochainement être complété. Il constitue néanmoins une base de données utilisable dans le cadre de l'établissement d'une version initiale des indices (calage de la méthodologie).

L'utilisation des organismes aquatiques en tant que bio-indicateurs de la qualité écologique des cours d'eau repose sur une bonne connaissance des exigences écologiques et de la biologie de ces organismes. L'élaboration d'indices pertinents en milieux tempérés (I2M2 ou IPR+) n'aurait pu se faire sans cette connaissance. L'échantillonnage réalisé entre 2008 et 2010 a permis d'acquérir des connaissances précises sur la composition faunistique des peuplements de macroinvertébrés. Un très gros travail a été notamment réalisé sur les aspects taxonomiques (*cf.* la nouvelle version de *l'*Atlas des macroinvertébrés de l'île de La Réunion réalisé dans le cadre de ce programme). Cependant, les caractéristiques biologiques et écologiques des taxons de macroinvertébrés de La Réunion sont encore très peu connues. Nous avons toutefois acquis de nouvelles connaissances sur les préférences hydrauliques de 29 taxons sur les 80 rencontrés au cours des 3 campagnes d'échantillonnage, sur les régimes alimentaires de 16 taxons et sur la distribution spatiale de la plupart des 80 taxons. Des informations complémentaires ont pu être rassemblées à partir de la littérature (compilées dans la nouvelle version de *l'*Atlas des macroinvertébrés de l'île de La Réunion). Sur cette base, nous avons actuellement retenu 8 métriques pertinentes pour mesurer les impacts écologiques des pressions anthropiques sur les cours d'eau. Ce travail doit être considéré comme préliminaire et l'acquisition de données sur la biologie et l'écologie des macroinvertébrés devra être poursuivie pour confirmer les métriques actuelles et, éventuellement, motiver l'utilisation de nouvelles métriques.

L'IRM est donc un indice qui renseigne sur les effets d'une pression anthropique <u>globale</u> de la même manière que l'IBGN en métropole. Même si on peut émettre certaines hypothèses quant à l'origine des perturbations (notamment en lien avec les hypothèses du sens de variation des métriques), il serait hasardeux de conclure sur une relation entre les valeurs d'une métrique d'anthropisation avec celle de l'IRM car ils n'ont pas pu être construits sur ce principe (en raison de la faible quantité de données disponibles).

7 Intégration des données collectées en 2011 et proposition d'une version V1 de l'IRM (septembre 2012)

Un jeu de données a été collectées en 2011 sur 40 des 42 stations échantillonnées de 2008 à 2010[9]. Ce jeu de données a été analysé, d'abord pour tester la pertinence du choix des stations de référence dans le cadre du travail de mise au point de la version 0 de l'IRM. La prise en compte de l'étiage important en 2011 apporte des éléments supplémentaires concernant la caractérisation de la variabilité temporelle des conditions de référence. Cette caractérisation est encore sans doute incomplète car aucun cyclone n'a atteint La Réunion entre 2008 et 2011. L'intégration des données collectées en 2011 dans le jeu de données de référence n'a pas un fort impact sur la note de l'IRM : seulement 39% des notes ont diminué, 28% n'ont pas changé et 33% ont augmenté. L'analyse détaillée la variabilité des métriques dans les conditions de référence a montré le rôle important de l'amplitude de variation des valeurs de densités de certains taxons. Pour limiter les effets de ces très forts écarts entre les valeurs de densités, une **transformation logarithmique des métriques de densité** a été appliquée. Les métriques de richesse n'ont pas été transformées, car elles ont une amplitude de variation plus faible. Par exemple, la métrique « richesse taxonomique totale » pour le type de ME P61 a des valeurs brutes variant entre 21 et 23 pour FJA1 (Mare à veille place) de la Rivière Fleurs jaunes et de 21 à 27 pour la station LIA (Amont captage AEP) du bras des lianes ; alors que la métrique « densité en taxons limnophiles » de la station FJA1 varie entre 30 et 3394 individus/m^2.

<u>Variabilité des métriques biologiques en conditions de référence</u>

[9] Mathieu et coll. (2012) Échantillonnage 2011 des macroinvertébrés benthiques du bassin Réunion et application de l'Indice Réunion Macroinvertébrés. UMR CNRS 5023, Rapport à l'Office de l'Eau de la Réunion et à l'ONEMA.

Afin d'observer l'effet de la transformation logarithmique des métriques de densités sur la variabilité intra-type, l'ACP intra-types su les stations de référence a été appliquée avec les métriques d'abondance log-transformées (ln(x+1) ; nommée « ACP-intra-types ref. log. »). Les résultats de cette analyse ont été comparés à ceux de « l'ACP intra-types ref. » sur données brutes (

Figure 8). Les plans des variables correspondantes sont présentés sur la

Figure 9.

L'ACP « intra-types ref. log. » montre une diminution de la variabilité intra-types, en comparaison de l'ACP « intra-types ref. » (

Figure 8). Ceci s'observe par la plus faible variabilité temporelle des sites GAL2 et FJA1 (i.e. : moins grande dispersion des points) qui a pour conséquence une plus grande dispersion des autres sites, leurs variabilité retrouvant alors des valeurs plus comparables.

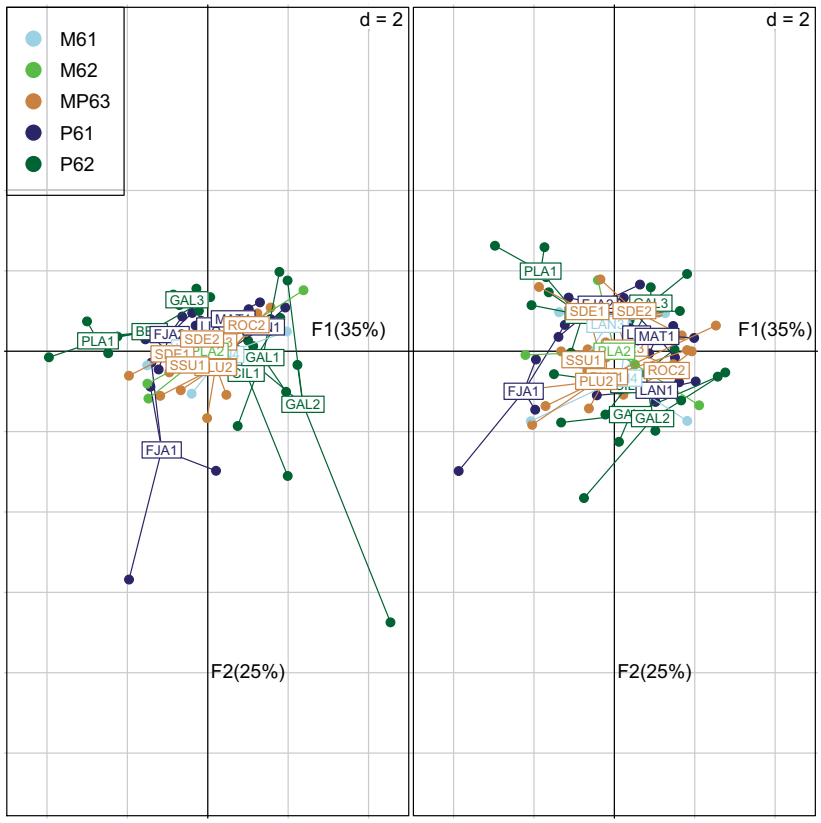


Figure 8 : Premier plan factoriel de l'ACP intra-types ref. Chaque point correspond à une station-campagne « référence » à partir du référentiel 2. Chaque station est positionnée au barycentre des stations-campagnes. Les couleurs regroupent les stations selon leur type de masses d'eau. ***A gauche*** *sans la transformation logarithmique,* ***à droite*** *avec la transformation logarithmique.*

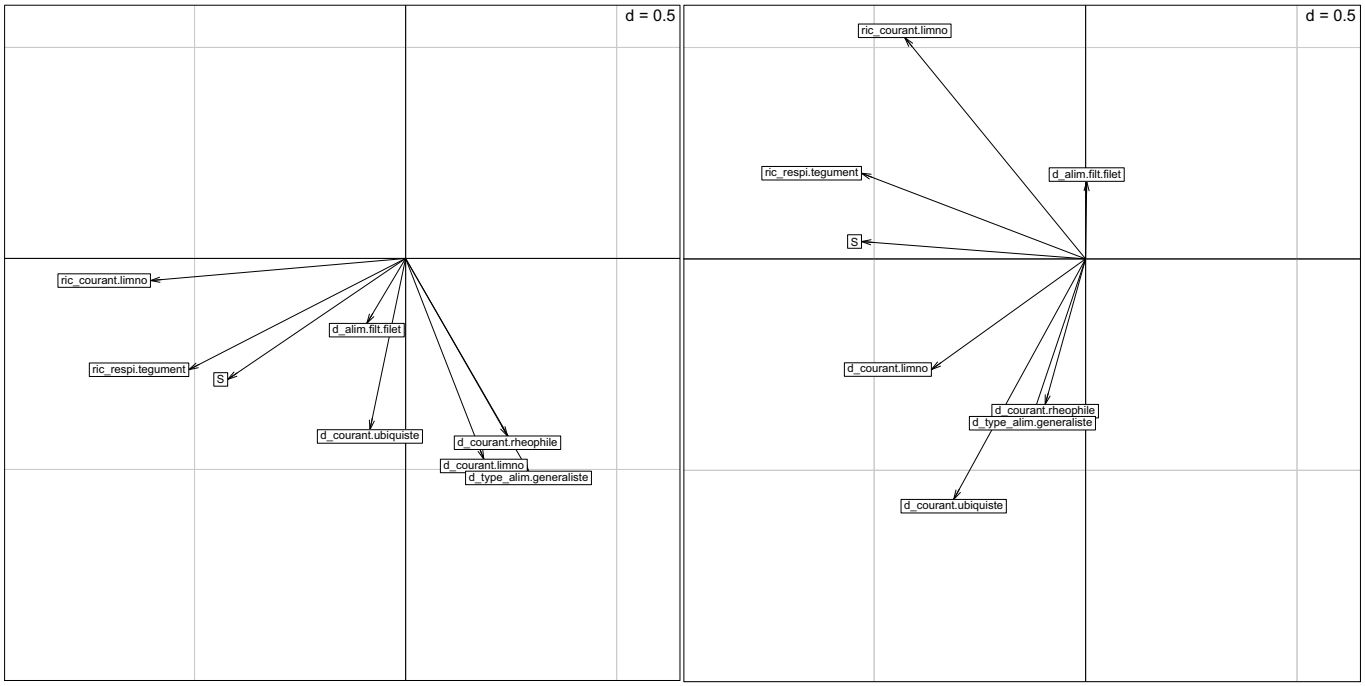


Figure 9 : Premier plan factoriel de l'ACP intra-types ref. des 8 métriques retenues. Avec : d. limnophiles : la densité en taxons limnophiles ; d. rheophiles : la densité de taxons rhéophiles ; d. ubiquiste : la densité de taxons ubiquistes d. filteurs (filet) : la densité de taxons filteurs (avec construction de filet) ; d. généralistes : la densité de taxons généralistes ; ric. limnophiles : la richesse en taxons limnophiles ; ric. tégument : la richesse en taxons à respiration tégumentaires ; S : la richesse taxonomique totale. A gauche sans la transformation logarithmique, à droite avec la transformation logarithmique.

Projection des stations « test » sur les ACP intra-types « ref » et « ref.log. »

La projection des stations « test » sur le premier plan factoriel des ACP « ref . » et « ref. log. » illustre la présence d'importants écarts entre stations « test » et stations de référence suivant le type de masses d'eau considéré (Figure 10). On remarque que ces écarts sont amplifiés pour l'ACP « ref. log. ». Ceci est certainement attribué à une référence plus constante avec les données log-transformées qu'avec les données brutes.

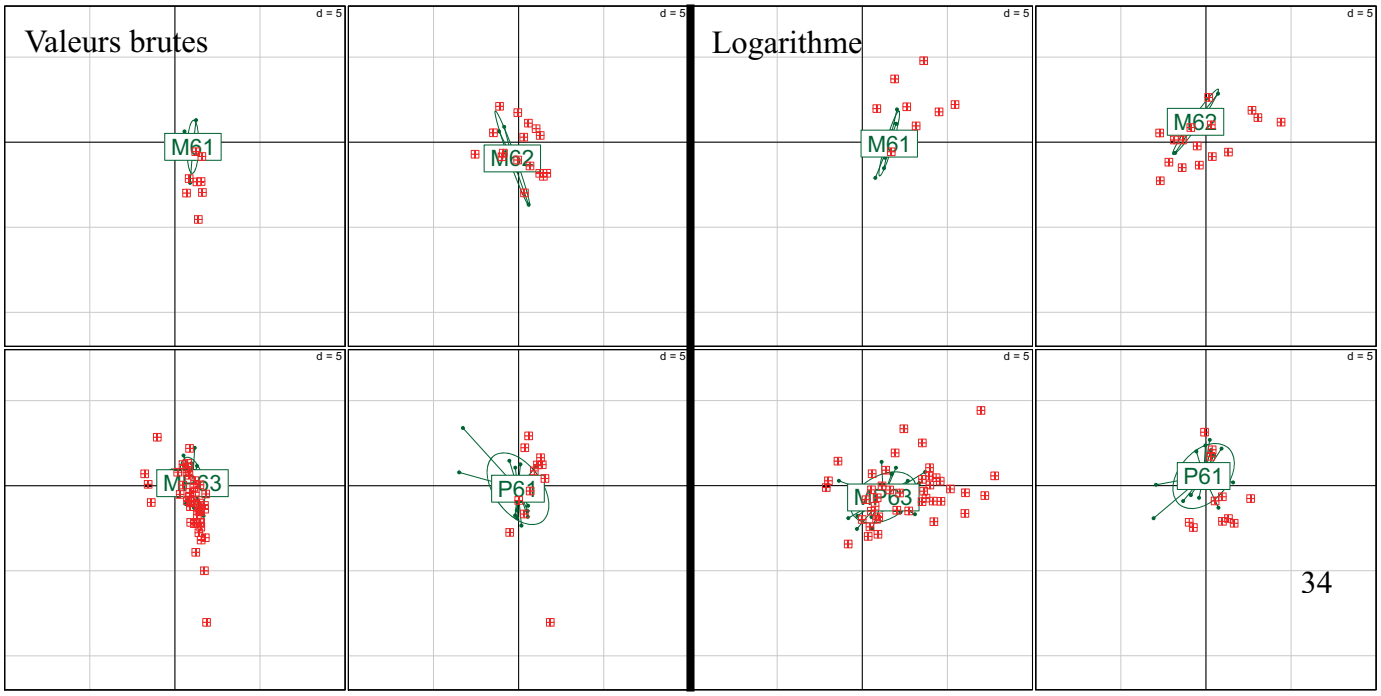


*Figure 10 : Projection en individus supplémentaires des stations-campagnes « test » (carrés rouges) sur le premier plan factoriel de l'ACP ref log. La distribution des valeurs de référence est représentée par une ellipse illustrant la variabilité au sein de chaque type. Les deux types P62 et MP64 ne sont pas représentés (pas de stations « test » ou « référence »). **A gauche** sans la transformation logarithmique, **à droite** avec la transformation logarithmique.*

Le couplage de la transformation logarithmique et du référentiel intégrant les données de 2011 dans le jeu de données des stations de référence permet de diminuer les variabilités (spatiale et temporelle). Ces deux paramètres ont été intégrés dans les procédures de calcul de la version 1 de l'IRM (v1).

La procédure de calcul est indiquée dans la FICHE TECHNIQUE D'UTILISATION DE LA FONCTION IRM_v1 sous R *0.1.4 (15 juillet 2012)*[10].

Les notes calculées avec la v1 de l'IRM sont consignées dans le Tableau 13.

De manière générale, les notes restent stables au cours de ces 4 années d'échantillonnage (Annexe 9). Des exemples comme SET (Embouchure pont RN) de la Rivière Saint-Etienne ou encore EST (Amont aval pont) de la Rivière de l'Est illustrent cette stabilité.

[10] R Development Core Team, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.

Tableau 13 : Notes obtenues pour chaque station « test » après calcul de l'IRM_v1 pour les campagnes 2008, 2009, 2010, 2011. Les couleurs indiquent l'état écologique des stations (Tableau 11). Avec : d. limnophiles : la densité de taxons limnophiles ; d. rheophiles : la densité de taxons rhéophiles ; d. ubiquistes : la densité de taxons ubiquistes ; d. filteurs (filet) : la densité de taxons filteurs (avec construction de filet) ; d. généralistes : la densité de taxons généralistes ; ric. limnophiles : la richesse en taxons limnophiles ; ric. tegument : la richesse en taxons à respiration tégumentaires ; S : la richesse taxonomique totale ; M61, M62, MP63, P61, P62.

		camp	d. limnophiles	d. rheophiles	d. ubiquistes	d. filteurs (filet)	d. generalistes	ric. limnophiles	ric. tegument	S	Note
M61	MAT4	2008	5	4	5	3	4	4	4	3	32
	MAT4	2009	5	5	5	3	1	5	2	3	29
	MAT4	2010	4	5	5	3	2	5	1	3	28
	MAT4	2011	3	5	4	3	1	4	2	3	25
	REM	2008	5	1	5	3	5	4	2	3	28
	REM	2009	5	1	5	2	5	5	2	3	28
	REM	2010	4	5	5	2	1	4	2	3	26
	REM	2011	3	5	4	2	3	4	4	4	29
M62	CIL2	2008	5	1	5	1	5	5	4	4	30
	CIL2	2009	2	5	1	1	1	4	5	4	23
	CIL2	2010	3	1	5	2	5	4	5	4	29
	CIL2	2011	2	5	2	1	2	4	5	5	26
	GAL4	2008	5	2	5	1	5	5	4	4	31
	GAL4	2009	2	2	3	1	4	5	4	4	25
	GAL4	2010	3	5	1	1	1	5	4	4	24
	GAL4	2011	3	5	2	1	2	5	4	5	27
	PLA3	2008	5	2	3	3	5	5	3	3	29
	PLA3	2009	4	3	2	3	5	4	4	4	29
	PLA3	2010	3	1	4	2	5	3	5	5	28
	PLA3	2011	5	1	5	2	5	3	5	4	30
	SET	2008	5	1	5	1	5	5	4	4	30
	SET	2009	5	1	5	1	5	5	4	4	30
	SET	2010	5	1	5	1	5	4	5	4	30
	SET	2011	4	4	5	1	3	4	5	5	31
MP63	EST	2008	5	5	5	3	3	5	2	3	31
	EST	2009	5	2	5	3	5	5	2	3	30
	EST	2010	5	2	5	4	5	5	2	3	31
	EST	2011	4	4	5	4	4	5	2	3	31
	MAR2	2008	4	5	3	4	1	5	3	4	29
	MAR2	2009	4	5	2	4	1	4	3	4	27
	MAR2	2010	3	5	2	4	1	4	4	4	27
	MAR4	2008	5	2	2	3	5	5	2	3	27
	MAR4	2009	5	1	3	2	5	4	4	3	27
	MAR4	2010	4	1	2	2	5	4	2	3	23
	MAR4	2011	4	2	2	2	5	4	2	3	24
	PAN2	2008	3	2	2	2	5	4	2	4	24
	PAN2	2009	5	2	5	2	5	4	2	3	28
	PAN2	2010	4	3	2	2	5	5	2	4	27
	PAN2	2011	3	3	2	2	3	4	2	5	24
	PLU3	2008	5	2	5	3	5	4	4	3	31
	PLU3	2009	2	3	2	4	3	4	3	4	25
	PLU3	2010	3	3	3	3	3	4	3	3	25
	PLU3	2011	2	3	1	2	3	3	4	4	22
	ROC1	2008	2	4	3	3	3	4	5	4	28
	ROC1	2009	5	2	5	3	5	4	4	4	32
	ROC1	2010	4	5	4	4	2	5	4	3	31
	ROC1	2011	3	2	2	4	4	3	5	4	27
	ROC3	2008	5	2	3	3	5	5	2	4	29
	ROC3	2009	5	2	2	3	5	5	2	3	27
	ROC3	2010	5	3	2	2	5	5	2	3	27
	ROC3	2011	5	1	2	3	5	5	2	3	26
	SDE3	2008	5	1	3	2	5	5	2	3	26
	SDE3	2009	4	2	2	3	5	4	2	4	26
	SDE3	2010	2	5	4	2	3	5	2	3	26
	SDE3	2011	5	1	4	2	5	5	2	3	27
	SJE1	2008	2	2	3	3	2	4	2	4	22
	SJE1	2009	5	1	4	2	5	4	3	4	28
	SJE1	2010	3	3	4	3	3	5	3	4	28
	SJE1	2011	3	3	4	3	3	4	4	4	28
	SJE2	2008	3	5	1	2	2	4	2	4	23
	SJE2	2009	3	5	1	2	2	4	4	4	25
	SJE2	2010	3	5	1	2	3	4	3	4	25
	SJE2	2011	2	5	1	2	2	4	4	4	24
	SSU2	2008	3	3	3	3	4	4	4	4	28
	SSU2	2009	4	1	3	2	5	5	2	3	25
	SSU2	2010	4	2	3	2	5	4	2	3	25
	SSU2	2011	3	2	2	2	5	4	3	4	25
P61	LAN2	2008	5	5	4	5	3	3	3	4	32
	LAN2	2009	5	5	3	5	2	4	2	3	29
	LAN2	2010	5	5	4	3	3	3	2	3	28
	MAT2	2008	1	4	4	1	4	2	4	4	24
	MAT2	2009	3	2	4	1	5	2	4	4	25
	MAT2	2010	2	2	4	1	5	2	4	4	24
	MAT2	2011	1	4	4	1	3	2	4	5	24
	MAT3	2008	1	2	4	1	4	4	3	4	23
	MAT3	2009	1	2	4	1	5	3	4	4	24
	MAT3	2010	5	2	4	1	5	3	4	3	27
	MAT3	2011	1	4	4	4	4	1	4	4	26

FICHE TECHNIQUE D'UTILISATION DE LA FONCTION

IRM_v0 sous R

v0.1.4 (27 juin 2012)

Contenu

Introduction 2

Etapes préliminaires 3

Arguments de la fonction 3

- Arguments à renseigner 4
- Arguments pré-renseignés 5

Utilisation de la fonction 7

- Etapes pratiques 7
- Remarques 8

Code de la fonction 9

Introduction

Ce document détaille le fonctionnement de la fonction `IRM_v0` qui sert à calculer l'Indice Réunion Macroinvertébrés (IRM) dans sa version 0 (Rapport CNRS, 2012[1]). Cette fiche suppose que l'utilisateur connaît le fonctionnement de base du logiciel R[2] et ne présente donc que les éléments essentiels de la fonction. En plus de la distribution de base de R dans sa version 2.15.0, cette fonction utilise les packages `ade4`[3], `vegan`[4] et `mefa`[5] qui sont directement chargés par le code de la fonction (l'utilisateur n'a pas à s'occuper de charger en mémoire ces packages). Néanmoins, si ces packages n'ont pas encore été installés par l'utilisateur, copier/coller le code ci-dessous dans la console pour lancer l'installation :

```
install.packages("ade4")
install.packages("vegan")
install.packages("mefa")
```

La compilation du code R a été réalisée sous Windows 7. L'encodage des caractères peut poser problème sous MacOs notamment pour les accents. Une version sans accent du script a été générée : `IRM_v0_MacOS.r` dont l'utilisation n'est en rien modifiée par rapport à la fonction `IRM_v0_MacOS.r` (ex : le nom de la fonction dans R reste le même).

[1] **Rapport CNRS** (2012). Convention de recherche et développement. Office de l'eau de la Réunion-CNRS. Programme d'étude et de recherche 2008-2011. M. Forcellini, H. Grondin, C. Mathieu, N. Péru, M. Richarson, P. Sagnes, P. Usseglio-Polatera et P. Valade. Sous la direction scientifique de S. Mérigoux et J-M. Olivier. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques. UMR CNRS-LEHNA/ARDA, 506p.

[2] **R Development Core Team** (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.

[3] **Chessel, D**., **Dufour**, **A.B.** et **Thioulouse, J**. (2004): The ade4 package-I- One-table methods. R News. 4: 5-10.

[4] **Oksanen, J**., G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. Henry H. Stevens and H. Wagner (2011). vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-2. http://CRAN.R-project.org/package=vegan.

[5] **Solymos, P**. (2009). Processing Ecological Data in R with the mefa Package. Journal of Statistical Software 29(8), 1-28. URL http://www.jstatsoft.org/v29/i08/.

Etapes préliminaires

- Installer R dans sa version ≥ 2.15.0 pour éviter d'éventuels problèmes d'incompatibilité.
- Placer les fichiers `IMR_v0.r` et `traitsReunion.csv` dans le dossier de travail R puis dans Rgui faire :

Fichier → *Sourcer du code R* et choisir le fichier `IRM_v0.r`

- Charger le fichier `traitsReunion.csv` (avec la fonction `read.csv` par exemple) dans un objet quelconque qui sera utilisé en lieu et place de l'argument `trait` de la fonction `IRM_v0`.

N.B. 1 : Le tableau de traits fourni avec la version actuelle de la fonction `IRM_v0.r` *tient compte des taxons présents dans les campagnes de prélèvement effectuées entre 2008 et 2011 inclus. Tout nouveau taxon implique de compléter le tableau de traits contenu dans le fichier* `traitsReunion.csv`.
N.B. 2 : les noms des catégories de trait et des traits sont rentrés ***sans accents*** *(ex : « predateur » et non « prédateur »).*

Arguments de la fonction

La fonction comporte 16 arguments qui sont à renseigner (**`ref`**, **`test`**, **`tabinforef`**, **`tabinfotest`**, **`trait`**) ou le sont déjà par défaut (`choixmet`, `limclas`, `hyp`, `writecsv`, `eucl`, `log`, `met.typo`, `metrefecart`, `distmax`, `ecartr`, `ecartn`).

```
args(IRM_v0)
function (ref, test, tabinforef, tabinfotest, trait, choixmet = NULL,
limclas = list(u = c(-100, -1, -0.55, -0.1, 0.5, 100), d = c(-100, -0.5,
0.1, 0.55, 1, 100)), hyp = c("u", "d", "u", "d", "u", "u", "d", "d"),
,writecsv=TRUE, eucl=FALSE, log=FALSE, met.typo=FALSE, metrefecart=FALSE,
distmax=FALSE, ecartr=FALSE, ecartn=FALSE,...)
```

faire attention aux dimensions des tableaux `ref`, `test`, `tabinforef`, `tabinfotest` et `trait` (Cf. tableau 1)

Tableau 1 : Récapitulatif des dimensions des tableaux de données. Le tableau permet d'illustrer les équivalences des nombres de lignes et de colonnes entre tableaux de données.

	nb. lignes	nb. colonnes
`ref`	**n1**	**p**
`test`	**n2**	**p**
`tabinforef`	**n1**	**3**
`tabinfotest`	**n2**	**3**
`trait`	**p**	**k**

Arguments à renseigner

- `ref & test` **:** tableaux à *n1* et *n2* sites x *p* taxons pour les sites de référence et « test » respectivement (Cf. tableau 2 pour un exemple). Noter également le format des noms des lignes qui doit contenir le nom de la station ainsi que la campagne.

Tableau 2 : Exemple de formatage pour les arguments `ref` et. L'exemple montre les données de densités de 10 taxons pour 6 campagnes de prélèvement dans deux sites de référence.

```
head(ref)
          ANIS AROD ASER ATSP1 ATSP2 ATSP3 BWEB CBET CHSP CLIN
BEN.2008     0    0    0     2     1     0    0    0   47    2
BEN.2009     0    0    0     3     1     0    0    0    1   18
BEN.2010     0    0    0     0     0     0    0    0    0   23
CIL1.2008    0    0    0     0     0     0    0    0   33    0
CIL1.2009    0    0    0     0     0     0   40    0    2    0
CIL1.2010    0    0    0     0     0     0    1    0    5    0
```

- `tabinforef & tabinfotest` : tableaux à *n1* et *n2* sites pour les sites de référence et « test » respectivement. Chaque tableau comporte trois colonnes avec dans l'ordre (Cf. tableau 3 pour un exemple)
    1. une colonne avec des codes stations
    2. une colonne avec un code campagne
    3. une colonne avec typologie

Tableau 3 : Exemple de formatage pour les arguments `tabinforef` et `tabinfotest`. L'exemple montre les informations pour 6 campagnes de dans deux sites de référence (BEN ET CIL1).

```
head(tabinforef)
    c_sta camp c_HER2010
1     BEN 2008       P62
2     BEN 2009       P62
3     BEN 2010       P62
4    CIL1 2008       P62
5    CIL1 2009       P62
6    CIL1 2010       P62
```

- `trait` : tableau *p* taxons x *k* traits avec les noms des modalités au croisement (Cf. tableau 4 pour un exemple)

Tableau 4 : Exemple de formatage pour l'argument `trait`. L'exemple montre les informations pour 6 taxons et 5 traits biologiques. Chaque trait comporte plusieurs modalités qui sont attribuées aux taxons. En cas d'absence de données la valeur « <NA> » est indiquée dans le tableau.

```
head(trait)
      courant       alim                type_alim    locom     respi
ANIS     <NA>  prédateur               inv vivant marcheur branchies
AROD    limno   brouteur généraliste microphytes  rampant  tégument
ASER     <NA> collecteur         détritus algues marcheur branchies
ATSP1    <NA>       <NA>                     <NA> marcheur      <NA>
ATSP2    <NA>       <NA>                     <NA> marcheur      <NA>
ATSP3    <NA>       <NA>                     <NA> marcheur      <NA>
```

Arguments pré-renseignés

- `choixmet` : liste des métriques retenues dans le cadre de l'IRM v0 (Cf. Rapport CNRS, 2012[1]). Le format des noms doit être respecté. Dans la version actuelle, cette liste est fixée dans le code de la fonction. Une modification de cet argument ne changera donc pas la sortie de la fonction `IRM_v0`. Cet argument est implémenté en vue d'une évolution de l'indice et d'une modification des métriques retenues.
- `limclas` : liste de deux éléments (*u* et *d*) qui fournit les valeurs des limites de classe d'écart à la référence pour les métriques dont l'impact induit une augmentation de la valeur (*u*) et celles dont l'impact induit une diminution de la valeur (*d*). Chaque élément comporte 6 valeurs qui permettent de délimiter 5 classes de qualité. Les valeurs -100 et 100 sont là pour assurer la prise en compte de très grands écarts à la référence.
- `hyp` : vecteur qui comporte autant de valeur que de métriques retenues dans l'indice (8 dans la version actuelle). Il indique le sens de variation de la métrique attendu en réponse à un impact (« *u* » pour *« up »,* en cas d'augmentation *; « d »* pour *« down »* en cas de diminution de la métrique). L'ordre des valeurs correspond à l'ordre des métriques fixé par l'argument `choixmet`. Cet argument bien que modifiable actuellement est tout de même fixé par la définition de l'IRM v0 (Rapport CNRS, 2012[1]).
- `writecsv` : argument indiquant si un fichier .csv des résultats doit être produit dans le dossier de travail de R. Par défaut la valeur est « `FALSE` ». La sauvegarde des données a lieu si la valeur est passée à `TRUE`.

Les autres arguments permettent de tester les sorties de la fonction. Ce sont tous des arguments logiques qui sont actifs dans le code lorsque la valeur est passée à `TRUE`. Il faut bien noter ici qu'excepté `eucl` et `log`, tous ces arguments modifient la sortie de la fonction qui n'est alors plus un tableau de classe de qualité. Par conséquent, ils sont incompatibles entre eux et il faut bien veiller à n'avoir qu'un seul argument dont la valeur est `TRUE`.

- `eucl` : actuellement à `FALSE` par défaut car un forçage de la propriété euclidienne des matrices de distance existe déjà dans le calcul du coefficient de distance maximale. Cet argument permet d'avoir une distance Euclidienne via la fonction `my.as.dist`.
- `log`: actuellement à `FALSE` par défaut. Permet d'appliquer une transformation logarithmique (base e, $x+1$) aux métriques de densité.
- `met.typo` : actuellement à `FALSE` par défaut. Permet d'avoir la distribution des valeurs des métriques en les regroupant par type de la typologie.
- `metrefecart` : actuellement à `FALSE` par défaut. Permet d'avoir la distribution des écarts entre site de référence par type de la typologie.
- `distmax` : actuellement à `FALSE` par défaut. Permet d'avoir les coefficients de distance maximale par métrique et par type de la typologie.
- `ecartr` & `ecartn` : actuellement à `FALSE` par défaut. Ces deux arguments permettent d'obtenir respectivement les valeurs brutes (`ecartr`) et normalisées (`ecartn`) des écarts des sites tests à la référence.

Les sorties dues à ces arguments ne sont pas détaillées dans cette fiche. Charge à l'utilisateur d'en expérimenter l'utilisation.

Utilisation de la fonction

Etapes pratiques

La première étape est d'importer le tableau de traits fourni avec la fonction `IRM_v0.r`.

```
trait <- read.csv("traitsReunion.csv")
```

Si les objets contenants les données sont nommés par les noms des arguments de la fonction alors la commande suivante peut être exécutée :

```
MesResultats <- IRM_v0(ref,test,tabinforef,tabinfotest,trait,writecsv=TRUE)
```

Un message d'information indique à l'utilisateur que tout s'est bien déroulé et que les résultats sont disponibles dans le dossier de travail :

```
Fichier result_IRM.csv a été ajouté dans C:/Dossier_travail
```

On peut ensuite appeler les résultats. Ci-dessous un exemple pour trois métriques réalisé à partir des données de 2008-2011 (Cf. Rapport CNRS, 2012[1]).

```
MesResultats[,1:4]

          Group.1 d_courant.limno d_courant.rhéophile d_courant.ubiquiste
M61.1   MAT4.2008            4                   4                   4
M61.2   MAT4.2009            4                   4                   4
M61.3   MAT4.2010            4                   4                   4
M61.4    REM.2008            4                   4                   4
M61.5    REM.2009            4                   4                   4
M61.6    REM.2010            4                   4                   4
```

La sortie de la fonction est constituée par un objet de classe `data.frame` à 10 colonnes. La première est une combinaison du code station et de l'année de la campagne de prélèvement. Les 8 suivantes sont les notes (/5) des campagnes pour chaque métrique. La dernière contient la note globale, somme des 8 notes de la campagne. A noter que le nom de ligne indique le type de la typologie utilisée correspondant au site échantillonné. Le numéro ajouté (en rouge dans l'exemple ci-dessus) est juste un indicateur du nombre de valeur par type ajouté par R pour éviter des répétitions dans les noms de ligne.

Remarques

En raison du découpage du réseau des sites de référence par type de masse d'eau, on se retrouve, dans l'état actuel (juin 2012) du réseau, avec des types ayant un très faible nombre de site pour l'évaluation de la référence (parfois un seul ; cf. Rapport CNRS, 2012[1]). Ceci pose des problèmes de convergence à l'algorithme de la fonction `divcmax{ade4}` lorsque les valeurs des métriques sont très variables. Ainsi, dans les cas où le nombre de valeurs de référence est faible, la fonction `my.as.dist` contenue dans la fonction `IRM_v0` augmente artificiellement la taille de la matrice de distance inter-site de référence (pour une métrique donnée, dans un type de masse d'eau donné) en dupliquant le nombre observé de distance inter-site jusqu'à obtenir une matrice de distance (matrice carrée) qui contienne au moins 9 lignes (soit 72 valeurs de distance inter-site). Cette procédure permet le forçage de la convergence mais ne change en rien la valeur du coefficient de distance maximale obtenue dans les cas où l'algorithme converge « naturellement ».

Code de la fonction

Le code global de la fonction (fichier `IRM_v0.r`) est redonné ici à titre indicatif avec une coloration syntaxique obtenue à l'aide du logiciel Tinn-R[6].

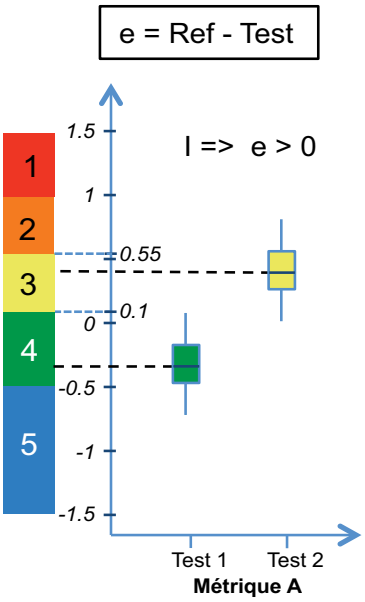
[6] Tinn-R Editor – GUI for R Language and Environment, version 2.7.3.1 copyright 2001-2021, licence GNU-GPL

```
IRM_v0 <- function(ref,test,tabinforef,tabinfotest,trait,choixmet=NULL,limclas=list(u=c(-100,-1,-0.55,-0.1,0.5,100),d=c(-100,-.5,.1,0.55,1,100)),hyp = c("u","d","u","d","u","u","d","d"),writecsv=FALSE,eucl=FALSE,log=FALSE,met.typo=FALSE,metrefecart=FALSE,distmax=FALSE,ecartr=FALSE,ecartn=FALSE,...){
##############################################################################
##############################################################################
##########################CALCUL DE L'INDICE IRM v0##############################
#################################IRM_v0.1.4#################################
##############################################################################
#Compilée avec R 2.15.0
#Auteur : Nicolas PERU (nperu@free.fr)
#juin 2012

####appel des packages R requis
require(vegan)
require(ade4)
require(mefa)

############## ARGUMENTS DE LA FONCTION
#ref & test: tableaux n1 et n2 sites x p espèces.
#tabinforef & tabinfotest : tableaux n1 et n2 sites à 3 colonnes avec dans l'ordre
    #-1 une colonne des codes stations,
    #-2 une colonne code campagne,
    #-3 une colonne typologie
#limclas : définition des limites de classe suivant le sens attendu de variation de la métrique en réponse à un impact
#trait, tableau p espèces x k traits avec les noms de modalités au croisement.
##############

#garde-fous
if(ncol(ref)!=ncol(test)) stop("ref et test doivent avoir le même nombre de colonnes")
if(nrow(ref)!=nrow(tabinforef)) stop("ref et tabinforef doivent avoir le même nombre de lignes")
if(nrow(test)!=nrow(tabinfotest)) stop("test et tabinfotest doivent avoir le même nombre de lignes")
if(nrow(trait)!=ncol(ref) | nrow(trait)!=ncol(test)) stop("Le tableau de traits doit avoir un nombre de lignes égal au nombre de colonnes de ref et test")


#Dans la v0, le choix des métriques est fixé dans la fonction mais pourra à terme être inclus dans les arguments.
choixmet <-
c("d_courant.limno","d_courant.rheophile","d_courant.ubiquiste","d_alim.filt.filet","d_type_alim.generaliste","ric_courant.limno","ric_respi.tegument","S")

####Fonctions utilitaires
#1
scale01 <- function (x)
{
    xx <- as.matrix(x)
    x01 <- as.numeric(xx > 0)
    dim(x01) <- dim(xx)
    x01 <- as.data.frame(x01)
    names(x01) <- names(x)
    row.names(x01) <- row.names(x)
    return(x01)
}
#2
euclid <- function(A,B){
#à adapter si l'indice devait prendre la forme de combinaison de métriques
dis <- sqrt((A-B)^2)
signe <- sign(A-B) #ATTENTION on redonne un signe à la distance
dis_sign <- dis*signe
return(dis_sign)
}
#3
my.as.dist <- function(vec,nfac,di,dimax=20,eucl=TRUE,...){
###############
#Construit une matrice de distance à partir d'un nombre de valeur en le multipliant par un entier naturel
#vec : vecteur des valeurs de base
#nfac : le facteur mulitplicateur jusqu'où on veut aller
#di : la dimension de départ souhaitée (1 valeur, la matrice étant carrée
#dimax: la dimension maximale souhaitée
nval <- length(vec)
nval2 <- nval*(2:nfac)
di_th <- (di+1):dimax
```

```
sq.nval <- c((di_th*di_th) - di_th)/2
newdi <- di_th[is.element(sq.nval,nval2)][1]
newnval <- sq.nval[is.element(sq.nval,nval2)][1]
mydist <- vec2dist(rep(vec,newnval/nval),newdi)
if(eucl) mydist <- quasieuclid(mydist)
return(mydist)
}

####


#formatage des données aux classes d'objet souhaitée
trait <- data.frame(trait)[order(rownames(trait)),]
ref <-  data.frame(ref)[order(rownames(ref)),order(colnames(ref))]
rownames(ref) <- paste(tabinforef[,1],tabinforef[,2],sep=".")
test <- data.frame(test)[order(rownames(test)),order(colnames(test))]
rownames(test) <- paste(tabinfotest[,1],tabinfotest[,2],sep=".")
typo_ref <- as.factor(tabinforef[,3])
typo_test <- as.factor(tabinfotest[,3])


###calcul des métriques
metd.ref <- t(apply(ref,1,function(x) unlist(sapply(trait,function(z) tapply(x,z,sum)))))
metd.test <- t(apply(test,1,function(x) unlist(sapply(trait,function(z) tapply(x,z,sum)))))
metric.ref  <- t(apply(scale01(ref),1,function(x) unlist(sapply(trait,function(z)
tapply(x,z,sum)))))
metric.test <- t(apply(scale01(test),1,function(x) unlist(sapply(trait,function(z)
tapply(x,z,sum)))))
colnames(metd.ref) <- colnames(metd.test) <- paste("d_",colnames(metd.ref),sep="")
colnames(metric.ref) <- colnames(metric.test) <- paste("ric_",colnames(metric.ref),sep="")
Sref <- specnumber(ref)
Stest <- specnumber(test)

metref <- data.frame(metd.ref,metric.ref,S=Sref)[,choixmet]
if(log) metref <- data.frame(log1p(metd.ref),metric.ref,S=Sref)[,choixmet]
mettest <- data.frame(metd.test,metric.test,S=Stest)[,choixmet]
if(log) mettest <- data.frame(log1p(metd.test),metric.test,S=Stest)[,choixmet]

###écarts entre sites de ref par type de masse d'eau et coefficient de distance maximale
metref.dist <- apply(metref,2,tapply,typo_ref,dist)
metref.dist <- lapply(metref.dist,function(x)
      lapply(x,function(z){
      if(is.null(z)) {z <- "no ref"} else {while(nrow(as.matrix(z))<9)
      z <- my.as.dist(vec=as.vector(z),nfac=20,di=nrow(as.matrix(z)),dimax=200,eucl=eucl)}
      return(z)}
      )
      )
options(warn=-1)
coefdistmax <- sapply(metref.dist,function(x) x <- sapply(x,function(z)
if(z=="no ref") z <- matrix(0) else z <- divcmax(quasieuclid(z))$value))
options(warn=0)

###écarts à la référence
metinv.tot <- rbind(metref,mettest)
statutref <- c(rep(1,nrow(metref)),rep(0,nrow(mettest)))
typo.tot <- as.factor(c(as.character(typo_ref),as.character(typo_test)))

metinv.typo <- apply(metinv.tot,2,tapply,typo.tot,I)

metinv.ecart <- mapply(
  function(x){
    mapply(function(z) {
      zcol <- metinv.tot[,z]

      metsubref <- zcol[typo.tot==x & statutref==1]
      if(length(metsubref!=0)) {names(metsubref) <- rownames(metinv.tot)[typo.tot==x &
statutref==1]}
      else invisible(x)

      metsubtest <- zcol[typo.tot==x & statutref==0]
      if(length(metsubtest!=0)) {names(metsubtest) <- rownames(metinv.tot)[typo.tot==x &
statutref==0]}
      else invisible(x)

      if (length(metsubref)==0 | length(metsubtest)==0){ecart <- matrix(0)}
      else {ecart <- mapply(function(y) {
          ec <- euclid(metsubref,y)
```

```
155            signec <- sign(ec)
156            ecn <- (sqrt(abs(ec)/coefdistmax[x,z]))*signec
157            if(ecartr) {ecn <- ec}
158            return(ecn)
159            }
160          ,metsubtest)}
161        names(ecart) <- rep(names(metsubtest),each=length(metsubref) )
162        return(ecart)
163        },colnames(metinv.tot))
164      }
165    ,levels(typo.tot)
166  )
167  #on élimine les types non testés (pas de ref et/ou pas de test)
168  metinv.ecart <- metinv.ecart[unlist((lapply(metinv.ecart,function(x){x <- dim(x);x <-
169  !is.null(x);return(x)})))]
170
171  #construction des classes de qualité
172  note.met <- metinv.ecart
173  note.met <- lapply(note.met,function(x) {rownames(x)<- 1:nrow(x)
174  x<- as.data.frame(x)}
175  )
176  clas_u <- data.frame(classe=levels(as.factor(cut(-99:99,breaks=limclas$u))),note=1:5)
177
178  clas_d <- data.frame(classe=levels(as.factor(cut(-99:99,breaks=limclas$d))),note=5:1)
179
180  for (i in 1:length(note.met)){
181  note.met[[i]][,hyp=="u"] <- apply(note.met[[i]][,hyp=="u"],2,
182                              function(z) {
183                              z <- cut(z,breaks=limclas$u)
184                                                  levels(z) <- clas_u[,2]
185                                                  return(as.numeric(as.character(z)))}
186                              )
187
188  note.met[[i]][,hyp=="d"] <- apply(note.met[[i]][,hyp=="d"],2,
189                              function(z) {
190                              z <- cut(z,breaks=limclas$d)
191                              levels(z) <- clas_d[,2]
192                                                  return(as.numeric(as.character(z)))}
193                              )
194  note.met[[i]] <- as.matrix(note.met[[i]])
195  rownames(note.met[[i]]) <- rownames(metinv.ecart[[i]])
196  }
197  result <- do.call("rbind",lapply(note.met,function(x)
198  aggregate(x,list(rownames(x)),function(z) ceiling(median(z)))))
199  result <- data.frame(result,note_totale =rowSums(result[,2:9]))
200  if(writecsv==TRUE) {
201    write.csv(result,"result_IRM.csv")
202    cat("Le fichier result_IRM.csv a été ajouté dans",getwd(),"\n")}
203
204  #condition sur la sortie en fonction des valeurs souhaitée
205  #ATTENTION : les conditions ne sont pas prévues pour être toutes mises en même temps = TRUE.
206  Faire les sorties une par une !!!!
207  if(met.typo) result <- metinv.typo
208  if(metrefecart) result <- metref.dist
209  if(distmax) result <- coefdistmax
210  if (ecartr) result <- metinv.ecart
211  if (ecartn) result <- metinv.ecart
212  return(result)
213  }#fin de fonction IRM.
```

Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et des invertébrés benthiques.



Mai 2012

Développement de l'Indice Réunion Poissons v0 et v1 (IRP)

Maxence Forcellini, Henri Grondin, Chloé Mathieu, Nicolas Péru, Marine Richarson, Pierre Sagnes, Philippe Usseglio-Polatera et Pierre Valade

Sous la direction scientifique de Sylvie Mérigoux et Jean-Michel Olivier

Convention de recherche et développement. Office de l'eau de La Réunion-CNRS.
Programme d'étude et de recherche 2008-2011.

UMR CNRS 5023, Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés

43 Boulevard du 11 Novembre 1918 69622 Villeurbanne Cedex.

Avant-Propos

Cette étude s'est déroulée entre 2008 et 2011. La dernière réunion du Comité de pilotage de l'étude a eu lieu le 30 août 2012. En 2011, un échantillonnage a été réalisé conformément au protocole appliqué les années précédentes et 6 nouvelles stations ont été ajoutées[1] (MAT4, LIA1, CIL1, GAL0, STESUZ3 dans le cadre du R.C.S. D.C.E. et STESUZ2 dans le cadre de l'établissement d'une structure longitudinale sur la Rivière Sainte-Suzanne).

L'IRP a été appliqué aux données issues de l'échantillonnage réalisé en 2011 et les résultats ont donné lieu à des échanges entre OCEA - Consult, l'ARDA et l'UMR CNRS 5023. Ces discussions ont conduit à la mise au point d'une version 1 de l'IRP qui a été appliquée à l'ensemble du jeu de données (2000-2011). Les notes obtenues avec cette version semblent donner des résultats plus en accord avec l'avis des experts locaux. Il a donc été décidé lors du Comité de pilotage du 30 août 2012 de conserver cette version dans le futur.

Afin de faciliter la diffusion de l'ensemble des résultats relatifs à la présente étude, il a été décidé de présenter conjointement les versions V0 et V1 de l'IRP dans ce rapport.

[1] MAT4 : amont de la Rivière du Mât, LIA1 : Bras des Lianes (affluent de la Rivière du Mât), CIL1 (bras de Cilaos), GAL0 (aval de la Rivière des Galets), STESUZ2 (Rivière Sainte-Suzanne en amont de la cascade Niagara), STESUZ3 (amont de la Rivière Sainte-Suzanne).

SOMMAIRE

1 DESCRIPTION DES JEUX DE DONNÉES 4

1.1 POISSONS 4

1.2 CHOIX DES STATIONS DE RÉFÉRENCE 6

1.2.1 Pressions physico-chimiques 6

1.2.2 Pressions hydro-morphologiques 7

1.2.3 Choix des stations de référence 8

1.3 LISTE DES MÉTRIQUES CONSIDÉRÉES 14

1.4 SÉLECTIONS DES MÉTRIQUES ET HYPOTHÈSE DU SENS DE VARIATION 15

1.5 VARIABILITÉ DES MÉTRIQUES BIOLOGIQUES EN CONDITIONS DE RÉFÉRENCES 16

1.6 ECART À LA RÉFÉRENCE 16

1.7 PROJECTION DES PÊCHES « TEST » SUR L'ACP REF 17

1.8 CALCUL DES ÉCARTS À LA RÉFÉRENCE 18

2 CONSTRUCTION DES CLASSES DE QUALITÉ ET DÉTERMINATION DE LA NOTE FINALE 20

3 RÉSULTATS 25

4 DISCUSSION 29

5 INTÉGRATION DES DONNÉES COLLECTÉES EN 2011 ET PROPOSITION D'UNE VERSION V1 DE L'IRP (SEPTEMBRE 2012) 31

1 Description des jeux de données

1.1 Poissons

Les données utilisées ont été collectées dans le cadre du Réseau Piscicole de La Réunion entre 2000 et 2010. 29 stations ont été échantillonnées dans les 13 rivières pérennes de l'île. La répartition des stations dans les types de masses d'eau définies dans l'Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement (JO du 2 février 2010[2]) est présentée dans le Tableau 7. Il existe un fort déséquilibre de répartition des stations dans les différents types (Tableau 1). Pour cette raison, la classification des cours d'eau adoptée correspond à celle proposée en 2008[3] dans laquelle 2 types de cours d'eau sont identifiés : les rivières de type cirques ou pseudo-cirques (Pluies, Mât, Marsouins, Est, Langevin, Saint-Etienne, Saint-Denis, Saint-Gilles, Remparts, et Rivière des Galets), et les rivières intermédiaires du nord (Sainte-Suzanne, Saint-Jean et Rivière des Roches). Au sein de chacun des types, chaque rivière est scindée longitudinalement en 3 zones prenant en compte les caractéristiques géomorphologiques, l'altitude et la présence d'obstacles au déplacement des poissons :

- la zone aval : zone qui ne présente pas d'obstacle majeur à la libre circulation des poissons depuis la mer,
- la zone intermédiaire : matérialisée en aval par les premières ruptures de pente depuis l'embouchure ou la présence d'un cassé limitant la progression des espèces dotées des plus faibles capacités de montaison (ex. la cascade Jacqueline sur la Rivière Langevin),
- la zone amont : d'accès très limité pour la plupart des espèces, soit du fait de l'éloignement de la mer, soit par la présence d'obstacles difficilement franchissables.

La répartition des stations du Réseau Piscicole de La Réunion selon la zonation longitudinale des peuplements est présentée dans le Tableau 2.

[2] Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement, Journal officiel de la République Française, 2 février 2010.

[3] ARDA (2008) Réseau piscicole de La Réunion 2000/2007 : mise en place d'outils d'interprétation de la qualité des peuplements. Rapport à l'OLE, la DIREN, la Région Réunion & le Département de La Réunion. 25p.

Tableau 1 : Répartition des stations du Réseau Piscicole au sein des types proposés dans l'arrêté de 2010.

Station\type	M61	P61	M62	P62	MP63	MP64
RP-ROC1					1	
RP-ROC2					1	
RP-BPAN1					1	
RP-BPAN2					1	
RP-MAT0	1					
RP-MAT1	1					
RP-MAT2		1				
RP-MAT3		1				
RP-FLJA		1				
RP-PLUIES0					1	
RP-PLUIES1					1	
RP-STDENIS					1	
RP-STJEAN					1	
RP-STJEAN1					1	
RP-STESUZ					1	
RP-STGIL						1
RP-GAL1			1			
RP-MARS					1	
RP-MARS2					1	
RP-MARS3					1	
RP-EST					1	
RP-STETIEN			1			
RP-BPLA1			1			
RP-BPLA2			1			
RP-GDBASS				1		
RP-LANG1	1					
RP-LANG2	1					
RP-LANG3	1					
RP-REMPART	1					
Total	6	3	4	1	14	1

Tableau 2 : répartition des stations d'échantillonnage dans les types (bassins versants et zonation longitudinale) proposés.

Type de bassin versant	Bassin versant	Station	Zone aval	Zone intermédiaire	Zone amont
I	Saint-Denis	STDENIS		+	
I	Pluies	PLUIE 0	+		
		PLUIE 1		+	
II	Saint-Suzanne	STESUZ	+		
II	Saint-Jean	STJEAN	+		
		STJEAN 1	+		
I	Mât	MAT 0	+		
		MAT 1		+	
		MAT 2		+	
		MAT 3			+
		FLJA			+
II	Roches	ROC 1	+		
		ROC 2	+		
		BPAN 1	+		
		BPAN 2		+	
I	Marsouins	MARS 1	+		
		MARS 2		+	
		MARS 3		+	
I	Est	EST		+	
I	Langevin	LANG 1		+	
		LANG 2		+	
		LANG 3			+
I	Remparts	REMPART	+		
I	Saint-Etienne	STETIEN	+		
		BPLA 1		+	
		BPLA 2		+	
		GDBASS			+
I	Saint-Gilles	STGIL		+	
I	Galets	GAL 1		+	
TOTAL			11	14	4

1.2 Choix des stations de référence

Le choix des stations de référence a été réalisé sur la base de l'examen des modalités des différents types de pressions (qualité physico-chimique de l'eau, pression hydrologique, modalités d'occupation du sol et continuité écologique) au niveau des stations d'échantillonnage. Le détail des données est présenté dans le Tableau 3 du volet pression (à l'exception des données de continuité écologique).

1.2.1 Pressions physico-chimiques

Les classes de qualité 1 et 2 sont considérées comme déclassantes. Trois paramètres comportent des valeurs de classes potentiellement impactantes : la concentration en phosphore, la concentration en matières en suspension et la concentration en pesticides.

Les stations éventuellement déclassées par les pressions physico-chimiques sont répertoriées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : liste des 14 stations déclassées par au moins 1 des paramètres physico-chimiques (police de caractère rouge : valeurs estimées), les valeurs surlignées sont les valeurs déclassantes.

Stations	Code Sandre	Mat. Org. et Oxyd.	Mat. Azot. hors NO3	Nitrates	Phosphore	Mat. en susp.	Acidification	Pesticides
RP-EST	10050180	4	4	5	1	5	5	4
RP-STESUZ	10300280	4	4	5	1	4	5	2
RP-LANG 3	10010150	3	3	4	2	5	5	5
RP-MAT 0	10220180	3	3	4	2	2	4	3
RP-REM	10000175	4	3	5	2	5	4	4
RP-PLUIES	10310830	4	4	5	2	4	4	5
RP-PLUIES 0	10310890	4	4	5	2	4	4	4
RP-STETIEN	10610160	4	4	5	2	5	4	4
RP-STJEAN1	10300170	4	4	5	3	5	5	1
RP-STJEAN	10300180	4	4	5	3	5	5	1
RP-BPAN 2	10136550	4	4	4	3	4	5	2
RP-BPAN1	10136250	4	4	4	3	4	5	2
RP-ROC 2	10130460	3	3	5	4	5	5	2
RP-ROC 1	10130480	3	3	5	4	5	5	2

1.2.2 Pressions hydro-morphologiques

1.2.2.1 Pression hydrologique

Parmi l'ensemble des stations suivies (Réseau Piscicole), 8 stations sont déclassées par le paramètre "hydrologie" calculé sur la base des abstractions d'eau au niveau des stations d'échantillonnages (Tableau 4).

Tableau 4 : liste des 8 stations d'échantillonnage des peuplements de poissons déclassées par le paramètre "hydrologie" ; valeur de "R" dans ces stations et classe (R= débit mesuré / débit théorique sans prélèvement).

Code station	Code_sandre	R	Classe
RP-EST	10050180	7,23	5
RP-GAL1	10410125	48,6	3
RP-MARS 3	10120150	2,5	5
RP-MAT 1	10220110	40,89	3
RP-BPLA 2	10610250	3,99	5
RP-BPLA 1	10610290	8,75	5
RP-STETIEN	10610160	8,42	5
RP-STGIL	10510550	32,76	4

1.2.2.2 Occupation du sol

Les paramètres d'occupation du sol pouvant potentiellement avoir un impact sur la qualité des peuplements piscicoles sont les pourcentages de surfaces urbanisées, de surfaces utilisées pour l'agriculture intensive en amont des stations d'échantillonnage soit à l'échelle du bassin versant, soit à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon. Les valeurs de pourcentage déclassantes pour les paramètres d'occupation du sol sont :

- pourcentage d'urbanisation à l'échelle du bassin versant en amont de la station : ≥ 15%

- pourcentage de surface en agriculture intensive à l'échelle du bassin versant en amont de la station : ≥ 15%
- pourcentage d'urbanisation en amont de la station à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon : ≥ 10%
- pourcentage de surface en agriculture de canne à sucre à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon : ≥ 10%
- pourcentage de surface en agriculture intensive à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon : ≥ 10%

Les stations potentiellement déclassées sont : RP-FLJA, RP-MARS, RP-MAT3, RP-MAT2, RP-MAT0, RP-BPAN1, RP-PLUIES0, RP-ROC1, RP-BPAN2, RP-BPLA1, RP-GDBASS, RP-LANG1, RP-MAT1, RP-STESUZ, RP-STJEAN1, RP-STETIEN, RP-STGIL, RP-STJEAN.

1.2.2.3 Continuité écologique

Les résultats issus de l'étude sur l'évaluation de la continuité écologique des 13 rivières pérennes de La Réunion (DEAL, 2011)[4] montrent que pour l'ensemble des cours d'eau, la continuité pour la montaison est fortement perturbée notamment pour les bouches rondes (*Sicyopterus lagocephalus*, *Cotylopus acutipinnis*), les anguilles et les poissons sans adaptation au franchissement (*Awaous commersoni*, *Eleotris* sp.), et de manière plus modérée pour le Chitte (*Agonostomus telfairii*) et le poisson plat (*Kuhlia rupestris*).

1.2.3 Choix des stations de référence

La démarche méthodologique de mise au point des indices de bioévaluation de la qualité écologique des cours d'eau imposée par la D.C.E. nécessite de caractériser les peuplements des stations les moins impactées possibles par les activités anthropiques. Lorsque la situation actuelle ne permet pas de réaliser cette opération, il est possible de procéder à une évaluation de la composition faunistique soit à partir de données fournies par des experts, soit à partir d'un travail de modélisation permettant d'estimer la composition et la densité des organismes. À La Réunion, aucune de ces deux méthodes alternatives n'est utilisable.

Le choix de stations de référence nécessite donc une opération de <u>reclassement</u> d'un ensemble de stations selon différents critères visant à minimiser l'impact de certaines activités.

[4] DEAL - Service Eau et Biodiversité - (2011) : évaluation de la continuité écologique des 13 rivières pérennes de La Réunion. Proposition d'un plan d'un plan d'action pour reconquérir cette continuité. Phase 1 – Diagnostic, Phase 2 évaluation de la continuité.

Nous avons donc délibérément choisi d'examiner l'impact des pêcheries de bichiques sur les notes de continuité biologique au niveau des stations d'échantillonnage. Si l'on fait abstraction de l'impact de ces pêcheries, les notes de continuité sont améliorées pour la quasi-totalité des stations (sauf 3) et essentiellement pour les 2 espèces de cabots bouche ronde (Tableau 5).

En raison du caractère diadrome des espèces autochtones de poissons de La Réunion, **la continuité écologique est un facteur déterminant** pour la structure des peuplements et la densité des populations piscicoles des rivières.

L'altération de la continuité et l'altération des régimes de débits, constituent probablement les pressions anthropiques ayant l'impact le plus important sur les peuplements piscicoles. Le braconnage, pression non mesurée et non-quantifiable, est également probablement une autre source de perturbation pour des espèces cibles comme les anguilles par exemple.

En conséquence, compte-tenu du (relativement) faible nombre de stations d'échantillonnage et des caractéristiques biologiques et écologiques des espèces autochtones de La Réunion (espèces diadromes), les 2 paramètres majeurs pris en compte pour le choix des stations de référence sont la **continuité écologique** et les **pressions hydrologiques**.

Les 9 stations de référence ont été déterminées suite au calcul réalisé en faisant abstraction de la pression induite par les pêcheries de bichiques (Tableau 5). Si l'on occulte cette pression, les indices de continuité dans ces stations sont proches de ceux observés dans les conditions naturelles pour plusieurs groupes d'espèces (en particulier les cabots bouche ronde).

Tableau 5 : note de continuité biologique au droit des stations d'échantillonnage du Réseau Piscicole de La Réunion en situation aménagée (actuelle) en faisant abstraction de la perturbation engendrée par les pêcheries de bichiques aux embouchures.

Les pêcheries de bichiques sont ici considérées comme des obstacles de type 4 (barrière quasi-totale) pour les bouches rondes (espèces cibles), de type 2 (impact modéré) pour les anguilles et les "Poissons divers".

Stations	Type BV	Position	Hydro	Continuité biologique aménagée à la montaison - **sans pêcheries de bichiques**				
RP			Hydro-eco-2010	Cabots bouche ronde	Anguilles	Chitte	Kuhlia	Poissons divers
LANG 1	1	intermédiaire	M61	2	2	4	4	3
LANG 2	1	intermédiaire	M61	2	3	4	4	4
LANG 3	1	amont	M61	3	4	4	4	4
REMPART	1	aval	M61	2	3	2	3	4
STETIEN	1	aval	M62	2	2	2	3	3
BPLA 1	1	intermédiaire	M62	2	2	2	3	3
BPLA 2	1	intermédiaire	M62	2	2	2	3	3
GDBASS	1	amont	P62	2	4	4	4	4
STGIL	3	intermédiaire	MP64	3	3	3	4	4
GAL 1	3	intermédiaire	M62	3	3	3	4	4
STDENIS	3	intermédiaire	MP63	2	3	3	4	4
PLUIES 0	1	aval	MP63	1	1	1	1	1
PLUIES	1	intermédiaire	MP63	1	1	1	1	1
STESUZ	2	aval	MP63	2	3	2	2	3
STJEAN	2	aval	MP63	1	1	1	1	1
STJEAN 1	2	aval	MP63	1	1	1	1	1
MAT 0	1	aval	M61	1	1	1	1	1
MAT 1	1	intermédiaire	M61	2	3	4	4	4
MAT 2	1	intermédiaire	P61	2	3	4	4	4
MAT 3	1	amont	P61	2	4	4	4	4
FLJA	1	amont	P61	2	4	4	4	4
ROC 1	2	aval	MP63	2	2	2	3	3
ROC 2	2	aval	MP63	2	2	2	3	3
BPAN 1	2	aval	MP63	2	2	2	3	3
BPAN 2	2	intermédiaire	MP63	2	2	2	3	3
MARS 1	1	aval	MP63	1	1	1	1	1
MARS 2	1	intermédiaire	MP63	1	1	1	1	1
MARS 3	1	intermédiaire	MP63	1	1	1	1	1
EST	1	intermédiaire	MP63	3	3	3	3	3
				4	pas de changement/situation naturelle			
				3	pas de changement/situation naturelle			

Les valeurs des différentes métriques de pressions anthropiques des stations de référence sont consignées dans le Tableau 6.

Les coefficients de pressions hydrologiques (classes hydrologiques) dans les stations de référence sont tous égaux à 1 (pas d'impact).

La qualité physico-chimique des stations de référence est généralement bonne (indice compris entre 2 et 5). Cinq valeurs sont égales à 2 : le paramètre de qualité pour le phosphore dans

les stations MAT0 et PLUIES1, le paramètre de concentration en matières en suspension à la station MAT0 et le paramètre de qualité pour les pesticides aux stations BPAN2 et ROC2. Les fortes valeurs de concentration en phosphore observées de manière ponctuelle sont à mettre en relation avec la nature volcanique du substratum de l'Île de La Réunion. Elles ne sont pas associées à de fortes concentrations en nitrates, il est donc très improbable qu'elles induisent des phénomènes d'eutrophisation durables lorsque les débits sont moyens. Pour cette raison nous n'avons pas considéré ces valeurs comme déclassantes dans les stations concernées. La valeur de concentration en MES à la station MAT0 n'a pas été considérée comme déclassante en raison du manque d'information concernant l'impact de cette variable (dans la gamme de valeurs mesurées) sur les espèces de poissons. La valeur concernant les pesticides aux stations BPAN2 et ROC2 est une valeur estimée (du fait du faible nombre de stations de mesure pour ce paramètre), nous n'avons donc pas considéré cette valeur comme déclassante.

Concernant les pourcentages d'occupation du sol par des activités humaines potentiellement impactantes, les valeurs des variables peuvent être importantes mais ont été considérées comme peu impactantes par rapport aux métriques de continuité ou de pression hydrologique.

L'absence de données permettant d'établir des corrélations entre ces variables d'occupation du sol et des métriques biologiques concernant les espèces de poissons nous incite à adopter cette démarche.

En résumé, nous avons identifié 9 stations de référence parmi les 29 stations échantillonnées, les 20 autres stations étant des stations dites « test » (Tableau 7).

Le nombre de stations de référence et de stations « test » dans chacun des 2 types de bassin versant et par zone est indiqué dans le Tableau 8.

Tableau 6 : valeurs des métriques de pressions pour les stations de référence (station d'échantillonnage des poissons). Avec HER : Hydroécorégion ; Type : type de cours d'eau selon la typologie proposée en 2008 avec 1 pour les rivières de type cirques ou pseudo-cirques et 2 pour les rivières intermédiaires du nord ; Urb : pourcentage d'urbanisation à l'échelle du bassin versant en amont de la station ; Agri. int. : pourcentage de surface en agriculture intensive à l'échelle du bassin versant en amont de la station ; Urb. 100m : pourcentage d'urbanisation en amont de la station à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon ; Agri. can. 100m : pourcentage de surface en agriculture de canne à sucre à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon ; Agri. int. 100m : pourcentage de surface en agriculture intensive à l'échelle du tronçon ou du sous-tronçon ; Mo. oX. : classe de qualité pour les matières organiques et oxydables ; MN : classe de qualité pour les matières azoté (hors NO3) ; NO3 : classe de qualité pour les nitrates ; Phos. : Classe de qualité pour les matières phosphorées ; MES : classe de qualité pour la matière en suspension ; Acid. : classe de qualité pour l'acidification ; Micrpol. : classe de qualité pour les micropolluants ; Clas.hydro. : classe de qualité pour l'hydrologie ; R= débit mesuré / débit théorique sans prélèvement.

Stations	HER 2010	Type	Zone	Urb.	Agri. int.	Urb. 100m	Agri. can. 100m	Agri. int. 100m	Mo. oX.	MN	NO3	Phos.	MES	Acid.	Micrpol.	Clas. hydro.	R
RP-MAT0	P62	1	aval	5,0%	22,9%	10,9%	14,5%	19,6%	3	3	4	2	2	4	3	1	93,56
RP-BPAN2	P62	2	interm	0,0%	9,7%	0,0%	0,0%	32,4%	4	4	4	3	4	5	2	1	100
RP-GDBASS	P61	1	amont	0,0%	15,5%	0,0%	0,0%	0,0%	5	5	5	5	5	5	5	1	80,5
RP-LANG1	P61	1	interm	2,4%	17,2%	15,7%	0,0%	34,5%	3	3	5	4	5	4	5	1	94,78
RP-LANG2	P62	1	interm	1,6%	12,0%	8,7%	0,0%	0,0%	3	3	5	4	5	4	5	1	94,78
RP-STJEAN	P62	2	aval	14,6%	64,3%	33,8%	36,0%	66,2%	4	4	5	3	5	5	1	1	98,48
RP-MARS2	P62	1	interm	0,2%	1,8%	0,0%	0,9%	0,9%	3	3	5	4	5	4	3	1	100
RP-PLUIES1	P61	1	interm	1,2%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	4	4	5	2	4	4	5	1	148,61
RP-ROC2	M61	2	aval	0,5%	5,9%	0,0%	5,4%	6,2%	3	3	5	4	5	5	2	1	95,02

Tableau 7 : Statut des 29 stations d'échantillonnage « poissons ». En bleu les stations de référence.

Bassin Versant	Station	dist. mer	Rang de Strahler	Code sandre	Code masse d'eau	Type ME HER 2010	Code HER 2010	Type de bv	Zone	Ref/test
Rivière des Roches	RP-ROC1	1125	3	10130480	FRLR09	Versants au vent	MP63	2	aval	test
	RP-ROC2	3625	3	10130460	FRLR09	Versants au vent	MP63	2	aval	ref
	RP-BPAN1	3375	2	10136250	FRLR09	Versants au vent	MP63	2	aval	test
	RP-BPAN2	7200	1	10136550	FRLR09	Versants au vent	MP63	2	interm.	ref
Rivière du Mât	RP-MAT0	1800	3	10220180	FRLR08	Cirques au vent (couloir)	M61	1	aval	ref
	RP-MAT1	7600	3	10220110	FRLR08	Cirques au vent (couloir)	M61	1	interm.	test
	RP-MAT2	14670	2	10200190	FRLR05	Cirques au vent (réception)	P61	1	interm.	test
	RP-MAT3	20650	1	10200180	FRLR05	Cirques au vent (réception)	P61	1	amont	test
	RP-FLJA	18195	2	10206180	FRLR05	Cirques au vent (réception)	P61	1	amont	test
Rivière des Pluies	RP-PLUIES0	1250	1	10310890	FRLR02	Versants au vent	MP63	1	aval	test
	RP-PLUIES1	5575	1	10310830	FRLR02	Versants au vent	MP63	1	interm.	ref
Rivière St-Denis	RP-STDENIS	3850	2	10320350	FRLR01	Versants au vent	MP63	1	interm.	test
Grande Rivière St-Jean	RP-STJEAN	2300	2	10300180	FRLR04	Versants au vent	MP63	2	aval	ref
	RP-STJEAN1	5500	2	10300170	FRLR04	Versants au vent	MP63	2	aval	test
Rivière Ste-Suzanne	RP-STESUZ	3600	2	10300280	FRLR03	Versants au vent	MP63	2	aval	test
Ravine St-Gilles	RP-STGIL	2175	1	10510550	FRLR21	Versants sous le vent	MP64	1	interm.	test
Rivière des Galets	RP-GAL1	13600	3	10410125	FRLR24	Cirques sous le vent (couloir)	M62	1	interm.	test
Rivière des Marsouins	RP-MARS	350	3	10120180	FRLR10	Versants au vent	MP63	1	aval	test
	RP-MARS2	5350	3	10120170	FRLR10	Versants au vent	MP63	1	interm.	ref
	RP-MARS3	16000	3	10120150	FRLR10	Versants au vent	MP63	1	interm.	test
Rivière de l'Est	RP-EST	3250	2	10050180	FRLR11	Versants au vent	MP63	1	interm.	test
Rivière St-Etienne	RP-STETIEN	1575	3	10610160	FRLR20	Cirques sous le vent (couloir)	M62	1	aval	test
	RP-BPLA1	7500	2	10610290	FRLR17	Cirques sous le vent (couloir)	M62	1	interm.	test
	RP-BPLA2	14850	2	10610250	FRLR17	Cirques sous le vent (couloir)	M62	1	interm.	test
	RP-GDBASS	23100	1	10610210	FRLR16	Cirques sous le vent (réception)	P62	1	amont	ref
Rivière Langevin	RP-LANG1	10	1	10010190	FRLR13	Cirques au vent (couloir)	M61	1	interm.	ref
	RP-LANG2	2800	1	10010180	FRLR13	Cirques au vent (couloir)	M61	1	interm.	ref
	RP-LANG3	5750	1	10010150	FRLR13	Cirques au vent (couloir)	M61	1	amont	test
Rivière des Remparts	RP-REMPART	2100	1	10000175	FRLR15	Cirques au vent (couloir)	M61	1	aval	test

Tableau 8 : Nombre de stations de référence et de stations « test » dans chacun des 2 types de bassin versant et par zone.

BV\ zone	Amont	Intermédiaire	Aval	Ref	Test
BV de type 1	4	11	8	6	17
BV de type 2		1	5	3	3

1.3 Liste des métriques considérées

Les premières propositions de construction d'un indice de bioindication basé sur les peuplements de poissons intégraient les données concernant les populations de macrocrustacés. Le caractère diadrome de ces espèces constituait le principal argument motivant l'intégration de ce groupe faunistique dans la démarche. La D.C.E. impose qu'un indicateur basé sur des métriques relatives au peuplement piscicole n'envisage pas l'ajout d'autres groupes faunistiques dans un même indice (indice mixte). La question de la création d'un indice « macrocrustacés » différent de l'indice « macroinvertébrés benthiques » doit être posée, et ce pour l'ensemble des D.O.M. où ces organismes développent des populations importantes. Dans le présent travail, les macrocrustacés ont été écartés du jeu de données utilisé.

Le choix des métriques biologiques est une étape essentielle dans le cadre du développement d'un indice biotique. Aussi, dans un premier temps, 5 métriques ont été considérées. Des critères de sélection ont ensuite été mis en place pour ne garder que les métriques pertinentes. Des **hypothèses claires doivent être notamment posées quant aux variations des valeurs des métriques face à un impact anthropique potentiel**. **Cinq métriques** ont donc été testées pour le développement de l'IRP. Il s'agit de **la richesse totale en taxons, la richesse en espèces accompagnatrices** ainsi que **les densités en *Sicyopterus lagocephalus*** (SIC), **en *Cotylopus acutipinnis*** (COA) **et en espèces accompagnatrices** (dacc)**.**

Les espèces accompagnatrices sont des espèces qui sont présentes au côté des espèces de bouches rondes avec des densités moins importantes que ces dernières. La liste de ces espèces varie en fonction de la position des stations sur le gradient longitudinal :

- Cours inférieur : *Anguilla bicolor*, *Eleotris mauritiana*, *Kuhlia rupestris*, *Microphis brachyurus m.*, *Stenogobius polyzona*, *Agonostomus telfairii*, *Anguilla mossambica*,
- Cours moyen : *Agonostomus telfairii*, *Anguilla mossambica*, *Awaous commersoni*, *Eleotris fusca,*
- Cours supérieur : *Anguilla mossambica*, *Anguilla marmorata*.

1.4 Sélections des métriques et hypothèse du sens de variation

Les métriques qui présentaient des valeurs de faible amplitude dans les différents types de masses d'eau telles que définies par Olivier *et al.* (2004) ont été supprimées des analyses. Il s'agit des métriques de richesses citées précédemment. La corrélation entre métriques a également été prise en compte mais aucune corrélation importante (> 80 %) n'a été mise en évidence (*Figure 1*).

La sélection des métriques nous a conduit à retenir les trois métriques de densité en espèces (SIC, COA et dacc ; *Figure 1*).

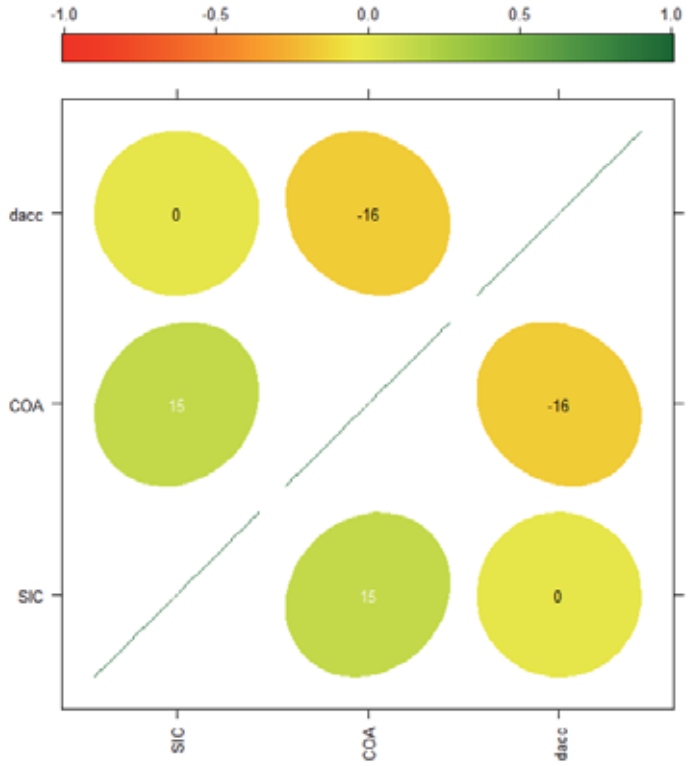


Figure 1 : Corrélogramme des valeurs des métriques (normées au préalable) retenues dans les sites de référence. Pour chaque corrélation, la forme est de plus en plus elliptique lorsque la corrélation tend vers 1 ou -1. Le code couleur permet de distinguer rapidement les corrélations positives (en vert) ou négatives (en rouge). La valeur exacte du coeffcient de corrélation de Pearson est indiquée. SIC : densité en Sicyopterus lagocephalus. COA : densité en Cotylopus acutipinnis. Dacc : densité en espèces accompagnatrices.

Le sens de variation des trois métriques en réponse à un impact est le même : **une augmentation des pressions** devrait entraîner **une diminution des densités**.

1.5 Variabilité des métriques biologiques en conditions de références

L'approche basée sur la comparaison à des conditions de référence nécessite une évaluation de la variabilité des métriques dans les stations de référence pour chaque type. Pour ce faire, nous avons réalisé une Analyse en Composantes Principales (ACP) sur le tableau pêches x métriques (87 lignes (pêches) x 3 colonnes (métriques)). Cette analyse illustre la variabilité des valeurs observées des trois métriques retenues dans les pêches[5] annuelles réalisées dans les stations de référence.

L'ACP, appelée « ACP ref » dans la suite du rapport, révèle une bonne homogénéité des conditions de référence dans les types de masse d'eau mais une **variabilité** intra-station, c'est-à-dire **interannuelle**, qui peut être forte (*Figure* 2). Cette variabilité peut avoir plusieurs origines et peut en particulier traduire des différences de succès de colonisation au niveau des embouchures lors de la phase initiale de montaison des post-larves

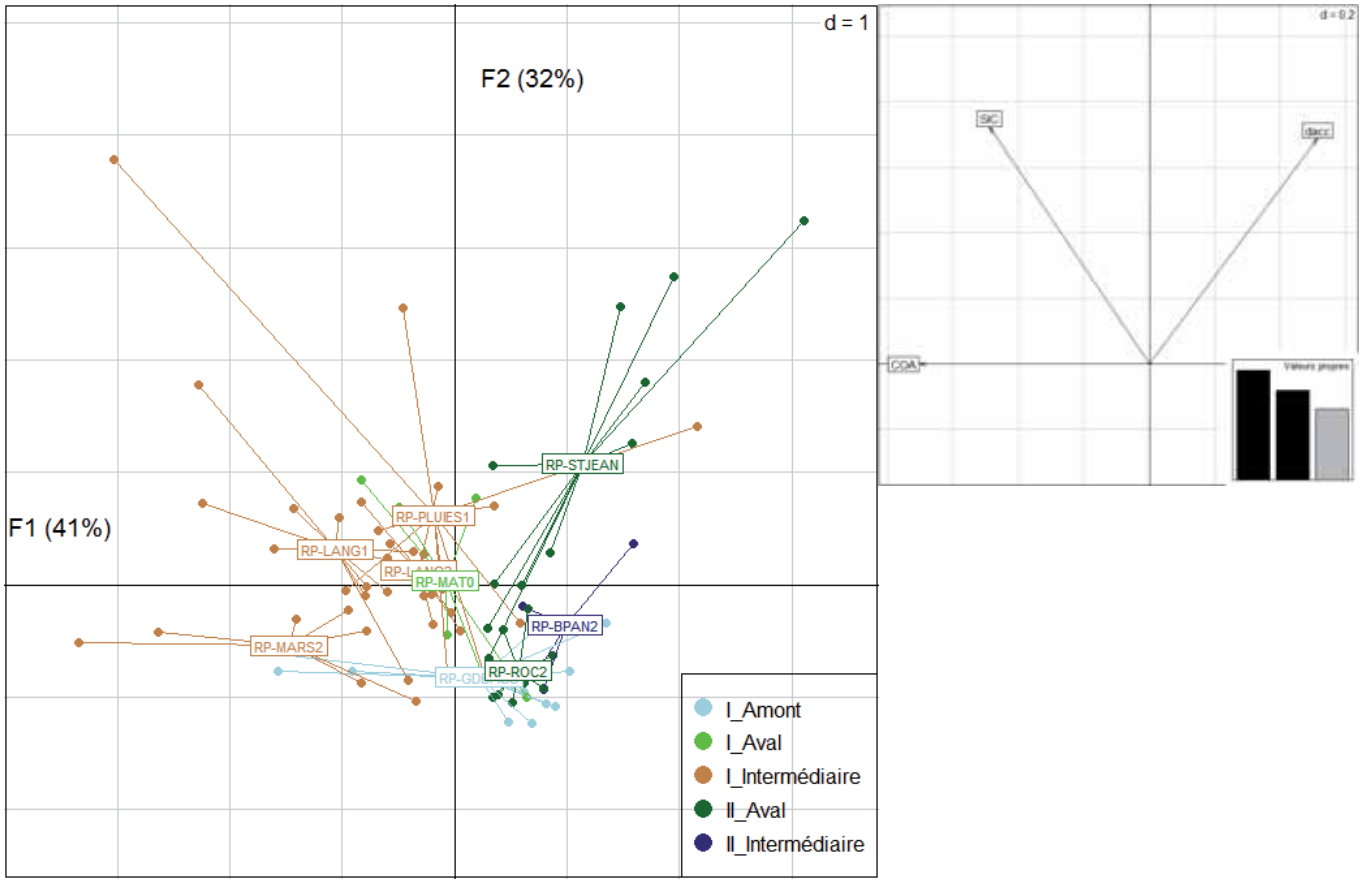


Figure 2 : A gauche : Premier plan factoriel de l'ACP ref. Chaque point correspond à une pêche dans un site de référence. Chaque station est positionnée au barycentre des pêches annuelles. Les couleurs regroupent les stations selon leur type de masses d'eau. A droite : Premier plan factoriel de l'ACP ref des trois métriques retenues.

1.6 Ecart à la référence

L'approche DCE compatible impose une comparaison des stations « test » à une référence. Une valeur de référence doit donc être définie pour chaque métrique biologique et pour chacun des

[5] une pêche correspond à un échantillonnage réalisé dans une station à une date donnée

types de masses d'eau. De manière générale, les outils de bioindication se basent sur la moyenne des valeurs observées (Bonada *et al*. 2006[6]) au sein d'un type de masses d'eau. Dans le contexte des métriques « poissons » de l'île de La Réunion, ce calcul de la moyenne serait inadapté vu la variabilité importante observée au sein de chaque station de référence (Figure 2). Cette variabilité, en plus du faible nombre de stations, impose d'essayer de conserver le maximum de valeurs de référence possible afin 1) d'exprimer au mieux la variabilité en conditions de référence et 2) d'avoir un nombre de valeurs statistiquement suffisant. Le choix a donc été fait de conserver les valeurs des métriques pour toutes les pêches effectuées dans tous les types. Ainsi, pour une valeur d'une métrique donnée d'une pêche « test » donnée, on calculera les écarts de cette valeur à chacune des pêches de référence du type correspondant. Certaines stations de référence ayant été suivies à partir de 2004 permettront d'obtenir sept valeurs d'écarts pour une campagne « test » donnée alors que celles suivies depuis 2000 donneront 11 valeurs d'écart.

1.7 Projection des pêches « test » sur l'ACP ref

La projection des stations « test » sur le premier plan factoriel de l'ACP ref présente une première illustration de l'importance des écarts entre pêches « test » et pêches de référence suivant le type de masses d'eau considéré (*Figure 3*).

[6] Bonada, N., N. Prat, V. H. Resh, and B. Statzner. 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approach. *Annual Review of Entomology*, **51**:495-523.

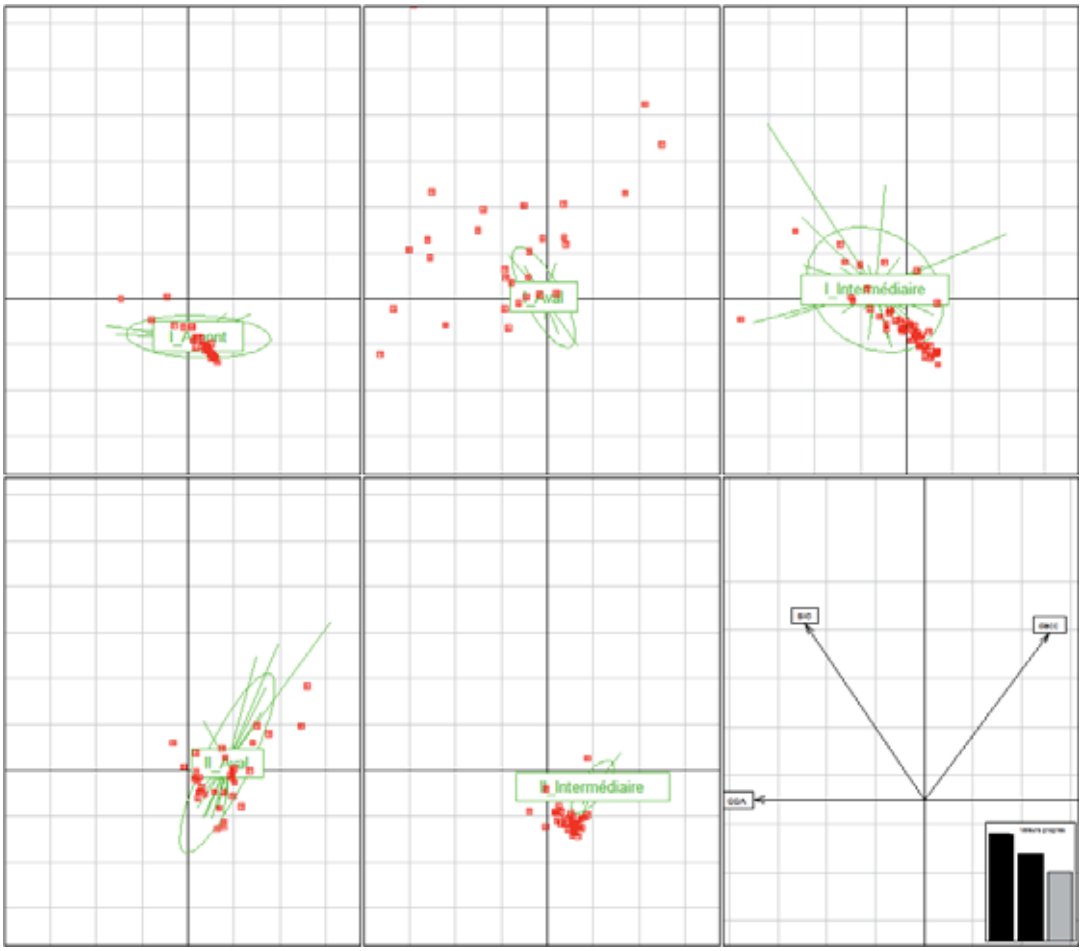


Figure 3 : Projection en individus supplémentaires des pêches « test » (carrés rouges) sur le premier plan factoriel de l'ACP ref. La distribution des valeurs de référence est représentée par une ellipse illustrant la variabilité au sein de chaque type. Le plan des métriques est redonné pour faciliter l'interprétation de la variabilité des conditions de référence.

1.8 Calcul des écarts à la référence

Dans la définition des écarts à la référence, il est important de pouvoir distinguer des écarts dus à une simple variabilité naturelle des communautés (faibles impacts anthropiques) de ceux provenant d'une modification du milieu d'origine anthropique. Au sein d'un type donné, la variabilité des conditions de référence (exprimant en grande partie la variabilité naturelle des communautés) d'une métrique donnée est quantifiée par les distances Euclidiennes entre pêches de référence. A partir de la matrice de ces distances, le coefficient de distance maximale est calculé selon un algorithme (Rao 1982[7], Chessel *et al*. 2004[8]) qui vise à estimer la distance maximale théorique que l'on pourrait obtenir selon la distribution observée des distances. Cette démarche est à rapprocher des estimateurs de richesse établis à partir des courbes de saturation (Magurran, 2004[9]). On notera que l'algorithme conduit quasiment toujours à une valeur maximale estimée très

[7] Rao, C.R. 1982. Diversity and dissimilarity coefficients: a unified approach. *Theoretical Population Biology*, 21 : 24–43.
[8] Chessel, D., A.B. Dufour & J. Thioulouse 2004. The ade4 package-I-One-table methods. *R News*. 4: 5-10.
[9] Magurran A.E. (2004) Measuring biological diversity. Blackwell Science (Ltd). 209p.

importante[10], toujours très supérieure à l'écart maximal observé entre stations de référence (Tableau 9).

Tableau 9 : Valeurs du coefficient de distance théorique maximale (colonnes divcmax) et de l'écart maximal observé entre pêches de référence (colonnes Obs.) pour chaque métrique de l'IRP dans chaque type de masse d'eau.

	Type I						Type II			
	Amont		Intermédiaire		Aval		Aval		Intermédiaire	
	divcmax	Obs.	divcmax	Obs.	divcmax	Obs.	divcmax	Obs.	divcmax	Obs.
SIC	6268	158	3.07E+05	1109	78356	560	42828	414	5663	151
COA	37870	389	95533	618	610	49	1158	68	3	3
dacc	13	7	77	18	8	6	191	28	18	8

L'écart à la référence pour une métrique donnée d'une pêche « test » donnée, est ensuite quantifié par les distances Euclidiennes de cette pêche « test » aux pêches de référence.

Les écarts à la référence ont été standardisés en les divisant par le coefficient de distance maximale. Cette standardisation permet de fournir une échelle des écarts commune pour tous les types et toutes les métriques et de faciliter la définition des échelles de qualité. Le score standardisé (e_{ik}, ci-dessous) exprime le pourcentage de différence observé entre une pêche « test » et ses pêches de référence par rapport à la différence maximale que l'on pourrait attendre au regard de la variabilité naturelle. Cet écart devrait être généralement compris dans l'intervalle [0,1] mais peut s'en écarter dans les situations nettement éloignées des conditions de référence. Du fait de la valeur élevée prise par le coefficient de distance maximale, il a été décidé de prendre la racine carrée de l'écart afin d'avoir une meilleure utilisation de l'intervalle [0,1]. Cependant, ceci a pour conséquence de réduire la valeur des écarts >1. Ceci sera pris en compte lors de la construction des classes de qualité.

$$e_{ik} = \sqrt{\frac{\mathrm{d_{Euclid}}\ (\mathrm{REF}_{jl}, \mathrm{TEST}_{ik})}{\mathrm{divc_{max}}(\mathrm{d_{Euclid}}\ (\mathrm{REF}))}}$$

avec, e_{ik} : l'écart à la référence de la station test i lors de la campagne k ; REF_{jl} : la valeur pour la station de référence j de la campagne l et $\mathrm{divc_{max}}(\mathrm{d_{Euclid}}\ (\mathrm{REF}))$: le coefficient de distance maximale entre stations de référence.

Une distance étant sans signe par définition, nous avons conservé le signe de la différence :

$$sgn(e_{ik}) = REF - TEST$$

[10] Péru, N. 2010. Apport des traits biologiques dans la caractérisation de la diversité fonctionnelle des écosystèmes lotiques en situation de référence. Thèse. Lyon 1, Villeurbanne.

Avec REF et TEST, les valeurs brutes des métriques pour les stations-campagnes de référence et la station-campagne « test » respectivement.

Par ce mode de calcul, il y a deux possibilités quant à l'interprétation des valeurs des e_{ik} (qui varie donc après cette conservation du signe de -∞ à +∞) :

-la **réponse de la métrique** est supposée **croissante** (d'après les hypothèses du sens de variations des métriques à un impact) : la pression est supposée induire une augmentation de la valeur de la métrique. Dans ce cas, les **impacts devraient être mesurés par des** $e_{ik}<0$ dont la valeur absolue est d'autant plus forte que l'on s'écarte de la situation de référence.

-la **réponse de la métrique** est supposée **décroissante** (d'après les hypothèses du sens de variations des métriques à un impact) : la pression induit une réduction de la valeur de la métrique. Dans ce cas, les **impacts devraient être mesurés par** $e_{ik}>0$ dont la valeur absolue est d'autant plus forte que l'on s'écarte de la situation de référence. C'est le cas avec les métriques biologiques choisies pour calculer l'IRP.

A la suite de cette étape, nous disposons d'un ensemble de valeurs d'écarts aux valeurs de référence pour chaque métrique d'une pêche « test » donnée. Nous avons choisi de retenir la médiane de cette distribution comme valeur servant à définir la classe de qualité pour la pêche « test ».

En résumé, si après calcul on obtient pour une métrique donnée, un signe opposé au sens attendu des impacts, on est en situation de non-impact. Par exemple, si on observe une augmentation de la densité en SIC ($e_{ik}<0$ ⇔ REF-TEST<0) alors qu'un impact devrait induire une diminution ($e_{ik}>0$ ⇔ REF-TEST>0) alors on est en situation de non-impact.

2 Construction des classes de qualité et détermination de la note finale

La construction de l'échelle de qualité a été faite à partir de la distribution empirique des écarts à la référence pour toutes les métriques confondues.

Dans le cas d'une métrique dont la valeur est supposée diminuer en réponse à un impact, on attend une valeur d'écart positive (respectivement négative dans le cas d'une métrique en augmentation) en cas d'impact. Les trois classes de mauvais état au sens DCE (i.e. : « Etat moyen », « Mauvais état » et « Très mauvais état »), seront donc définies dans l'intervalle]0, +∞[(respectivement]-∞, 0[). De fait, toutes les valeurs d'écart >1 (respectivement <-1) s'écartent très

fortement de la référence et constituent donc la classe de « Très mauvais état » et se verront attribuer un score de 1. Les écarts entre 0.55 et 1 (respectivement -1 et -0.55), constitueront la classe « Mauvais état » et auront un score de 2. Nous avons choisi de considérer un écart à la référence de 10% (en valeur absolue) comme acceptable d'un point de vue écologique. Ainsi, la classe « Etat moyen » (score de 3) sera attribuée pour des écarts dans l'intervalle 0.55 et 0.1 (respectivement -0.55 et -0.1) et le « Bon état » (score de 4) sera atteint pour des écarts entre 0.1 et -0.5 (respectivement -0.1 et 0.5). Ces intervalles sont repris dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Limites des 5 classes d'état écologique définies à partir des hypothèses sur le sens de variation des métriques en réponse à un impact. Les valeurs dans les intervalles correspondent aux écarts avec leur signe.

	Réponse de la métrique
Etat	e > 0
Très mauvais	]1, +∞[
Mauvais	]0.55, 1]
Moyen	]0.1,0.55]
Bon	]-0.5, 0.1]
Très bon	]-∞,-0.5]

La Figure 4 montre un exemple de sortie graphique.

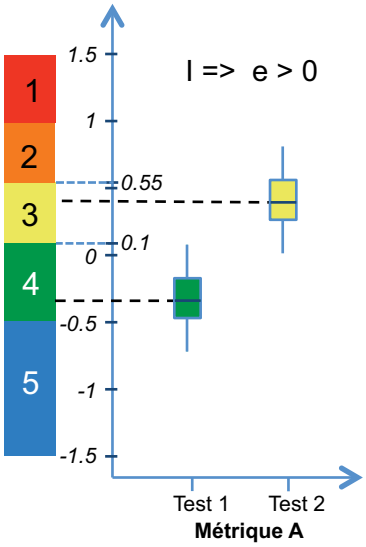


Figure 4 : Exemple fictif de graphe des notes de l'IRP pour une métriques A dans deux stations « test » 1 et 2.

La note globale de l'IRP est donc calculée en additionnant les 3 notes de qualité exprimées par chacune des 3 métriques biologiques et écologiques retenues. On obtient ainsi une note/15 (Tableau 11).

Tableau 11 : Notes calculées en additionnant les 3 métriques biologiques et écologiques retenues et limites des 5 classes de qualité.

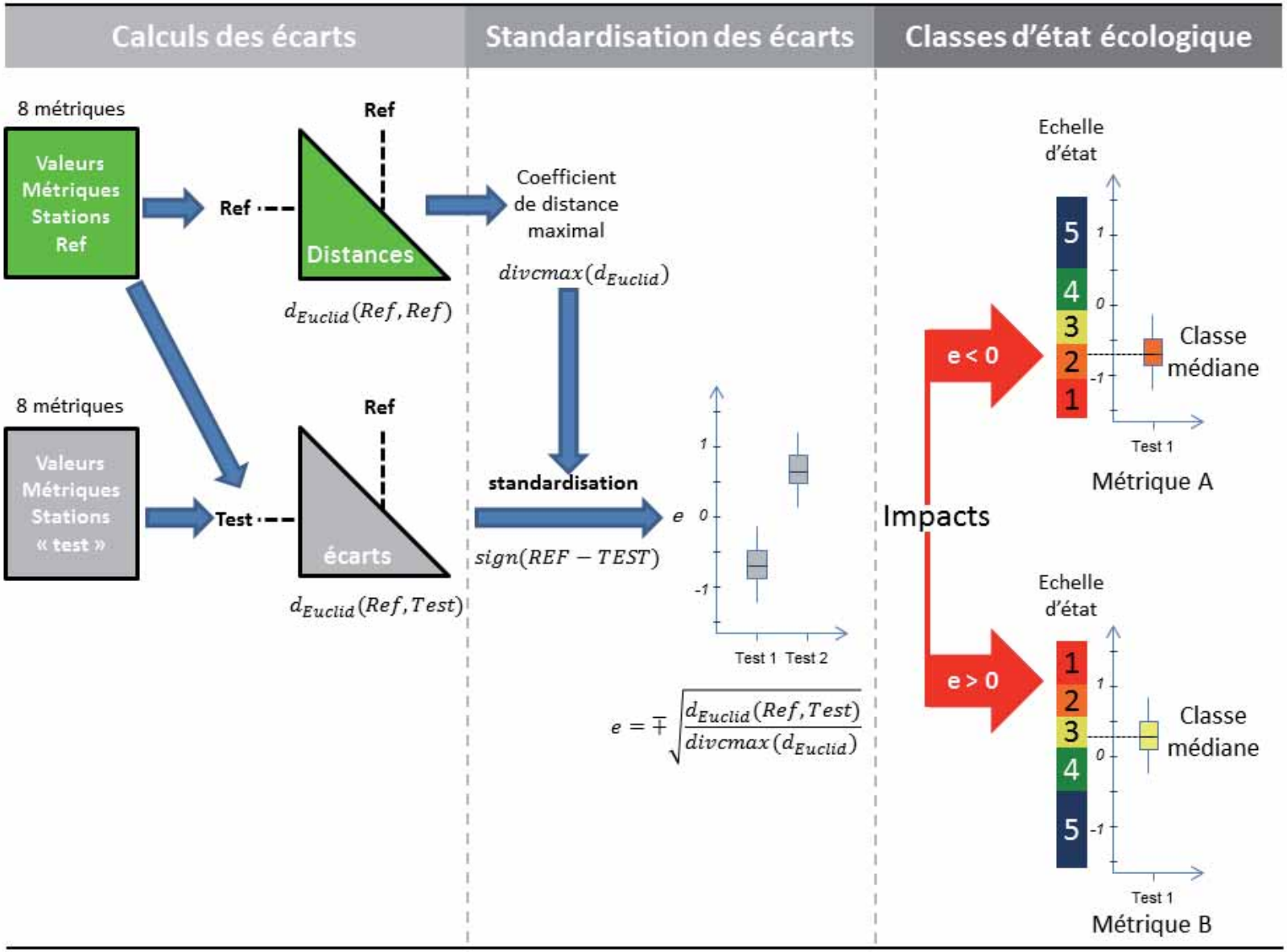
Etat	Note
Très mauvais	[3-5]
Mauvais	[6-8]
Moyen	[9-11]
Bon	[12-14]
Très bon	15

La procédure de calcul est indiquée dans la FICHE TECHNIQUE D'UTILISATION DE LA FONCTION IRP_v0 sous *v0.1.4 (15 juillet 2012)*[11].

[11] R Development Core Team, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.

Démarche de la construction de l'indice IRP.

Trois grandes étapes de la construction de l'indice : 1 - Phase de calcul des écarts : calcul de deux matrices de distances pour chaque métrique retenue entre stations de référence (triangle vert) d'une part, et entre stations « test » et stations de référence d'autre part (triangle gris). 2 - Phase de standardisation des écarts : la matrice de distances entre stations de référence sert de base au calcul du coefficient de distance maximale. Les écarts Ref-Test sont divisés par ce coefficient. L'écart utilisé correspond à la racine carrée de ce quotient auquel est affecté le signe de la différence entre la valeur de référence de la métrique et la valeur test. 3 - Phase de construction des classes d'état écologique : définies selon le sens de variation attendu en réponse à un impact et également selon la distribution empirique des écarts à la référence (e). La médiane de la distribution des écarts d'une station « test » est utilisée pour définir la classe d'état écologique finale de la station.



Résumé de la démarche méthodologique – Indice Réunion poissons (IRP)

Jeu de données : 29 stations échantillonnées de 2000 à 2010 (11 campagnes d'échantillonnage)

Évaluation des pressions (analyse pressions-impacts) :

- Pressions hydromorphologiques (activités humaines, occupation du sol, continuité écologique)
- Pressions chimiques
- Pressions hydrologiques

Détermination des stations de référence

Détermination des stations « test » (impactées)

Choix des métriques biologiques

- **Densité en *Sicyopterus lagocephalus***
- **Densité en *Cotylopus acutipinnis***
- **Densité en espèces accompagnatrices**
  - Cours inférieur : *Anguilla bicolor, Eleotris mauritiana, Kuhlia rupestris, Microphis brachyurus m., Stenogobius polyzona, Agonostomus telfairii, Anguilla mossambica,*
  - Cours moyen : *Agonostomus telfairii, Anguilla mossambica, Awaous commersoni, Eleotris fusca*
  - Cours supérieur : *Anguilla mossambica, anguilla marmorata*

Typologie des cours d'eau

La typologie proposée dans l'Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en oeuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement ne peut pas être utilisée (nombre de stations d'échantillonnage trop faible).

La typologie utilisée repose sur la séparation des cours d'eau **en 2 types** : les rivières de type cirques ou pseudo-cirques (Pluies, Mât, Marsouins, Est, Langevin, Saint-Etienne, Saint-Denis, Saint-Gilles, Remparts, et Rivière des Galets) , et les "rivières intermédiaires du nord" (Sainte-Suzanne, Saint-Jean et Rivière des Roches). Au sein de chacun des types, chaque rivière est scindée longitudinalement en 3 zones prenant en compte les caractéristiques géomorphologiques, l'altitude et la présence d'obstacles au déplacement des poissons.

Analyse de la variabilité des stations de référence (calculée à partir des valeurs des métriques biologiques), analyse de la variabilité intra-types

Pour chaque station « test », pour chaque métrique, mesure de l'écart à la référence,
Standardisation par un coefficient de variabilité maximale des conditions de référence

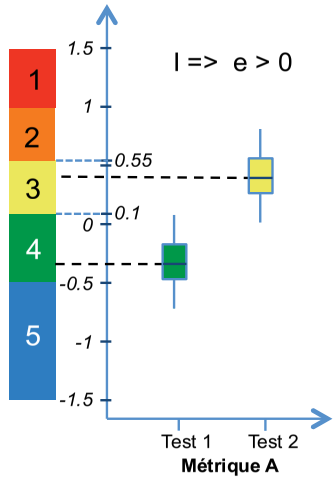
Calibration de l'échelle de qualité basée sur la distribution des écarts à la référence

∑ des notes de qualité (/5) pour les 3 métriques (à partir de la note médiane de chaque métrique) : calcul d'une **note** (indice) /15

e = Ref - Test

I => e > 0

Les pressions induisent une diminution de la valeur de la métrique



3 Résultats

Les valeurs d'indices calculées (Tableau 12) pour les 20 stations test montrent que :

- les notes obtenues sont très stables sur la période d'échantillonnage pour 15 stations sur 20,
- les notes diminuent légèrement sur la période à la station Saint-Etienne, notamment en 2009-2010 (réfection du pont ?), ce phénomène est essentiellement dû à la note de la métrique « densité en espèces accompagnatrices », la même observation peut être faite pour la Rivière Sainte-Suzanne,
- à l'inverse, les notes de l'indice semblent plus élevées depuis 2005 à la station GAL1 et ce notamment grâce à une augmentation de notes liées à la densité des 2 espèces de bouches rondes, il en est de même pour la Ravine Saint-Gilles,
- les notes sont globalement bonnes à la station MARS (aval de la rivière des Marsouins).

Tableau 12 : Notes obtenues pour chaque station « test» à chaque campagne de pêche à partir des 3 métriques biologiques utilisées dans le calcul de l'IRP.

RP-BPAN1	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
dacc	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3,00	4,00	0,33	4,00
Note	12	12	12	12	11	12	12	12	12	-	-	-	-

RP-ROC1	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
dacc	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
Note	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	-	-	-	-

RP-STDENIS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3,00	4,00	0,30	4,00
COA	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4,00	5,00	0,30	5,00
dacc	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,00	3,00	0,00	3,00
Note	12	12	12	11	11	12	12	12	12	12	12	-	-	-	-

RP-STJEAN1	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
dacc	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
Note	12	12	12	12	12	12	12	-	-	-	-

RP-STESUZ	2000	2001	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
dacc	5	5	4	4	3	4	3	3	4	3,00	5,00	0,78	4,00
Note	13	13	12	12	11	12	11	11	12	-	-	-	-

RP-PLUIES0	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
COA	4	3	4	5	4	4	3	3	5	0,69	4,00
dacc	5	5	4	3	3	3	5	3	5	1,00	4,00
Note	13	12	12	12	11	11	12	-	-	-	-

P-GAL1	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	3	3	4	3	3	4	4	4	3	4	4	3,00	4,00	0,52	4,00
COA	4	1	2	3	5	5	5	5	5	5	5	1,00	5,00	1,45	5,00
dacc	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	3	3,00	5,00	0,60	3,00
Note	10	7	9	9	11	12	12	14	11	12	12	-	-	-	-

RP-LANG3	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
dacc	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,00	3,00	0,00	3,00
Note	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	-	-	-	-

RP-FLJA	2000	2001	2002	2003	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
dacc	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,00	3,00	0,00	3,00
Note	11	11	11	11	11	11	11	11	11	-	-	-	-

RP-MAT3	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
dacc	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,00	3,00	0,00	3,00
Note	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	-	-	-	-

RP-MAT2	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
dacc	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,00	3,00	0,00	3,00
Note	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	-	-	-	-

RP-MAT1	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
dacc	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,00	4,00	0,30	3,00
Note	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	-	-	-	-

RP-MARS3	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
dacc	3	4	4	4	3	4	4	3	4	0,49	4,00
Note	11	12	12	12	11	12	12	-	-	-	-

RP-MARS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	5	4	4	5	4	4	5	5	5	4	5	4,00	5,00	0,52	5,00
dacc	3	5	5	5	5	4	5	4	4	4	5	3,00	5,00	0,69	5,00
Note	12	13	13	14	13	12	14	13	13	12	14	-	-	-	-

RP-BPLA2	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
dacc	3	4	3	3	3	3	3	3	4	0,38	3,00
Note	11	12	11	11	11	11	11	-	-	-	-

RP-BPLA1	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,00	4,00
dacc	4	4	3	3	4	4	4	3	4	0,49	4,00
Note	12	12	11	11	12	12	12	-	-	-	-

RP-STETIEN	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	5	5	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4,00	5,00	0,50	4,00
dacc	3	3	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3,00	5,00	1,04	3,00
Note	12	12	13	13	13	13	13	12	12	11	11	-	-	-	-

RP-EST	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
dacc	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3,00	4,00	0,53	3,50
Note	11	11	12	12	12	12	11	12	11	11	-	-	-	-

RP-STGIL	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	min	max	écart-type	médiane
SIC	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,00	4,00	0,00	4,00
COA	1	2	2	2	1	1	3	5	5	5	4	1,00	5,00	1,66	2,00
dacc	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,00	3,00	0,00	3,00
Note	8	9	9	9	8	8	10	12	12	12	11	-	-	-	-

RP-REMPART	2007	2008	2009	2010	Min.	Max.	écart-type	Median
SIC	4	4	4	4	4	4,00	0	4
COA	4	4	4	4	4	4,00	0	4
dacc	3	3	3	3	3	3,00	0	3
Note	11	11	11	11	11	-	-	-

4 Discussion

La plupart des stations « poissons » atteignent un état écologique « Bon » ou « Moyen » avec la version *V0* de l'IRP et ces valeurs sont relativement stables au cours des 11 années de suivi. Cependant, le fait que les stations de référence soient impactées par une altération de la continuité écologique induit (bien que cela ne soit pas quantifiable) un biais dans le calcul des écarts entre les valeurs des métriques biologiques dans les stations « test » et celles calculées pour les stations de référence (l'écart aux valeurs de référence est plus faible qu'attendu). Certaines stations proches des embouchures, fortement impactées par les activités de pêche aux bichiques (entre autres), atteignent de manière surprenante un bon état écologique (MARS, Rivière des Marsouins et STETIEN, Rivière St-Etienne jusqu'en 2008).

Même si la procédure de calcul est pertinente, les valeurs d'indice obtenues pour les stations « test » semblent donc surestimer leur état écologique. Plusieurs hypothèses permettraient d'expliquer ce phénomène :

- la forte variabilité intra-types des stations de référence, incluant potentiellement des données correspondant à des situations particulières (ex : travaux dans le lit de la rivières, pollution accidentelle) ;
- le (relativement) faible nombre de stations (de référence ou non) ;
- le faible nombre de métriques biologiques ou écologiques potentiellement utilisables.

L'Indice Réunion Poissons (IRP) proposé dans ce travail constitue une première étape (version 0), majoritairement destinée à établir une méthodologie de calcul basée sur une méthode D.C.E. compatible.

Les données utilisées sont issues d'un plan d'échantillonnage établi en 2000 pour satisfaire des objectifs différents. Suite à la mise en œuvre de la D.C.E. et compte tenu du coût important de l'acquisition des données, le réseau piscicole en place n'a pas été modifié. Il est maintenant évident qu'il serait souhaitable de le réadapter en fonction des exigences imposées par une démarche de calcul de l'IRP qui tiendrait mieux compte de la typologie des masses d'eau proposée en 2010[12] et des besoins statistiques inhérents au développement de la méthode.

[12] Arrêté du 12 janvier 2010 relatif aux méthodes et aux critères à mettre en œuvre pour délimiter et classer les masses d'eau et dresser l'état des lieux prévu à l'article R. 212-3 du code de l'environnement, Journal officiel de la République Française, 2 février 2010.

La méthodologie employée s'appuie sur un inventaire détaillé et quantitatif des pressions-impacts à l'échelle du tronçon, cette étape étant incontournable. Fin 2011, ces données n'étaient que partiellement disponibles et un important travail de recensement des pressions, au droit des stations d'échantillonnage, a dû être entrepris. Le jeu de données utilisé n'est donc pas optimal et devra prochainement être complété. Il constitue néanmoins une base de données utilisable dans le cadre de l'établissement d'une version initiale des indices (calage de la méthodologie). Le travail réalisé sur l'analyse de la continuité écologique a constitué une aide précieuse pour évaluer les pressions sur les stations du réseau piscicole.

La construction de l'IRP a été basée sur l'établissement d'un écart à la référence. Cette référence a été définie selon des critères d'anthropisation à large échelle pour l'occupation du sol notamment et/ou à partir de classes de qualités chimiques peu précises. D'autre part, il est important de spécifier à nouveau les limites du réseau de suivi (nombre de stations). Ainsi, il était illusoire de vouloir intégrer à la construction de l'indice, un choix de métriques basé sur la réponse à des pressions identifiées sur les bassin-versants concernés par l'étude comme cela a pu être fait dans des réseaux plus développés en métropole et avec des valeurs plus précises (par ex. pour l'indice I2M2).

L'IRP est donc un indice qui renseigne sur les effets d'une pression anthropique globale de la même manière que l'IBGN en métropole. Même si on peut émettre certaines hypothèses quant à l'origine des perturbations (notamment en lien avec les hypothèses du sens de variation des métriques), il serait hasardeux de conclure sur une relation entre les valeurs d'une métrique d'anthropisation avec celle de l'IRP car ils n'ont pas pu être construits sur ce principe (en raison de la faible quantité de données disponibles).

L'utilisation des organismes aquatiques en tant que bio-indicateurs de la qualité écologique des cours d'eau repose sur une bonne connaissance des exigences écologiques et de la biologie de ces organismes. L'élaboration d'indices pertinents en milieux tempérés (I2M2 ou IPR+) n'aurait pu se faire sans cette connaissance. L'échantillonnage réalisé entre 2000 et 2010 a permis d'acquérir des connaissances précises sur la composition faunistique des peuplements de poissons.

L'acquisition de données complémentaires sur la biologie et l'écologie des poissons indigènes devra être poursuivie pour confirmer les métriques actuelles et, éventuellement, motiver l'utilisation de nouvelles métriques.

L'altération de la continuité écologique constituant une pression majeure sur l'ensemble des cours d'eau, l'identification de bassins-tests sur lesquels une protection efficace des zones aval permettant un rétablissement de la continuité écologique au niveau des embouchures, apparaît

aujourd'hui comme une priorité. Il apparaît en effet indispensable de disposer de stations de référence qui soient les moins perturbées possible afin de mieux apprécier l'état des stations « test » et de promouvoir des actions de restauration efficaces sur les rivières pérennes de l'Île de La Réunion.

5 Intégration des données collectées en 2011 et proposition d'une version V1 de l'IRP (septembre 2012)

Les remarques consécutives à la diffusion de la première version de l'IRP et l'intégration des données collectées en 2011ont motivé la proposition d'une version1 de l'indice.

La relativement forte amplitude de variation des valeurs des métriques biologiques au sein des stations de référence est considérée comme un des facteurs responsable de l'état « bon » ou « moyen » de la plupart des stations d'échantillonnage des peuplements de poissons.

Cette amplitude de variation des conditions de référence est essentiellement due à la très forte amplitude des valeurs de densités de certains taxons. L'effet de ces très forts écarts entre les valeurs de densités peut être atténué par une transformation mathématique des données. Ainsi, une transformation logarithmique des métriques de densité (ln(d+1)) pourrait atténuer les effets de ces variabilités spatiale et temporelle. Cette transformation a été appliquée aux 3 métriques de densités. Cette transformation a eu pour effet de déclasser certaines stations (Tableau 13 et Tableau 14).

Il est important de noter que l'utilisation de la *V1* de l'IRP produit une note supérieure à celle obtenue avec la *V0* 9 fois sur 12 dans le cas de la station aval de la Rivière des Marsouins (MARS), 3 fois sur 12 dans le cas de l'aval de la Rivière Saint-Etienne, 2 fois sur 5 dans le cas de la Rivière des Remparts, 1 fois sur 1 dans le cas de l'amont de la Rivière du Mât (MAT4), 7 fois sur 10 dans la cas de la rivière Bras Panon (BPAN1), 1 fois sur 8 pour la station STJEAN1.

Tableau 13 : Expression de la différence de notes obtenues avec les versions 0 et 1 de l'IRP appliquées sur les mêmes données (notes des stations « test » pour toutes les dates d'échantillonnage depuis 2000) sous la forme du rapport (4ème colonne) 'nombre de notes déclassantes sur la période/nombre total de notes', avec le numérateur représentant le nombre de fois où les notes obtenues en utilisant la version V1 de l'IRP sont déclassantes par rapport à celles obtenues avec la version V0. Les données ci-dessous incluent des nouvelles stations ajoutées en 2011 (MAT4, LIA1, CIL1, GAL0, STSUZ2, STSUZ3)

Type de bv	Zone	Station	Déclassement
1	Amont	FLJA	4/11
1	Amont	MAT4	0/1
1	Amont	MAT3	7/12
1	Amont	LANG3	11/12
1	Amont	LIA1	1/1
1	Intermédiaire	BPLA1	3/8
1	Intermédiaire	BPLA2	7/8
1	Intermédiaire	CIL1	1/1
1	Intermédiaire	EST	9/11
1	Intermédiaire	GAL0	1/1
1	Intermédiaire	GAL1	9/12
1	Intermédiaire	MAR3	7/8
1	Intermédiaire	MAT1	7/12
1	Intermédiaire	MAT2	8/12
1	Intermédiaire	STGIL	11/12
1	Aval	PLUIES0	4/8
1	Aval	MARS	0/12
1	Aval	STETIEN	0/12
1	Aval	REMPART	0/12
2	Intermédiaire	STSUZ2	0/1
2	Intermédiaire	STSUZ3	1/1
2	Aval	BPAN1	0/10
2	Aval	ROC1	3/12
2	Aval	STSUZ	10/10
2	Aval	STJEAN1	5/8

Tableau 14 : résultats détaillés des calcules des notes de l'IRP selon la méthode de calculs utilisée dans la V0 et dans la V1 de l'IRP.

type ME	Zone	station.année	V0	V1
1	Amont	RP-FLJA.2000	11	9
1	Amont	RP-FLJA.2001	11	9
1	Amont	RP-FLJA.2002	11	7
1	Amont	RP-FLJA.2003	11	7
1	Amont	RP-FLJA.2006	11	7
1	Amont	RP-FLJA.2007	11	7
1	Amont	RP-FLJA.2008	11	9
1	Amont	RP-FLJA.2009	11	9
1	Amont	RP-FLJA.2010	11	11
1	Amont	RP-FLJA.2011	11	9
1	Amont	RP-LANG3.2000	11	9
1	Amont	RP-LANG3.2001	11	7
1	Amont	RP-LANG3.2002	11	8
1	Amont	RP-LANG3.2003	11	7
1	Amont	RP-LANG3.2004	11	7
1	Amont	RP-LANG3.2005	11	7
1	Amont	RP-LANG3.2006	11	7
1	Amont	RP-LANG3.2007	11	7
1	Amont	RP-LANG3.2008	11	5
1	Amont	RP-LANG3.2009	11	7
1	Amont	RP-LANG3.2010	11	5
1	Amont	RP-LANG3.2011	11	7
1	Amont	RP-LIA1.2011	11	7
1	Amont	RP-MAT3.2000	11	7
1	Amont	RP-MAT3.2001	11	7
1	Amont	RP-MAT3.2002	11	7
1	Amont	RP-MAT3.2003	11	7
1	Amont	RP-MAT3.2004	11	8
1	Amont	RP-MAT3.2005	11	9
1	Amont	RP-MAT3.2006	11	7
1	Amont	RP-MAT3.2007	11	7
1	Amont	RP-MAT3.2008	11	9
1	Amont	RP-MAT3.2009	11	9
1	Amont	RP-MAT3.2010	11	9
1	Amont	RP-MAT3.2011	11	9
1	Amont	RP-MAT4.2011	11	9

type ME	Zone	station.année	V0	V1
1	Intermédiaire	RP-BPLA1.2004	12	13
1	Intermédiaire	RP-BPLA1.2005	12	11
1	Intermédiaire	RP-BPLA1.2006	11	10
1	Intermédiaire	RP-BPLA1.2007	11	10
1	Intermédiaire	RP-BPLA1.2008	12	10
1	Intermédiaire	RP-BPLA1.2009	12	12
1	Intermédiaire	RP-BPLA1.2010	12	11
1	Intermédiaire	RP-BPLA1.2011	12	13
1	Intermédiaire	RP-BPLA2.2004	11	10
1	Intermédiaire	RP-BPLA2.2005	12	9
1	Intermédiaire	RP-BPLA2.2006	11	8
1	Intermédiaire	RP-BPLA2.2007	11	8
1	Intermédiaire	RP-BPLA2.2008	11	8
1	Intermédiaire	RP-BPLA2.2009	11	8
1	Intermédiaire	RP-BPLA2.2010	11	8
1	Intermédiaire	RP-BPLA2.2011	12	10
1	Intermédiaire	RP-CIL1.2011	11	8
1	Intermédiaire	RP-EST.2001	11	8
1	Intermédiaire	RP-EST.2002	11	8
1	Intermédiaire	RP-EST.2003	11	9
1	Intermédiaire	RP-EST.2004	12	10
1	Intermédiaire	RP-EST.2005	12	9
1	Intermédiaire	RP-EST.2006	12	9
1	Intermédiaire	RP-EST.2007	11	8
1	Intermédiaire	RP-EST.2008	11	9
1	Intermédiaire	RP-EST.2009	11	8
1	Intermédiaire	RP-EST.2010	11	8
1	Intermédiaire	RP-EST.2011	12	10
1	Intermédiaire	RP-GAL0.2011	12	9
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2000	12	9
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2001	12	7
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2002	11	7
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2003	11	6
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2004	11	8
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2005	11	11
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2006	12	10
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2007	12	13
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2008	11	9
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2009	12	10
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2010	12	9
1	Intermédiaire	RP-GAL1.2011	12	9

type ME	Zone	station.année	V0	V1
1	Intermédiaire	RP-MARS3.2004	11	6
1	Intermédiaire	RP-MARS3.2005	12	7
1	Intermédiaire	RP-MARS3.2006	12	7
1	Intermédiaire	RP-MARS3.2007	12	7
1	Intermédiaire	RP-MARS3.2008	11	8
1	Intermédiaire	RP-MARS3.2009	12	10
1	Intermédiaire	RP-MARS3.2010	12	9
1	Intermédiaire	RP-MARS3.2011	11	9
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2000	12	9
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2001	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2002	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2003	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2004	11	10
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2005	11	10
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2006	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2007	11	6
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2008	11	10
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2009	11	10
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2010	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT1.2011	11	10
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2000	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2001	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2002	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2003	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2004	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2005	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2006	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2007	11	8
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2008	11	10
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2009	11	10
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2010	11	10
1	Intermédiaire	RP-MAT2.2011	11	10
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2000	12	8
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2001	12	9
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2002	12	9
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2003	12	9
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2004	12	8
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2005	12	8
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2006	11	6
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2007	11	8
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2008	11	8
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2009	11	8
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2010	11	9
1	Intermédiaire	RP-STGIL.2011	11	6

type ME	Zone	station.année	V0	V1
1	Aval	RP-PLUIES0.2004	13	13
1	Aval	RP-PLUIES0.2005	13	11
1	Aval	RP-PLUIES0.2006	12	12
1	Aval	RP-PLUIES0.2007	13	12
1	Aval	RP-PLUIES0.2008	11	10
1	Aval	RP-PLUIES0.2009	11	10
1	Aval	RP-PLUIES0.2010	12	11
1	Aval	RP-PLUIES0.2011	12	11
1	Aval	RP-MARS.2000	11	13
1	Aval	RP-MARS.2001	13	15
1	Aval	RP-MARS.2002	13	13
1	Aval	RP-MARS.2003	12	15
1	Aval	RP-MARS.2004	12	15
1	Aval	RP-MARS.2005	12	15
1	Aval	RP-MARS.2006	13	15
1	Aval	RP-MARS.2007	14	14
1	Aval	RP-MARS.2008	12	14
1	Aval	RP-MARS.2009	12	15
1	Aval	RP-MARS.2010	13	15
1	Aval	RP-MARS.2011	13	15
1	Aval	RP-REMPART.2007	13	13
1	Aval	RP-REMPART.2008	14	14
1	Aval	RP-REMPART.2009	14	14
1	Aval	RP-REMPART.2010	14	15
1	Aval	RP-REMPART.2011	13	15
1	Aval	RP-STETIEN.2000	11	12
1	Aval	RP-STETIEN.2001	13	12
1	Aval	RP-STETIEN.2002	12	13
1	Aval	RP-STETIEN.2003	13	13
1	Aval	RP-STETIEN.2004	13	13
1	Aval	RP-STETIEN.2005	13	13
1	Aval	RP-STETIEN.2006	12	13
1	Aval	RP-STETIEN.2007	13	12
1	Aval	RP-STETIEN.2008	13	13
1	Aval	RP-STETIEN.2009	11	13
1	Aval	RP-STETIEN.2010	11	11
1	Aval	RP-STETIEN.2011	11	12
1	Aval	RP-REMPART.2007	13	13
1	Aval	RP-REMPART.2008	14	14
1	Aval	RP-REMPART.2009	14	14
1	Aval	RP-REMPART.2010	14	15
1	Aval	RP-REMPART.2011	13	15

type ME	Zone	station.année	V0	V1
2	Intermédiaire	RP-STESUZ2.2011	11	9
2	Intermédiaire	RP-STESUZ3.2011	13	11

type ME	Zone	station.année	V0	V1
2	Aval	RP-BPAN1.2002	12	14
2	Aval	RP-BPAN1.2003	11	13
2	Aval	RP-BPAN1.2004	11	13
2	Aval	RP-BPAN1.2005	11	13
2	Aval	RP-BPAN1.2006	11	10
2	Aval	RP-BPAN1.2007	11	13
2	Aval	RP-BPAN1.2008	11	13
2	Aval	RP-BPAN1.2009	11	13
2	Aval	RP-BPAN1.2010	11	11
2	Aval	RP-BPAN1.2011	11	12
2	Aval	RP-ROC1.2000	12	13
2	Aval	RP-ROC1.2001	13	13
2	Aval	RP-ROC1.2002	12	13
2	Aval	RP-ROC1.2003	12	10
2	Aval	RP-ROC1.2004	12	13
2	Aval	RP-ROC1.2005	12	13
2	Aval	RP-ROC1.2006	12	11
2	Aval	RP-ROC1.2007	12	14
2	Aval	RP-ROC1.2008	12	14
2	Aval	RP-ROC1.2009	12	14
2	Aval	RP-ROC1.2010	11	11
2	Aval	RP-ROC1.2011	12	12
2	Aval	RP-STESUZ.2000	13	9
2	Aval	RP-STESUZ.2001	13	9
2	Aval	RP-STESUZ.2004	12	9
2	Aval	RP-STESUZ.2005	12	9
2	Aval	RP-STESUZ.2006	11	5
2	Aval	RP-STESUZ.2007	12	8
2	Aval	RP-STESUZ.2008	11	6
2	Aval	RP-STESUZ.2009	11	6
2	Aval	RP-STESUZ.2010	11	6
2	Aval	RP-STESUZ.2011	12	8
2	Aval	RP-STJEAN1.2004	12	11
2	Aval	RP-STJEAN1.2005	12	11
2	Aval	RP-STJEAN1.2006	12	11
2	Aval	RP-STJEAN1.2007	12	13
2	Aval	RP-STJEAN1.2008	12	13
2	Aval	RP-STJEAN1.2009	12	8
2	Aval	RP-STJEAN1.2010	12	11
2	Aval	RP-STJEAN1.2011	13	15

FICHE TECHNIQUE D'UTILISATION DE LA FONCTION

IRP_v0 sous R

v0.1.4 (15 juillet 2012)

Contenu

Introduction 2

Etapes préliminaires 3

Arguments de la fonction 3

- Arguments à renseigner 4
- Arguments pré-renseignés 5

Utilisation de la fonction 7

- Etapes pratiques 7
- Remarques 8

Code de la fonction 9

Introduction

Ce document détaille le fonctionnement de la fonction `IRP_v0` qui sert à calculer l'Indice Réunion Poissons (IRP) dans sa version v0 (Rapport CNRS, 2012a[1]) et v1 (Cf. Rapport CNRS, 2012b[2] pour les détails sur les modifications apportées). Cette fiche suppose que l'utilisateur connaît le fonctionnement de base du logiciel R[3] et ne présente donc que les éléments essentiels de la fonction. En plus de la distribution de base de R dans sa version 2.15.0, cette fonction utilise les packages `ade4`[4], `vegan`[5] et `mefa`[6] qui sont directement chargés par le code de la fonction (l'utilisateur n'a pas à s'occuper de charger en mémoire ces packages). Néanmoins, si ces packages n'ont pas encore été installés, copier/coller le code ci-dessous dans la console pour lancer l'installation :

```
install.packages("ade4")
install.packages("vegan")
install.packages("mefa")
```

La compilation du code R a été réalisée sous Windows 7. L'encodage des caractères peut poser problème sous MacOs notamment pour les accents. Une version sans accent du script a été générée : `IRP_v0_MacOS.r` dont l'utilisation n'est en rien modifiée par rapport à la fonction `IRP_v0` (ex : le nom de la fonction dans R reste le même).

[1] **Rapport CNRS** (2012a). Convention de recherche et développement. Office de l'eau de la Réunion-CNRS. Programme d'étude et de recherche 2008-2011. M. Forcellini, H. Grondin, C. Mathieu, N. Péru, M. Richarson, P. Sagnes, P. Usseglio-Polatera et P. Valade. Sous la direction scientifique de S. Mérigoux et J-M. Olivier. Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des poissons et macrocrustacés et des invertébrés benthiques. UMR CNRS-LEHNA/ARDA, 506p.

[2] **Rapport CNRS** (2012b). Convention de recherche et développement. Office de l'eau de la Réunion-CNRS. Programme d'étude et de recherche 2011-2012. C. Mathieu, M. Forcellini, N. Péru, H. Grondin, V. Noune et Philippe Usseglio-Polatera. Sous la direction scientifique de S. Mérigoux et J-M. Olivier. Echantillonnage 2011 des macroinvertébrés benthiques du bassin Réunion et application de l'Indice Réunion Macroinvertébrés. UMR CNRS-LEHNA/ARDA, 32p +annexes.

[3] **R Development Core Team** (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org/.

[4] **Chessel, D**., **Dufour**, **A.B.** et **Thioulouse, J**. (2004): The ade4 package-I- One-table methods. R News. 4: 5-10.

[5] **Oksanen, J**., G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. Henry H. Stevens and H. Wagner (2011). vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-2. http://CRAN.R-project.org/package=vegan.

[6] **Solymos, P**. (2009). Processing Ecological Data in R with the mefa Package. Journal of Statistical Software 29(8), 1-28. URL http://www.jstatsoft.org/v29/i08/.

Etapes préliminaires

- Installer R dans sa version ≥ 2.15.0 si nécessaire pour éviter d'éventuels problèmes d'incompatibilité.
- Placer les fichiers `IRP_v0.r` et `accomp.csv` dans le dossier de travail R puis dans Rgui faire :

Fichier → *Sourcer du code R* et choisir le fichier `IRP_v0.r`

- Charger le fichier `accomp.csv` (avec la fonction `read.csv` par exemple) dans un objet quelconque qui sera utilisé en lieu et place de l'argument `accomp` de la fonction `IRP_v0`.

Arguments de la fonction

La fonction comporte 16 arguments qui sont à renseigner (**`ref`**, **`test`**, **`tabinforef`**, **`tabinfotest`**, **`accomp`**) ou le sont déjà par défaut (`choixsp`, `limclas`, `hyp`, `writecsv`, `eucl`, `log`, `met.typo`, `metrefecart`, `distmax`, `ecartr`, `ecartn`).

```
args(IRP_v0)
function(ref,test,tabinforef,tabinfotest,accomp,choixsp=c("ABI","AGO","AMA"
,"AMO","ANE","AWA","COA","ELF","ELM","GUP","KUL","MIC","SIC","STE","TIL","X
IP"),choixmet=NULL,limclas=list(u=c(-100,-1,-0.55,-0.1,0.5,100),d=c(-100,-
.5,.1,0.55,1,100)),hyp =
c("d","d","d"),writecsv=FALSE,eucl=FALSE,log=FALSE,
met.typo=FALSE,metrefecart=FALSE,distmax=FALSE,ecartr=FALSE,ecartn=FALSE,..
.)
```

faire attention aux dimensions des tableaux `ref`, `test`, `tabinforef`, et `tabinfotest` (Cf. tableau 1)

Tableau 1 : Récapitulatif des dimensions des tableaux de données. Le tableau permet d'illustrer les équivalences des nombres de lignes et de colonnes entre tableaux de données.

	nb. lignes	nb. colonnes
`ref`	**n1**	**p**
`test`	**n2**	**p**
`tabinforef`	**n1**	**4**
`tabinfotest`	**n2**	**4**
`accomp`	**p1**	**3**

Arguments à renseigner

- `ref & test` **:** tableaux à *n1* et *n2* sites x *p* taxons pour les sites de référence et « test » respectivement (Cf. tableau 2 pour un exemple).

Tableau 2 : Exemple de formatage pour les arguments `ref` et `test`. L'exemple montre les données de densités de 12 taxons pour 6 campagnes de prélèvement d'un site de référence.

```
head(ref)
             ABI AGO   AMA    AMO ANE    AWA   COA   ELF ELM     GUP KUL MIC
RP-BPAN2-04    0   0 3.303 0.9009   0 1.2012 3.003 8.709   0  1.2012   0   0
RP-BPAN2-05    0   0 1.498 0.0000   0 0.4992 3.661 1.830   0  0.0000   0   0
RP-BPAN2-06    0   0 5.799 1.4497   0 0.9061 5.255 2.356   0  0.0000   0   0
RP-BPAN2-07    0   0 4.779 0.8961   0 2.9869 6.272 2.389   0  0.2987   0   0
RP-BPAN2-08    0   0 7.964 1.0762   0 1.9372 3.444 3.229   0 20.2325   0   0
RP-BPAN2-09    0   0 6.789 0.9365   0 0.9365 3.980 2.107   0 29.4985   0   0
```

- `tabinforef & tabinfotest` : tableaux à *n1* et *n2* sites pour les sites de référence et « test » respectivement. Chaque tableau comporte trois colonnes avec dans l'ordre (Cf. tableau 3 pour un exemple)

1. une colonne avec le code station
2. une colonne avec le code campagne
3. une colonne avec le type de bassin
4. une colonne avec le type longitudinal

Tableau 3 : Exemple de formatage pour les arguments `tabinforef` et `tabinfotest`. L'exemple montre les informations pour 6 campagnes d'un site de référence.

```
head(tabinforef)
   sta_poi camp type_bas1     type_long
1 RP-BPAN2 2004        II Intermédiaire
2 RP-BPAN2 2005        II Intermédiaire
3 RP-BPAN2 2006        II Intermédiaire
4 RP-BPAN2 2007        II Intermédiaire
5 RP-BPAN2 2008        II Intermédiaire
6 RP-BPAN2 2009        II Intermédiaire
```

- `accomp` : tableau *p1* taxons x 3 colonnes désignant les types longitudinaux de la classification. Ce tableau peut renseigner toutes les espèces connues mais seules celles contenues dans le vecteur `choixsp` seront prises en compte.

Tableau 4 : Exemple de formatage pour l'argument `accomp`. L'exemple montre les informations pour 6 taxons. Les 3 colonnes représentent les indicatrices (codage : 1-oui, 0-non) des du statut d'espèce accompagnatrice pour chaque espèce dans les 3 types longitudinaux.

```
head(accomp)
    Aval Intermédiaire Amont
ABI    1             0     0
AGO    1             1     0
AMA    0             0     1
AMO    1             1     1
ANE    0             0     0
ANG    0             0     0
```

Arguments pré-renseignés

- `Choixsp` : liste des espèces (codes espèce) retenues dans le cadre de l'IRP (Cf. Rapport CNRS, 2012a[1]). La liste est déjà pré-renseignée par défaut.
- `choixmet` : liste des métriques retenues dans le cadre de l'IRP v0 et v1 (Cf. Rapport CNRS, 2012a[1]). Le format des noms doit être respecté. Dans la version actuelle, cette liste est fixée dans le code de la fonction. Une modification de cet argument ne changera donc pas la sortie de la fonction `IRP_v0`. Cet argument est implémenté en vue d'une évolution de l'indice et d'une modification des métriques retenues.
- `limclas` : liste de deux éléments (*u* et *d*) qui fournit les valeurs des limites de classe d'écart à la référence pour les métriques dont l'impact induit une augmentation de la valeur (*u*) et celles dont l'impact induit une diminution de la valeur (*d*). Chaque élément comporte 6 valeurs qui permettent de délimiter 5 classes de qualité. Les valeurs -100 et 100 sont là pour assurer la prise en compte de très grands écarts à la référence. Dans la version actuelle de l'indice (v0 ou v1) seul l'élément *d* est pris en compte.
- `hyp` : vecteur qui comporte autant de valeur que de métriques retenues dans l'indice (8 dans la version actuelle). Il indique le sens de variation de la métrique attendu en réponse à un impact (« *u* » pour *« up »,* en cas d'augmentation *; « d »* pour *« down »* en cas de diminution de la métrique). L'ordre des valeurs correspond à l'ordre des métriques fixé par l'argument `choixmet`. Cet argument bien que modifiable actuellement est tout de même fixé par la définition de l'IRP v0 et v1 (Cf. Rapport CNRS, 2012a, b[1, 2]).

- `writecsv` : argument indiquant si un fichier .csv des résultats doit être produit dans le dossier de travail de R. Par défaut la valeur est « `FALSE` ». La sauvegarde des données a lieu si la valeur est passée à `TRUE`.

Les autres arguments permettent de tester les sorties de la fonction. Ce sont tous des arguments logiques qui sont actifs dans le code lorsque la valeur est passée à `TRUE`. Il faut bien noter ici qu'exceptés `eucl` et `log`, tous ces arguments modifient la sortie de la fonction qui n'est alors plus un tableau de classe de qualité. Par conséquent, ils sont incompatibles entre eux et il faut bien veiller à n'avoir qu'un seul argument dont la valeur est `TRUE`.

- `eucl` : actuellement à `FALSE` par défaut car un forçage de la propriété euclidienne des matrices de distance existe déjà dans le calcul du coefficient de distance maximale. Cet argument permet d'avoir une distance Euclidienne via la fonction `my.as.dist`.
- `log`: actuellement à `FALSE` par défaut. Permet d'appliquer une transformation logarithmique (base e, $x+1$) aux métriques de densité et ainsi d'obtenir les notes de la v1.
- `met.typo` : actuellement à `FALSE` par défaut. Permet d'avoir la distribution des valeurs des métriques en les regroupant par type de la typologie.
- `metrefecart` : actuellement à `FALSE` par défaut. Permet d'avoir la distribution des écarts entre site de référence par type de la typologie.
- `distmax` : actuellement à `FALSE` par défaut. Permet d'avoir les coefficients de distance maximale par métrique et par type de la typologie.
- `ecartr` & `ecartn` : actuellement à `FALSE` par défaut. Ces deux arguments permettent d'obtenir respectivement les valeurs brutes des écarts (`ecartr`) et normalisés par `distmax` (`ecartn`) des sites tests à la référence.

Les sorties dues à ces arguments ne sont pas détaillées dans cette fiche. Charge à l'utilisateur d'en expérimenter l'utilisation.

Utilisation de la fonction

Etapes pratiques

La première étape est d'importer le tableau de traits fourni avec la fonction `IRP_v0.r`.

```
trait <- read.csv("accomp.csv")
```

Si les objets contenants les données sont nommés par les noms des arguments de la fonction alors la commande suivante peut être exécutée :

```
MesResultats <-
IRP_v0(ref,test,tabinforef,tabinfotest,accomp,writecsv=TRUE)
```

Un message d'information indique à l'utilisateur que tout s'est bien déroulé et que les résultats sont disponibles dans le dossier de travail :

```
Fichier result_IRP_date.csv a été ajouté dans C:/Dossier_travail
```

On peut ensuite appeler les résultats. Ci-dessous un exemple pour plusieurs campagnes de pêches de la station RP-FLJA à partir des données de 2008-2011.

```
head(MesResultats)
               Group.1 d_SIC d_COA d_acc note_totale
I_Amont.1 RP-FLJA.2000     4     4     1           9
I_Amont.2 RP-FLJA.2001     4     4     1           9
I_Amont.3 RP-FLJA.2002     3     3     1           7
I_Amont.4 RP-FLJA.2003     3     3     1           7
I_Amont.5 RP-FLJA.2006     3     3     1           7
I_Amont.6 RP-FLJA.2007     3     3     1           7
```

La sortie de la fonction est constituée par un objet de classe `data.frame` à 5 colonnes. La première est une combinaison du code station et de l'année de la campagne de prélèvement. Les trois suivantes sont les notes (/5) des campagnes pour chaque métrique. La dernière contient la note globale, somme des trois notes de la campagne. A noter que le nom de ligne indique le type de la typologie utilisée correspondant au site échantillonné. Le numéro ajouté (en rouge dans l'exemple ci-dessus) est juste un indicateur du nombre de valeur par type ajouté par R pour éviter des répétitions dans les noms de ligne.

Remarques

En raison du découpage du réseau des sites de référence par type de masse d'eau, on se retrouve, dans l'état actuel (juin 2012) du réseau, avec des types ayant un très faible nombre de site pour l'évaluation de la référence (parfois un seul ; cf. Rapport CNRS, 2012[1]). Ceci pose des problèmes de convergence à l'algorithme de la fonction `divcmax{ade4}` lorsque les valeurs des métriques sont très variables. Ainsi, dans les cas où le nombre de valeurs de référence est faible, la fonction `my.as.dist` contenue dans la fonction `IRP_v0` augmente artificiellement la taille de la matrice de distance inter-sites de référence (pour une métrique donnée, dans un type de masse d'eau donné) en dupliquant le nombre observé de distance inter-sites jusqu'à obtenir une matrice de distance (matrice carrée) qui contienne au moins 9 lignes (soit 72 valeurs de distance inter-sites). Cette procédure permet le forçage de la convergence mais ne change en rien la valeur du coefficient de distance maximale obtenue dans les cas où l'algorithme converge « naturellement ».

On peut noter également que cette procédure ne s'appliquera plus automatiquement dès que le nombre de site de référence sera augmenté.

Code de la fonction

Le code global de la fonction (fichier `IRP_v0.r`) est redonné ici à titre indicatif avec une coloration syntaxique obtenue à l'aide du logiciel Tinn-R[7].

[7] Tinn-R Editor – GUI for R Language and Environment, version 2.7.3.1 copyright 2001-2012, licence GNU-GPL

```
IRP_v0 <-
function(ref,test,tabinforef,tabinfotest,accomp,choixsp=c("ABI","AGO","AMA","AMO","ANE","AWA","CO
A","ELF","ELM","GUP","KUL","MIC","SIC","STE","TIL","XIP"),choixmet=NULL,limclas=list(u=c(-100,-
1,-0.55,-0.1,0.5,100),d=c(-100,-.5,.1,0.55,1,100)),hyp =
c("d","d","d"),writecsv=FALSE,eucl=FALSE,log=FALSE,
met.typo=FALSE,metrefecart=FALSE,distmax=FALSE,ecartr=FALSE,ecartn=FALSE,...){
##############################################################################
##############################################################################
##########################CALCUL DE L'INDICE IRP v0##########################
#################################IRP_v0.1.4#################################
##############################################################################
#Compilée avec R 2.15.0
#Auteur : Nicolas PERU (nperu@free.fr)
#juin 2012

####appel des packages R requis
require(vegan)
require(ade4)
require(mefa)

############## ARGUMENTS DE LA FONCTION
#ref & test: tableaux n1 et n2 sites x p espèces.
#tabinforef & tabinfotest : tableaux n1 et n2 sites à 4 colonnes avec dans l'ordre
    #-1 une colonne des codes stations,
    #-2 une colonne code campagne,
    #-3 une colonne type de bassin,
    #-4 une colonne type longitudinal.

#limclas : définition des limites de classe suivant le sens attendu de variation de la métrique
en réponse à un impact
#accomp : tableau à p lignes indiquant une information de type oui/non si l'espèce est considérée
comme accompagnatrice selon chaque type de masse d'eau.
##############

#garde-fous
if(ncol(ref)!=ncol(test)) stop("ref et test doivent avoir le même nombre de colonnes")
if(nrow(ref)!=nrow(tabinforef)) stop("ref et tabinforef doivent avoir le même nombre de lignes")
if(nrow(test)!=nrow(tabinfotest)) stop("test et tabinfotest doivent avoir le même nombre de
lignes")

#Dans la v0, le choix des métriques est fixé dans la fonction mais pourra à terme être inclus
dans les arguments.
choixmet <- c("d_SIC","d_COA","d_acc")

####Fonctions utilitaires
#1
scale01 <- function (x)
{
    xx <- as.matrix(x)
    x01 <- as.numeric(xx > 0)
    dim(x01) <- dim(xx)
    x01 <- as.data.frame(x01)
    names(x01) <- names(x)
    row.names(x01) <- row.names(x)
    return(x01)
}
#2
euclid <- function(A,B){
#à adapter si l'indice devait prendre la forme de combinaison de métriques
dis <- sqrt((A-B)^2)
signe <- sign(A-B) #ATTENTION on redonne un signe à la distance
dis_sign <- dis*signe
return(dis_sign)
}
#3
my.as.dist <- function(vec,nfac,di,dimax=20,eucl=TRUE,...){
###############
#Construit une matrice de distance à partir d'un nombre de valeur en le multipliant par un entier
naturel
#vec : vecteur des valeurs de base
#nfac : le facteur multiplicateur jusqu'où on veut aller
```

```
#di : la dimension de départ souhaitée (1 valeur, la matrice étant carrée)
#dimax: la dimension maximale souhaitée
nval <- length(vec)
nval2 <- nval*(2:nfac)
di_th <- (di+1):dimax
sq.nval <- c((di_th*di_th) - di_th)/2
newdi <- di_th[is.element(sq.nval,nval2)][1]
newnval <- sq.nval[is.element(sq.nval,nval2)][1]
mydist <- vec2dist(rep(vec,newnval/nval),newdi)
if(eucl) mydist <- quasieuclid(mydist)
return(mydist)
}

####


#formatage des données aux classes d'objet souhaitées
tabinforef <- tabinforef[order(paste(tabinforef[,1],tabinforef[,2],sep=".")),]
tabinfotest <- tabinfotest[order(paste(tabinfotest[,1],tabinfotest[,2],sep=".")),]
accomp <- accomp[is.element(rownames(accomp),choixsp),]
accomp <- accomp[order(rownames(accomp)),]
ref <-  data.frame(ref)[order(rownames(ref)),order(colnames(ref))]
rownames(ref) <- paste(tabinforef[,1],tabinforef[,2],sep=".")
test <- data.frame(test)[order(rownames(test)),order(colnames(test))]
rownames(test) <- paste(tabinfotest[,1],tabinfotest[,2],sep=".")
typo_ref <- as.factor(paste(tabinforef[,3],tabinforef[,4],sep="_"))
typo_test <- as.factor(paste(tabinfotest[,3],tabinfotest[,4],sep="_"))


ref <- ref[,choixsp]
test <- test[,choixsp]

###calcul des métriques

d.accref <- diag(t(as.matrix(ref) %*%
as.matrix(sapply(accomp[,as.character(tabinforef[,4])],as.numeric))))
d.acctest <- diag(t(as.matrix(test) %*%
as.matrix(sapply(accomp[,as.character(tabinfotest[,4])],as.numeric))))
SICref <- ref[,"COA"]
SICtest <- test[,"COA"]
COAref <- ref[,"COA"]
COAtest <- test[,"COA"]
if (log) {
SICref <- log1p(SICref)
COAref <- log1p(COAref)
SICtest <- log1p(SICtest)
COAtest <- log1p(COAtest)
d.accref <- log1p(d.accref)
d.acctest <- log1p(d.acctest)
}


metref <- data.frame(d_SIC=SICref,d_COA=COAref,d_acc=d.accref)[,choixmet]
rownames(metref) <- rownames(ref)
mettest <- data.frame(d_SIC=SICtest,d_COA=COAtest,d_acc=d.acctest)[,choixmet]
rownames(mettest) <- rownames(test)

###écarts entre sites de ref par type de masse d'eau et coefficient de distance maximale
metref.dist <- apply(metref,2,tapply,typo_ref,dist)
metref.dist <- lapply(metref.dist,function(x)
      lapply(x,function(z){
      if(is.null(z)) {z <- "no ref"} else {while(nrow(as.matrix(z))<9)
      z <- my.as.dist(vec=as.vector(z),nfac=200,di=nrow(as.matrix(z)),dimax=500,eucl=eucl)}
      return(z)}
      )
      )
options(warn=-1)
coefdistmax <- sapply(metref.dist,function(x) x <- sapply(x,function(z)
if(z=="no ref") z <- matrix(0) else z <- divcmax(quasieuclid(z))$value))
options(warn=0)
```

```
###écarts à la référence
met.tot <- rbind(metref,mettest)
statutref <- c(rep(1,nrow(metref)),rep(0,nrow(mettest)))
typo.tot <- as.factor(c(as.character(typo_ref),as.character(typo_test)))

metr.typo <- apply(met.tot,2,tapply,typo.tot,I)

met.ecart <- mapply(
  function(x){
    mapply(function(z) {
      zcol <- met.tot[,z]

      metsubref <- zcol[typo.tot==x & statutref==1]
      if(length(metsubref!=0)) {names(metsubref) <- rownames(met.tot)[typo.tot==x &
statutref==1]}
      else invisible(x)

      metsubtest <- zcol[typo.tot==x & statutref==0]
      if(length(metsubtest!=0)) {names(metsubtest) <- rownames(met.tot)[typo.tot==x &
statutref==0]}
      else invisible(x)

      if (length(metsubref)==0 | length(metsubtest)==0){ecart <- matrix(0)}
      else {ecart <- mapply(function(y) {
          ec <- euclid(metsubref,y)
          signec <- sign(ec)
          ecn <- (sqrt(abs(ec)/coefdistmax[x,z]))*signec
          if(ecartr) {ecn <- ec}
          return(ecn)
          }
        ,metsubtest)}
      names(ecart) <- rep(names(metsubtest),each=length(metsubref) )
      return(ecart)
      },colnames(met.tot))
    }
  ,levels(typo.tot)
)
#on élimine les types non testés (pas de ref et/ou pas de test)
met.ecart <- met.ecart[unlist((lapply(met.ecart,function(x){x <- dim(x);x <-
!is.null(x);return(x)})))]

#construction des classes de qualité
note.met <- met.ecart
note.met <- lapply(note.met,function(x) {rownames(x)<- 1:nrow(x)
x<- as.data.frame(x)}
)
clas_u <- data.frame(classe=levels(as.factor(cut(-99:99,breaks=limclas$u))),note=1:5)

clas_d <- data.frame(classe=levels(as.factor(cut(-99:99,breaks=limclas$d))),note=5:1)

for (i in 1:length(note.met)){
if(ncol(note.met[[i]][,hyp=="u"])!=0){
note.met[[i]][,hyp=="u"] <- apply(note.met[[i]][,hyp=="u"],2,
                            function(z) {
                            z <- cut(z,breaks=limclas$u)
                                                levels(z) <- clas_u[,2]
                                                return(as.numeric(as.character(z)))}
                            )}
if(ncol(note.met[[i]][,hyp=="d"])!=0){
note.met[[i]][,hyp=="d"] <- apply(note.met[[i]][,hyp=="d"],2,
                            function(z) {
                            z <- cut(z,breaks=limclas$d)
                            levels(z) <- clas_d[,2]
                                                return(as.numeric(as.character(z)))}
                            )}
note.met[[i]] <- as.matrix(note.met[[i]])
rownames(note.met[[i]]) <- rownames(met.ecart[[i]])
}
result <- do.call("rbind",lapply(note.met,function(x) aggregate(x,list(rownames(x)),function(z)
ceiling(median(z)))))
result <- data.frame(result,note_totale =rowSums(result[,2:ncol(result)]))
```

```
if(writecsv) {
  write.csv(result,paste("result_IRP_",Sys.Date(),".csv",sep=""))
  cat(paste("Le fichier ",paste("result_IRP_",Sys.Date(),".csv",sep=""),"  a été ajouté
dans"),getwd(),"\n")}

#condition sur la sortie en fonction des valeurs souhaitée
#ATTENTION : les conditions ne sont pas prévues pour être toutes mises en même temps = TRUE.
Faire les sorties une par une !!!!
if(met.typo) result <- metr.typo
if(metrefecart) result <- metref.dist
if(distmax) result <- coefdistmax
if (ecartr) result <- met.ecart
if (ecartn) result <- met.ecart
return(result)
}#fin de fonction IRP.v0
```

Conclusions générales

La convention recherche et développement entre l'OLE et le CNRS avait pour objectifs :

- l'acquisition de données « invertébrés » et « poissons » sur un ensemble de stations (collaboration entre l'ARDA et l'UMR CNRS 5023) ;
- le traitement, l'analyse, la bancarisation et l'interprétation des données ;
- le développement des modalités de caractérisation des indices multimétriques « invertébrés » et « poissons » ;
- l'élaboration d'un nouvel atlas des macroinvertébrés des cours d'eau réunionnais.

L'acquisition de données « invertébrés » et « poissons » a été réalisée conformément au projet, à l'exception d'une station d'invertébrés (Marsouins amont) qui n'a pas pu être échantillonnée (étiage sévère).

Toutes les données ont été stockées en bases de données.

Le présent rapport fournit une analyse synthétique des résultats obtenus sur les 3 années.

L'important travail de collecte de données a permis :

- d'augmenter la robustesse du jeu de données « poissons » après la modification du plan d'échantillonnage en 2004 ;
- d'acquérir de nouvelles données de bonne qualité sur les peuplements de macroinvertébrés des rivières pérennes de la Réunion et sur les paramètres clés de l'habitat ;
- d'élaborer une nouvelle version de l'Atlas des macroinvertébrés aquatiques de l'île de la Réunion ;
- de réaliser un travail d'analyse synthétique sur la variabilité spatio-temporelle des peuplements (invertébrés et poissons) ;
- de mettre à disposition les données nécessaires pour la construction des indices.

L'objectif principal de cette étude était d'estimer la faisabilité du développement d'indices de bio-indication de la qualité écologique des cours d'eau, compatibles avec les exigences de la DCE. Les procédures de calcul imposées par la DCE nécessitent de disposer

de nombreuses données de qualité sur les « pressions-impacts » à l'échelle des tronçons de cours d'eau ainsi que d'une gamme de stations d'échantillonnage réparties le long d'un gradient de perturbations anthropiques. Des jeux de données importants sont alors indispensables pour valider une approche statistique robuste.

L'analyse conjointe des données de pressions-impacts actuellement disponibles et des données biologiques collectées a permis la mise au point de deux indices de bio-évaluation multimétriques (IRM et IRP, versions 0) utilisant respectivement les structures de peuplements des macroinvertébrés et des poissons.

Même si la procédure de calcul est pertinente, les valeurs d'indices obtenues pour les stations « test » semblent surestimer l'état écologique de ces stations. Plusieurs hypothèses permettraient d'expliquer ce phénomène :

- la nécessité d'affiner les données concernant la quantification des « pressions-impacts » ;
- la forte variabilité intra-types des stations de référence qui remettrait en question la typologie des masses d'eau ;
- la faiblesse statistique du jeu de données (notamment temporelle pour les invertébrés) ;
- le faible nombre de métriques biologiques ou écologiques potentiellement utilisables actuellement ;
- la définition de l'état de référence attribué à certaines stations a probablement été surévalué pour les invertébrés et a nécessité un travail de déclassement des stations pour les poissons, notamment vis à vis des pressions relatives à la continuité écologique (pêche aux bichiques).

Dans ces conditions, une amélioration du jeu de données pris en compte (pressions et données biologiques) conduira sans doute à une révision de l'état des peuplements en conditions de référence. Une acquisition de connaissances supplémentaires sur la biologie et l'écologie des espèces devrait permettre de préciser la réponse des peuplements et des populations aquatiques aux perturbations induites par les activités humaines.

Il sera probablement nécessaire de discuter de la pertinence de la typologie des masses d'eau proposée en 2010. Une remise en question de cette typologie pourrait induire une révision des plans d'échantillonnage afin de les mettre en concordance avec la typologie retenue (de manière importante pour les poissons et dans une moindre mesure pour les invertébrés).

Enfin, l'analyse des pressions révèle la nécessité d'élaborer des politiques de gestion des milieux aquatiques en cohérence avec les objectifs DCE.