



Mise au point d'un indice diatomique pour les cours d'eau
de la Réunion (IDR) :

Rapport final sur la démarche d'élaboration de l'indice
(Version finale 10-10-2012)



S. BOUTRY*, **G. GASSIOLE****, **J. ROSEBERY***,
J.L. GIRAUDEL***, **F. PERES****, **M. COSTE***, **F. DELMAS***

- * Irstea-Cemagref, Gpt de Bordeaux, UR REBX
- ** Asconit Consultants, implantations de Boulogne-sur-Gesse et de la Réunion
- *** EPOC, Université de Bordeaux, UMR CNRS 5805



Outre l'effort initial de mise sur pied de ce programme et la responsabilité de la maîtrise d'ouvrage que l'on doit à l'OLE Réunion , qui a apporté un appui décisif pour la concrétisation de cette étude, celle-ci n'aurait pas pu être réalisée sans la participation financière de :

- L'Office de l'Eau de la Réunion
- Le FEDER Réunion (par l'intermédiaire du service Instructeur, la DEAL Réunion / Service SCED - Unité Europe (adresse : 2 Rue Juliette Dodu - 97706 - St Denis)
- le Ministère de l'Environnement
- L'ONEMA
- Asconit (apport de contreparties sur fonds propres)
- Irstea-Cemagref (apport de contreparties sur fonds propres)

Que ces bailleurs de fonds en soient ici remerciés.

Le programme de recherche et développement "Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de la Réunion " est cofinancé par l'Union Européenne.



Union Européenne

L'Europe s'engage à la Réunion avec le FEDER



Il convient aussi de remercier :

- Adeline PICOT-WAUTHIER (Asconit Réunion) pour sa représentation sur place et son appui de terrain,
- René LE COHU (UMR Ecolab, Université Paul Sabatier Toulouse 3) pour son appui et son expertise taxinomique,
- Les diverses Compagnies des Eaux de la réunion (ILO, Saphir, etc...) pour la facilitation des accès aux sites soumis à autorisation.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	P 5
1) CONTEXTE DE L'ETUDE	P 7
1-1) Contexte naturel	P 7
<i>1-1-1) Géographie et géologie</i>	P 7
<i>1-1-2) Aspects climatiques</i>	P 7
<i>1-1-3) Habitats en cours d'eau : aspects hydrologiques et hydrodynamiques</i>	P 9
<i>1-1-4) Spécificités biogéographiques :</i>	P 9
<i>1-1-5) Zonation Hydroécორégionale</i>	P 10
1-2) Réseau de stations	P 14
1-3) Stratégie temporelle de mesure et d'échantillonnage	P 16
2) LES DONNEES	P 17
2-1) Les données abiotiques	P 17
<i>2-1-1) Les données attachées à la station :</i>	P 17
<i>2-1-2) Les données descriptives générales du couple station-date :</i>	P 17
<i>2-1-3) Les données de physico-chimie de terrain</i>	P 18
<i>2-1-4) Les données de chimie de laboratoire</i>	P 18
<i>a) Descripteurs représentatifs de la géochimie-hydrochimie naturelle :</i>	P 19
<i>b) Descripteurs typiquement représentatifs du degré d'altération anthropique</i>	P 20
2-1-5) La base de données abiotiques : problèmes et solutions apportées	P 21
<i>2-1-5-1) Problèmes relatifs aux données physico-chimiques de terrain :</i>	P 22
<i>2-1-5-2) Problèmes relatifs aux données représentatives du contexte naturel</i>	P 23
<i>2-1-5-3) Problèmes liés aux descripteurs d'altérations anthropiques</i>	P 24
<i>2-1-5-4) Traitement du cas des valeurs non numériques</i>	P 24
2-2) Les données biologiques (assemblages diatomiques)	P 27
3) DEMARCHE GLOBALE D'ANALYSE	P 30
4) ANALYSE DES ASSEMBLAGES DIATOMIQUES, BIOTYPOLOGIE	P 31
4-1) Biotypologie globale : Phase d'apprentissage	P 32
4-2) Repérage des communautés diatomiques typiques (ou biotypes diatomiques)	P 33
4-3) Examen de ces biotypes au regard de la trame HER	P 42
4-4) Repérage des espèces les plus structurantes par groupe diatomique	P 44

4-5) Visualisation de la distribution des groupes diatomiques, vérification de l'affectation d'espèces-types à des groupes	P 46
4-6) Autres essais d'approches biotypologiques réalisés	P 51
4-7) Bilan de cette biotypologie, conséquences opérationnelles	P 51
5) ANALYSE EXPLORATOIRE DES DONNEES ABIOTIQUES (ACP)	P 53
5-1) Objectifs de l'analyse, spécificités liées au cas d'étude et particularités de mise en œuvre	P 53
5-2) réalisation et interprétation des résultats de l'ACP	P 57
5-2-1) <i>Examen préalable de l'auto-corrélation des variables</i>	P 58
5-2-2) <i>Etude des composantes principales</i>	P 59
5-2-3) <i>Poids des contributions de variables dans l'analyse</i>	P 62
5-3) Positionnement des sites dans l'espace des données de l'ACP	P 63
5-4) Détermination du gradient d'anthropisation à partir de l'ACP	P 65
6) ETUDE D'INCIDENCE DES GRADIENTS ANTHROPIQUES SUR LES FLORES (CCA)	P 67
6-1) Spécificités de mise en œuvre de la CCA	P 67
6-2) Résultats de la CCA	P 68
6-3) Vérification et visualisation du gradient d'anthropisation sur la base des groupes de qualité chimique définis	P 69
6-4) Production de cartes d'Etat Chimique des (sites x dates) par campagne de prélèvement	P 71
6-5) Affectation de profils de qualité aux espèces de l'Indice	P 73
7) LE NOUVEL INDICE DIATOMIQUE REUNION (IDR)	P 75
7-1) Méthodologie de mobilisation des profils de qualité pour le nouvel indice	P 75
7-2) Liste des taxons entrant dans l'assise de l'indice	P 77
7-3) Formulation de l'Indice Diatomique Réunion (IDR)	P 82
7-4) Résultats de l'IDR : exploitation cartographique	P 87
7-5) Classes d'état à partir de l'IDR : statistiques fréquentielles	P 88
7-6) Analyse des relations pression-impact à partir de l'IDR	P 90
8) CONCLUSIONS	P 92
9) PERSPECTIVES	P 95
10) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	P 97

LISTE DES FIGURES	3
Fig. 1 : Exposition aux vents et zones de pluviosité à la Réunion	8
Fig. 2 : Cadre conceptuel de la régionalisation HER	11
Fig. 3 : Classification des hydro-écorégions de la Réunion	12
Fig. 4 : Carte des hydro-écorégions de l'île de La Réunion	13
Fig. 5 : Carte du réseau de stations sur les cours d'eau de la Réunion	16
Fig. 6 : Bilan de la fréquence d'occurrence des taxons diatomiques au cours de l'étude	27
Fig. 7 : Structure des assemblages diatomiques sur le plan des abondances relatives moyennes	28
Fig. 8 : Organigramme de la démarche d'analyse de données réalisée	30
Fig. 9 : Positionnement des 269 assemblages diatomiques de l'Etude Réunion dans une carte auto-organisatrice de 180 unités virtuelles (15 X 12)	32
Fig. 10 : Démarche utilisée pour définir le niveau de coupe et les clusters (biotypes diatomiques)	34
Fig. 11 : Découpages successifs de la SOM obtenus pour un niveau de coupe de l'AAH	35
Fig. 12 : Projection du niveau de coupe "8 clusters" sur la SOM de 180 Unités virtuelles	36
Fig. 13 : Caractérisation des conditions <i>in situ</i> correspondant aux 8 biotypes diatomiques par une sélection de descripteurs abiotiques naturels et de descripteurs de gradients d'anthropisation	37
Fig. 14 : Répartition des biotypes diatomiques lors des 3 campagnes à l'approche de l'été austral (Octobre - Novembre 2008, 2009 et 2010)	38
Fig. 15 : Répartition des biotypes diatomiques lors des 2 campagnes à l'approche de l'hiver austral (Avril-Mai 2009 et 2010)	39
Fig. 16 : Relations entre biotypes diatomiques et zonation HER	43
Fig. 17 : Profils de distribution de certains taxons ubiquistes dans la SOM	47
Fig. 18 : Profils de distribution de certains taxons typiques de groupes diatomiques : Biotypes d'eaux peu minéralisées	48
Fig. 19 : Profils de distribution de certains taxons typiques de groupes diatomiques : Biotypes d'eaux naturellement carbonatées	49
Fig. 20 : Profils de distribution de certains taxons typiques de groupes diatomiques : Biotypes typiques d'altérations anthropiques	50
Fig. 21 : Effet de la transformation Box-Cox appliquée à des variables abiotiques très déséquilibrées	55
Fig. 22 : ACP des variables abiotiques avec projection des sites-campagnes : Variables non transformées (en haut), variables normalisées "Box-Cox" (en bas)	56
Fig. 23 : Matrice d'auto-corrélation de Pearson entre les descripteurs ayant participé à l'ACP	58
Fig. 24 : a) Cercles des composantes principales de l'ACP (Axe 1 X Axe 2) à gauche, (Axe 2 x Axe 3) à droite. b) Inertie portée par les variables dans l'analyse	60
Fig. 25 : Particularités de positionnement des sites dans l'espace des données de l'ACP	63
Fig. 26 : Diagramme de distribution de la métrique composite GCA	66
Fig. 27 : Analyse Canonique des Correspondances : Projection des composantes principales des variables d'anthropisation, des sites (ronds jaunes) et des espèces (croix rouges) dans l'espace des données (croisement Axe 1 * axe 2)	68
Fig. 28 : Gradient de qualité des eaux représenté par les 5 groupes de qualité : a) Phosphore total (à gauche) ; b) Orthophosphates (à droite)	70
Fig. 29 : Relations entre conductivité électrique et concentration de PO ₄ dans chaque groupe de qualité chimique des eaux	71

Fig. 30 : Cartographies d'Etat Chimique par campagne basées sur la grille de qualité adoptée pour l'étude et sur les positionnements des sites dans la CCA	72
Fig. 31 : Représentation des profils de qualité calculés pour 2 espèces diatomiques de l'IDR	74
Fig. 32 : Quelques exemples variés de profils de qualité d'espèces incluses dans l'IDR	76
Fig. 33 : Etat Ecologique par relevé (site x date) et par campagne en fonction de la note d'IDR	87
Fig. 34 : Relation entre pression anthropique (valeurs du gradient Composite d'Anthropisation GCA) et statut biologique par relevé (site x date) estimé par la note d'IDR	90

LISTE DES TABLEAUX 4

Tableau 1 : Réseau de stations échantillonnées et dates d'échantillonnage	15
Tableau 2 : Liste et unités des variables physico-chimiques et chimiques prises en compte dans l'étude. Traitement numérique des seuils de détection (SD) et de quantification (SQ) dans la base de données	26
Tableau 3 : degré de détermination taxinomique des espèces de l'étude	27
Tableau 4 : Liste des espèces caractéristiques par groupe diatomique-type identifié sur la SOM de 180 cellules	45
Tableau 5 : Signalétique résumée des 8 biotypes diatomiques et de leur écologie	52
Tableau 6 : Calcul du profil de qualité des espèces de l'IDR en probabilité d'abondance relative par classe (exemple de l'espèce <i>Ulnaria ulna</i> UULN)	74
Tableau 7 : Liste des taxons retenus (profil de qualité par espèce et valeur indicatrice)	78 à 81
Tableau 8 : Notes indicielles obtenues sur les 267 relevés exploitables	83 à 86
Tableau 9 : Statistique d'Etat Ecologique obtenue avec l'IDR par campagne	88
Tableau 10 : Statistique saisonnière d'Etat Ecologique obtenue avec l'IDR (Eté austral – Hiver austral)	89

LISTE DES ANNEXES 4

Annexe 1 : liste des 343 taxons trouvés à la Réunion	99 à 101
Annexe 2 : Conditions environnementales des 8 groupes diatomiques de la Réunion	102 à 105
Annexe 3 : Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l'IDR	106 à 114
Annexe 4 : Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion	115 à 124

INTRODUCTION

Dans le cadre de la DCE (Directive Cadre sur l'Eau) du Parlement Européen et du Conseil, adoptée le 23 octobre 2000 et transcrite en droit français par la Loi n° 2004-338 du 21 avril 2004 (JOCE 2000, [Ref. 7](#)), des **compartiments biologiques-clés pertinents** prédéfinis par **grand type de masse d'eau** (ex : cours d'eau, plans d'eau, eaux de transition, eaux littorales...) doivent contribuer, au même titre que l'Etat Physico-Chimique (descripteurs "classiques" de physico-chimie et de chimie) et que l'Etat Chimique (substances toxiques), au diagnostic de l'Etat Ecologique et au rapportage européen de son évolution au niveau national. L'avantage de ces maillons biologiques-clés est qu'ils permettent d'obtenir une information beaucoup plus intégrée dans le temps de l'état de la masse d'eau que des données d'échantillonnage ponctuel de physico-chimie et de chimie de l'eau, en fonction de leur temps d'intégration caractéristique. Pour les cours d'eau, les maillons-clés et leur durée indicative d'intégration sont les suivants : diatomées, 2 à 3 mois ; macrophytes, 6 mois, avec une possibilité d'influence interannuelle d'événements hydrologiques exceptionnels ; invertébrés, quelques mois à plusieurs années pour les espèces au plus long cycle de vie ; poissons, intégration sur quelques années).

Les diatomées sont donc l'un des compartiments bioindicateurs pertinents préconisés par la DCE (JOCE 2000, [Ref. 7](#)) pour diagnostiquer l'état écologique des cours d'eau à l'échelle Européenne. C'est aussi un compartiment biologique retenu depuis les années 90 pour suivre la qualité des cours d'eau en routine sur les bassins hydrographiques Français, dans le cadre des réseaux de surveillance et avec le concours des Agences de Bassin et des DIRENs (actuelles DREALS-DEALS). L'histoire des indices diatomiques en France date des années 1970 avec la mise au point d'une grille d'évaluation de la qualité des eaux spécifique au bassin de la Seine (Coste et Leynaud, 1974). Puis vint en 1978-1979, la première version de l'Indice de Polluosensibilité Spécifique, l'IPS (Coste, 1982, [Ref. 4](#), qui a connu de nombreuses réactualisations au fur à mesure des avancées taxonomiques et qui reste largement utilisé aujourd'hui comme étalon dans des programmes scientifiques à large extension géographique (tous les taxons du relevé étant pris en compte). Cet indice a aussi été adopté comme méthode nationale par quelques pays européens, et comme partie intégrante de l'Etalon Européen d'intercalibration, l'ICM (Kelly et al, 2007, [Ref. 8](#)). Beaucoup d'autres indices existent, comme l'IDG (Indice Diatomique Générique) (Rumeau et Coste, 1988), d'utilisation simple car utilisant une taxonomie au genre mais conduisant par contrecoup à des imprécisions de diagnostic liées à l'hétérogénéité écologique de certains genres, ou l'IDAP (Indice Diatomique Artois-Picardie) (Prygiel et Coste, 1996) qui n'est applicable qu'à une zone géographique limitée. A l'échelle de l'Europe, de nombreux autres indices basés sur des philosophies parfois comparables (indices généralistes d'altération), parfois très différentes (indices dédiés à un seul type de gradient anthropique), ont été conçus dans divers Etats-membres : Le Trophic Diatom Index ou TDI (Kelly et Whitton, 1995, [Ref. 9](#)), le Trophic Index ou TI (Rott et al 1999, [Ref. 15](#)) et le Saprobic Index ou SI (Rott et al, 1997, [Ref. 14](#))... Pour faire face aux besoins des réseaux de surveillance nationaux, une étude Inter-Agences visant à la mise au point d'une méthodologie pratique, basée sur une liste fermée de taxons et utilisable en routine par les différentes catégories d'intervenants (DIRENs, Agences de l'Eau, Bureaux d'Etude) sur l'ensemble du territoire français métropolitain a été lancée à partir de 1994, aboutissant à la production de l'IBD ou Indice Biologique Diatomées. Une description détaillée de la mise au point de cet indice a été donnée (Lenoir et Coste, 1996, [Ref. 10](#)). Depuis, cette première version de l'IBD basée sur 209 taxons vrais ou regroupés a été normalisée (version dite "IBD 2000" normalisée AFNOR NF-T 90-354 -2000) et employée en routine sur les réseaux français jusqu'à la fin 2009. Une nouvelle version améliorée de cet indice (Coste et al, 2009, [Ref.3](#)) s'appuyant sur une révision de la norme précédente (norme AFNOR N FT 90-354 révisée -2007, [Ref. 1](#)), dite "IBD 2007", est employée en routine dans les réseaux depuis 2010. S'appuyant sur une liste plus importante de taxons (environ 810 taxons vrais dont 120 peuvent subir des déformations tératologiques et se voir affecter un profil spécifique "altéré" lorsque c'est le cas) et sur un nombre très substantiellement plus important de relevés (plus de 7000, contre 835 pour la version IBD 2000), elle a grandement résolu quelques problèmes spécifiques d'application régionale répertoriés pour la version précédente.

A l'heure actuelle, il n'existe pas d'indice diatomique pertinent pour l'île de la Réunion. En effet, sa flore est trop différente de celle de l'Europe de l'Ouest, du fait de son origine géologique (volcan isolé apparu au milieu de l'Océan Indien), de son climat et des influences biogéographiques qu'elle a subi pour les flux migratoires d'espèces (les influences dominantes étant issues des Mascareignes, de Madagascar, de la côte est du continent Africain). De ce fait, les indices mis au point en métropole ne peuvent pas bien s'appliquer sur place, trop peu d'espèces communes aux deux aires géographiques étant mobilisées pour obtenir un calcul de note fiable.

De nombreuses nouvelles espèces, ou de nombreuses espèces éventuellement connues ailleurs dans le monde, mais sélectionnées sur place sous les forçages environnementaux locaux, doivent être décrites, ainsi que leur écologie préférentielle dans ces conditions bioclimatiques spécifiques. Les seuls travaux d'algologie qui pourraient être considérés comme en rapport avec la biogéographie de la Réunion sont des travaux de paléolimnologie et de limnologie menés par Manguin dans différents hydrosystèmes lacustres, de cours d'eau et de sources thermales à Madagascar entre 1941 et 1949 et dont les échantillons, archivés dans des dépendances du MNHN à Paris, sont aujourd'hui difficilement accessibles. Bourrelly et Couté ont réalisé il y a 25 ans une mission algologique à la Réunion et un rapport correspondant (Bourrelly et Couté 1986, [Ref. 2](#)) mais malheureusement, les diatomées étaient exclues du champ de la mission d'inventaire.

La DCE a force d'application en Europe continentale mais aussi dans les Départements d'Outre-Mer. La présente étude, réalisée en collaboration entre le Bureau d'Etudes ASCONIT et l'IRSTEA (ex-Cemagref) d'Octobre-Novembre 2008 à fin 2011, sous maîtrise d'ouvrage de l'Office de l'Eau de l'Eau de la Réunion et avec l'appui de divers financeurs (Office, Ministère en charge de l'Ecologie, FEDER, ONEMA...) avait pour objectif la **conception d'un indice diatomique spécifiquement applicable à La Réunion**.

Ce partenariat s'est donc basé sur la complémentarité des principales parties prenantes. L'Office de l'Eau de la Réunion, motivé par ce développement d'indices biologiques locaux pour l'application locale plus adéquate de la DCE, était déjà en charge de réseaux de surveillance et a constitué des bases de données permettant la capitalisation historique des données de chimie sur plus d'une dizaine d'années. D'autre part, il a pris en charge la maîtrise d'ouvrage de l'étude, en a coordonné les financements et a apporté une partie de celui-ci en mobilisant un autofinancement.

Asconit, qui possède en ses rangs plusieurs Docteurs algologues, possède le savoir-faire pour l'organisation logistique des opérations de terrain, a une implantation physique sur place et a chargé un doctorant de la coordination de cette partie, ainsi que du travail d'identification et de comptage sur inventaires (thèse de Gilles GASSIOLE, à soutenir prochainement).

L'Irstea (ex-Cemagref), outre ses compétences et son expertise taxonomique sur une base mondiale, a capitalisé une expérience dans divers champs méthodologiques en biomathématiques permettant d'envisager le développement complet d'indices biologiques. Ainsi, une expérience a notamment été capitalisée sur l'utilisation des réseaux neuronaux non supervisés et supervisés (Tison et al, 2005, [Ref. 17](#)), qui ont pu être utilisés en biotypologie d'assemblages diatomiques sur le Bassin Adour-Garonne (Tison et al, 2004, [Ref. 16](#)), au niveau de la France entière (Tison et al, 2005, [Ref. 18](#)) et à l'échelon européen dans le cadre du programme du 5ème PCRD PAEQANN (Gosselain et al, 2005, [Ref. 6](#)). Des développements spécifiques ont été fait pour l'identification d'espèces structurantes (Park et al, 2006, [Ref. 12](#)), ainsi que pour la modélisation prédictive des assemblages diatomiques à partir de descripteurs abiotiques incluant quelques caractéristiques physiques des hydrosystèmes (largeur, profondeur, vitesse de courant, T° de l'eau) et des données de physico-chimie et chimie de l'eau associées au relevé (Tison et al, 2007, [Ref. 19](#))

L'étude ayant conduit à la genèse de l'**IDR (Indice Diatomique Réunion)** s'est appuyée sur l'acquisition de 269 relevés taxinomiques des espèces rencontrées sur place (dont 267 ont permis un calcul effectif d'indice) et de données associées de chimie des eaux, obtenues sur un réseau de 56 sites à l'occasion de 5 campagnes de prélèvements de terrain. L'analyse de ces données a permis une caractérisation plus ou moins consolidée des préférences écologiques de 343 espèces, le repérage de communautés diatomiques-types caractéristiques de conditions environnementales particulières et, au final, la mise au point de ce nouvel indice, qui mobilise les profils de qualité écologique de 172 espèces suffisamment occurrentes d'eau douce.

1) CONTEXTE DE L'ETUDE

1-1) Contexte naturel

1-1-1) Géographie et géologie :

L'île de la Réunion, située au cœur de l'Océan Indien par environ 55°3 de longitude Est et 21°5 de latitude Sud, couvre une superficie de 2 512 km², fait environ 80 km de long dans sa plus grande dimension (N-NW – S-SE) et représente un périmètre de 207 km. Comme les deux autres Mascareignes (Ile Maurice, Rodrigues), l'origine de la Réunion est exclusivement volcanique. L'histoire géologique de cet archipel a débuté par des éruptions sous-marines qui ont généré l'élévation d'un socle Mascareignes-Seychelles, puis par des volcans terrestres sortis directement de l'Océan Indien depuis le niveau de ce socle. Du fait d'une dérive du point chaud, l'activité volcanique s'est progressivement déplacée et a généré successivement l'émergence de l'île Rodrigues (la plus ancienne, la plus éloignée et la plus érodée, à 836 km à l'est de la Réunion), puis l'île Maurice (en position intermédiaire, à environ 200 km à l'est de la Réunion), et enfin la Réunion, d'origine la plus récente et la seule à être encore en activité volcanique.

L'émergence de la Réunion est très récente à l'échelle des temps géologiques. L'activité volcanique interne a été d'abord localisée dans la partie Nord-Ouest, qui constitue la partie la plus ancienne de l'île. Le Piton des Neiges, éteint depuis environ 20 000 ans, a une altitude actuelle émergée de 3 070 m, ce qui représente un cône volcanique de plus de 7 000 m de hauteur depuis le socle des Mascareignes situé au fond de l'océan. Au cours du temps, le point chaud s'est déplacé vers le Sud-Est de l'île (actuel massif de la Fournaise, d'une altitude de 2 631 m et doté d'une activité volcanique régulière), qui constitue la partie jeune de l'île. La limite entre massif ancien et récent est marquée par le cours des rivières des Remparts et de l'Est, avec une zone de transition représentée par les pitons de la Plaine des Palmistes et de la Plaine des Cafres. L'île étant jeune, le relief, que l'on peut qualifier de peu évolué, est caractérisé par la prédominance des terres élevées, montagnes ou plateaux (eux-mêmes qualifiés localement de "plaines", cf Plaine des cafres, Plaine des Palmistes), et par la faible étendue des plaines réelles, disposées le plus souvent en bordure de littoral. Ainsi se trouvent individualisées trois grandes régions naturelles : massif ancien (entouré des 3 cirques), massif récent, plaines littorales.

1-1-2) Aspects climatiques

La position de la Réunion aux abords de 21° de latitude Sud et ses dimensions restreintes (2 512 km²) qui permettent la pénétration assez forte des influences océaniques, notamment sur la côte est, la dotent d'un climat tropical maritime, avec alternance de deux saisons :

- 1) l'une très humide et chaude, l'hivernage ou saison des pluies (de novembre à avril) ;
- 2) l'autre, plus sèche et un peu fraîche, la saison sèche (de mai à octobre).

La **température moyenne annuelle** est assez élevée dans les zones de faible altitude proches du littoral (24,5° à Saint-Denis, 25,4° à Saint-Paul, 26 à 27° sur le littoral Ouest à Sud-Ouest), et les variations thermiques au cours de l'année, modérées, ne dépassent guère 6° à 7° entre les mois les plus chauds (janvier-février) et les plus frais (juillet-août).

Cependant, du fait du fort gradient d'altitude (de plus de 3 000 m au niveau de la mer), il existe une **stratification climatique** importante qui induit par contrecoup la succession de quatre zones étagées en fonction de l'altitude (avec un décalage entre la côte Ouest, plus chaude et sèche, et la côte Est, plus fraîche, pluvieuse et ventée) et qui présentent chacune des formations végétales particulières :

- la première, du niveau de la mer à 800 m, nettement tropicale par la température (26-27° à 20° de moyenne annuelle selon altitude), par sa flore spontanée et les cultures de type tropical (canne à sucre, ananas etc...),

- la deuxième, de 800 à 1 400 m, semi-tropicale, caractérisée par une moyenne thermique annuelle comprise entre 20° et 12°, avec prédominance de forêts et un mélange des espèces tropicales et tempérées,
- la troisième, de 1 400 à 2 000 m., semi-forestière, avec une température de 12° à 5°, le seul grand arbre, le tamarin des hauts, étant accompagné de divers arbustes (branles, ajoncs)...
- la quatrième, au-dessus de 2 000 m., avec une moyenne annuelle égale ou inférieure à 5° et une flore semi-alpine (branles blancs, mousses, lichens).

La pluviosité :



Figure 1 : exposition aux vents et zones de pluviosité à la Réunion
(Côte au Vent arrosée figurée en vert, côte Sous le Vent de climat plus sec en ocre)

La pluviométrie est très inégalement répartie avec d'une part, un contraste important entre la côte Est, dite au Vent, la plus pluvieuse, et la côte Ouest, dite sous le Vent, beaucoup moins arrosée (voir zonation naturelle Est-Ouest représentée en Figure 1 ci-dessus). D'autre part, il existe un très fort gradient pluviométrique altitudinal.

Les vents dominants sont les alizés du Sud-Est, soufflant surtout dans la belle saison. L'île est affectée aussi, principalement au cours de l'hivernage, par les moussons du Nord-Est et du Sud-Ouest amenant des épisodes parfois intenses et prolongés de pluies tropicales, ainsi que des événements cycloniques.

Ainsi, sur un territoire aussi restreint, il est possible d'observer des contrastes de pluviosité très forts, avec des pluviométries proches des records mondiaux en altitude sur le versant Est à Sud-Est du Piton des Neiges, secteurs de Takamaka à Bébour et sur le versant Est à Sud-Est du massif de la Fournaise, dépassant localement les 9 m d'eau par an en moyenne annuelle, avec certaines pluviométries annuelles de pointe de 12 ou 13 m) et, à l'inverse, un climat très aride au niveau de la mer sur la côte Ouest entre le secteur de St Paul - le Port et de St-Leu - l'Etang-Salé - les Avirons, avec moins de 700 mm d'eau par an dans un contexte tropical sec conduisant à un contexte aride, parfois moins de 500 mm d'eau /an (St Gilles : 525 mm d'eau en moyenne/an).

1-1-3) Habitats en cours d'eau : aspects hydrologiques et hydrodynamiques :

Ces forts contrastes climatiques et le fait que les cours d'eau passent rapidement de zones de forte altitude au niveau de la mer induisent des régimes hydrologiques très contrastés et dynamiques.

Les profils en long et les analyses typologiques pré-existantes (Malavoi, 1998, Ref. 11 et Malavoi 1999, Ref.12) font ressortir une dominante de rivières à très forte énergie et substrats grossiers dominants sur la plus grande partie de leur cours et le plus souvent directement jusqu'à la mer (faciès de torrents avec blocs, pierres, galets, graviers et sables), un faible nombre de rivières (type Rivière Ste Suzanne) ayant un court secteur de rupture hydrodynamique avec faciès plus plats, calmes et profonds (de type mouilles) à l'approche de l'embouchure.

Selon l'emplacement et l'orientation du bassin versant par rapport aux vents dominants, les cours d'eau seront assez abondamment et régulièrement arrosés, notamment en altitude, et auront un débit plus soutenu presque toute l'année sur la Côte Est dite "au Vent". Par contre, les cours d'eau dont le bassin versant est entièrement sur la partie Ouest de l'île (Cours d'eau "sous le Vent") auront un régime saisonnier beaucoup plus contrasté avec des écoulements torrentiels lors des épisodes pluvieux de la saison cyclonique (décembre à fin mars) et un régime d'étiage sévère à débits faiblement soutenus pendant le reste de l'année.

Du fait de la situation de leur bassin versant sur une zone de transition climatique entre les côtes Est et Ouest, les cours d'eau avec embouchure au Nord (ex : Rivière de Pluies, Rivière St Denis) et au Sud (ex : rivière Langevin, Rivière des Remparts) subissent des influences intermédiaires au niveau de leur régime (plus arrosées que les cours d'eau de l'Ouest, moins arrosés que les cours d'eau typiques de l'Est).

Sur le plan des influences de l'hydrologie sur la biologie, cette différence de pluviosité, de régime et de conditions thermiques dans les cours d'eau est de nature à conduire à des peuplements diatomiques plus stables sur les cours d'eau de la côte est qui, bien qu'une saison sèche existe, subit un climat plus régulièrement arrosé et des régimes hydrologiques globalement plus soutenus. Par contre, **les différences saisonnières d'assemblages diatomiques risquent a priori d'être plus marquées sur la côte Ouest**, qui présente un fort contraste entre des épisodes prolongés d'étiage sévère des cours d'eau en saison sèche et un régime très dynamique ponctué de forts épisodes de crues en saison des pluies.

1-1-4) Spécificités biogéographiques :

Du fait de son émergence au beau milieu de l'océan et de son éloignement des autres Mascareignes (voir ci-dessus), de Madagascar (dont la côte Est, la plus proche, est située à 800 km) et du continent Africain, la Réunion est restée relativement isolée de flux migratoires importants d'espèces jusqu'au début de sa fréquentation et de sa colonisation par l'homme (étape sur la Route des Indes devenue de plus en plus usitée à partir des années 1660-1665, début de sa colonisation pérenne par la France).

Avant cette colonisation, qui a contribué à l'extinction de quelques espèces endémiques et à l'accélération de l'introduction de nombre d'espèces exotiques, la Réunion présentait une assez faible biodiversité sur le plan du nombre d'espèces animales et végétales. Par contre, elle présente de fortes spécificités sur le plan patrimonial, beaucoup d'espèces, suite à une évolution et une sélection par les conditions locales, étant plus ou moins endémiques de la Zone Est-Africaine, des Mascareignes, ou même de la Réunion elle-même comme l'emblématique Solitaire de la Réunion ou Dodo (*Threskiornis Solitarius*), différent de son cousin de l'Île Maurice (*Raphus Cucullatus*).

Ce contexte particulier de situation géographique (zone inter-tropicale), de genèse (île apparue *de novo* au milieu de l'océan), de nature géologique (substrat volcanique très dominant) et de spécificités climatiques locales (gradient d'altitude passant de plus de 3000 m au niveau de la mer) explique que la Réunion présente des **spécificités biogéographiques probablement plus marquées que dans beaucoup d'autres contextes continentaux ou insulaires moins isolés**. C'est une raison majeure pour laquelle, dans le domaine de l'hydrobiologie, il est apparu nécessaire d'acquérir des données environnementales locales, de savoir déterminer les espèces locales, de décrire plus précisément leur écologie et d'en dériver des outils de bio-indication applicables localement pour l'application de la DCE.

Les fortes spécificités de cortèges biologiques générées par ce contexte biogéographique isolé ne sont pas propres uniquement aux diatomées des cours d'eau, mais aussi aux autres maillons aquatiques bio-intégrateurs des conditions de milieu et des altérations anthropiques, comme les poissons ou les macro-invertébrés benthiques et plus largement, aux faunes et flores natives de l'île.

1-1-5) Zonation Hydroécorégionale

La DCE recommande de mesurer les effets de l'altération anthropique et l'atteinte à l'Etat Ecologique qu'elle entraîne sur la base de la déviation avec la "**situation de référence adéquate**". 2 approches conceptuelles s'appuyant sur une démarche typologique sont envisageables pour repérer les différentes conditions naturelles de référence et le découpage territorial correspondant :

La première suppose que ce sont les principales conditions de **forçage naturel abiotique** qui s'appliquent sur et dans un cours d'eau qui conditionnent la sélection des espèces et assemblages représentatifs des conditions naturelles de ce cours d'eau. Il en résulte une démarche de mise en place d'une **typologie purement abiotique**, qui a été appliquée avec succès sur le territoire français métropolitain (Wasson et al. 2002, [Ref. 20](#)) et a conduit à la définition de 22 sous-ensembles homogènes dits Hydro-Eco-Régions de niveau 1 (HER 1) et, pour une typologie plus fine, de 121 sous-ensembles homogènes de niveau 2 (dits HER 2).

Une seconde approche, complémentaire à celle précitée, considère qu'il peut être accordé un poids significatif sur la structuration des communautés à des **facteurs écologiques propres au biote (dits facteurs biotiques)**. Dans certains cas, leur influence serait suffisamment importante pour conditionner en partie la typologie des assemblages multi-spécifiques en place et aider à en comprendre la structure.

Dans ce vocable englobant "facteurs biotiques", on peut identifier 2 catégories principales d'origines susceptibles d'influer sur une typologie d'assemblages multispécifiques :

- 1) Des facteurs liés à la dissémination et à la colonisation des espèces (A quel endroit s'est faite géographiquement la première introduction historique d'une espèce donnée ? Par quels moyens se propage-t-elle ? Est-elle apte uniquement à descendre le courant ou peut-elle le remonter ? A-t-elle des vecteurs naturels privilégiés ou non, sont-ils très mobiles ou non ? Résiste-t-elle à une émergence prolongée ? Ces caractéristiques précédentes conditionnent ensuite l'aptitude de l'espèce à coloniser d'autres bassins versants plus ou moins isolés par des reliefs et des lignes de crête.
- 2) D'autre part, outre les facteurs abiotiques naturels, existe-t-il aussi des relations biotiques (du type relations de compétition et d'exclusion écologique qui conduisent à ce que la présence forte d'une espèce rende quasi-impossible la présence d'une autre espèce dans le même relevé, ou au contraire relations de facilitation conduisant plusieurs espèces à être plus probablement présentes ensemble), qui influent significativement sur la composition spécifique des assemblages en place ? Dans ce cas, une façon de repérer la trame des peuplements naturels de référence serait de partir d'une **biotypologie** (typologie des assemblages naturels) qui intégrerait à la fois l'effet des conditions abiotiques exerçant un effet-filtre et celles des aspects biotiques.

Pour le compartiment diatomique, en métropole, la typologie adoptée pour le repérage des situations de référence s'est appuyée à la fois sur les points forts de ces deux démarches. Les différents types d'assemblages diatomiques de référence ont été repérés à partir d'une biotypologie basée sur la composition des assemblages naturels (appelés biotypes diatomiques naturels, au nombre de 5 seulement au niveau métropolitain), et l'aire géographique d'application de ces biotypes de référence s'est basée sur le zonage géographique précis des HydroEcoRégions définies par l'approche abiotique.

Dans le cas de la Réunion, une **proposition de zonage hydroécorégional** a déjà été réalisée il y a quelques années (Wasson et al, 2004, [Ref. 21](#)) dans le cadre d'une étude commandée par la DIREN Réunion et il est possible de s'appuyer sur cet acquis important.

En résumé synthétique, la démarche utilisée et les résultats ont été les suivants :

- **Cadre conceptuel** : la typologie HER réalisée a été basée sur une classification purement abiotique.
- **Démarche méthodologique** : elle a reposé sur une **approche typologique descendante** utilisant les déterminants primaires de fonctionnement des hydrosystèmes (géologie, relief, climat) pour la classification. Cette approche est fondée sur l'enchaînement hiérarchique des facteurs qui déterminent le fonctionnement écologique des cours d'eau : la biodiversité et la productivité des communautés vivantes sont supposées répondre aux "facteurs clés" que sont l'habitat physique et le climat aquatique au niveau local, eux mêmes dépendants de "facteurs de contrôle" identifiables à l'échelle du tronçon que sont l'hydrologie, la morpho-dynamique fluviale, la structure de la végétation rivulaire. Ces facteurs de contrôle sont eux mêmes dépendants de la géologie, du relief et du climat caractérisant des "régions" différentes. Ce cadre conceptuel justifie une régionalisation des écosystèmes d'eau courante à partir des déterminants primaires géophysiques et climatiques, qui permettent de délimiter des « hydro-écorégions » (voir Figure 2 ci-dessous). Il est à noter que, au moins dans le cas des diatomées mais aussi probablement des macro-invertébrés benthiques, la façon dont la géologie influe ne tient pas seulement dans les pentes, l'hydrodynamique et la granulométrie des substrats mais également dans la composition hydrochimique des eaux, elle-même dépendante de la géochimie du substrat. De nombreuses études antérieures ont montré l'influence notamment du pH, de la conductivité des eaux et de son pouvoir-tampon sur la sélection des espèces diatomiques.

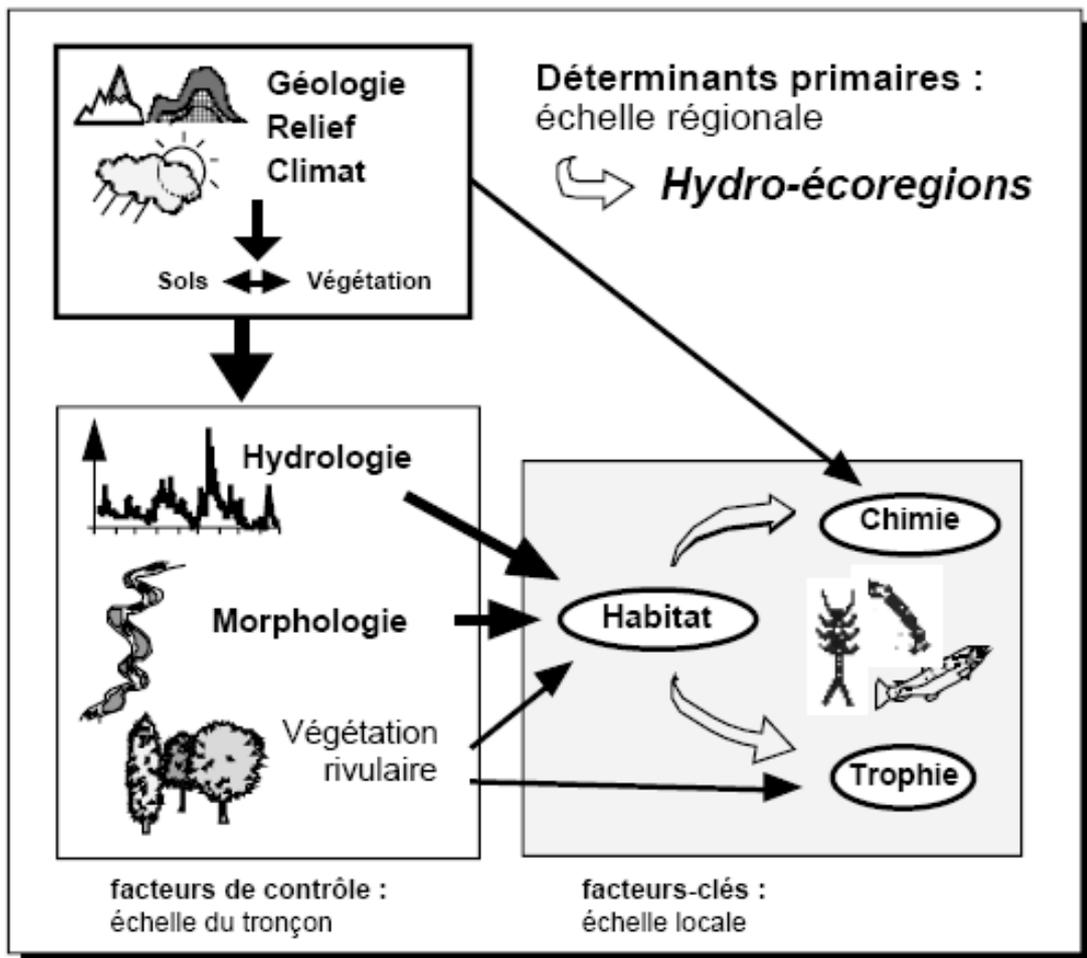


Figure 2 : Cadre conceptuel de la régionalisation HER : représentation schématisée de l'emboîtement hiérarchique des facteurs de contrôle des écosystèmes d'eau courante

- **Résultats** : Sur la base de différentes couches d'informations cartographiques mises à disposition par la DIREN Réunion (voir annexes de ce rapport), une proposition de régionalisation fondée sur des critères climatiques, géomorphologiques et géologiques a été élaborée. Les descripteurs utilisés ont été la géologie ; le relief (altitudes, pentes, basées sur un MNT de maille 25m issu de la BD Topo © IGN) ; le climat, représenté notamment par les régimes de précipitation ; l'hydrographie (structure du réseau) ; un bilan hydrologique (facilitant l'interprétation des données de précipitation) ; les éléments disponibles de connaissance de géomorphologie des cours d'eau (Malavoi 1999).

La typologie abiotique réalisée a abouti sur un découpage en six régions différentes (voir Figure 3 ci-dessous).

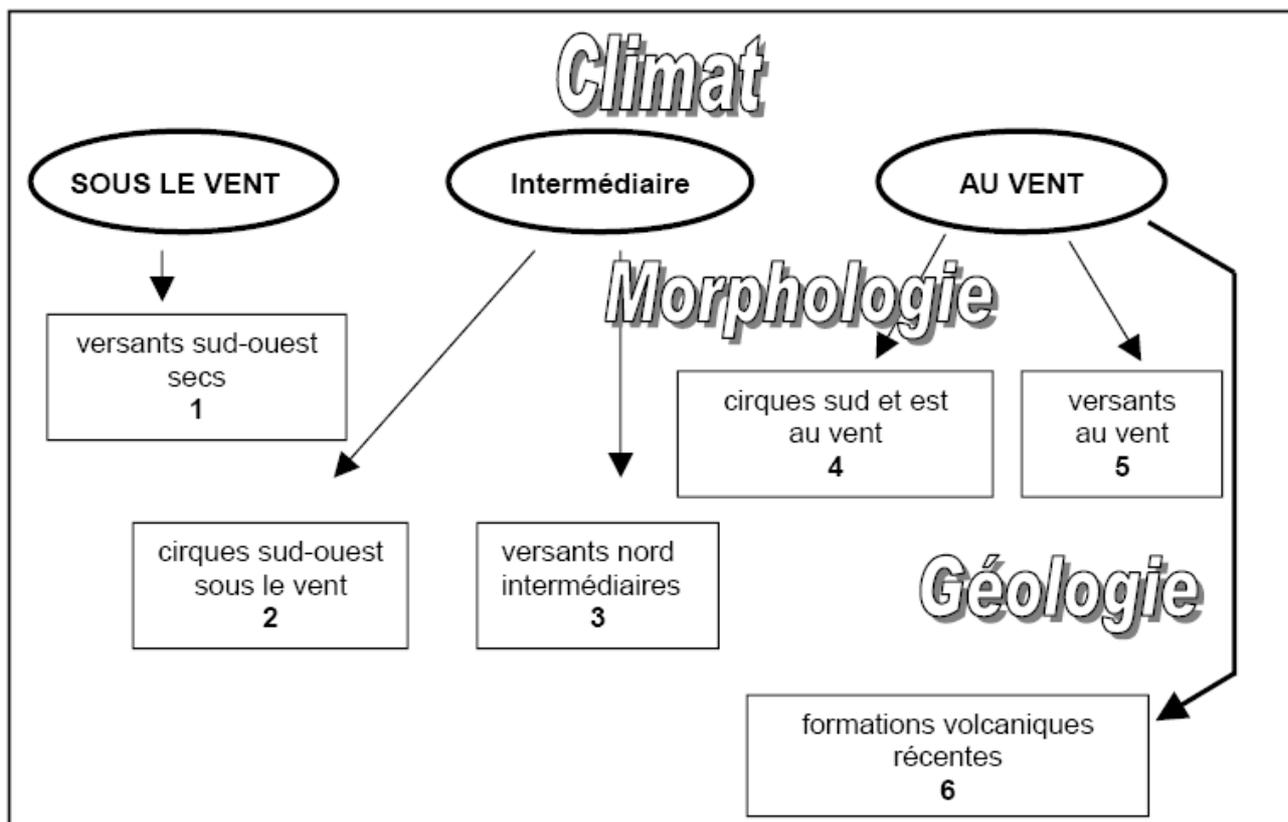


Figure 3 : Classification des hydro-écorégions de la Réunion

Une représentation cartographique de ces 6 HER est donnée sur la Figure 4 page 13. Leurs caractéristiques dominantes, directement issues de la classification, sont les suivantes :

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 d'été assez souvent non permanent (exceptions, qui font partie des cours d'eau suivis dans les réseaux : Ravine du Cimetière, Ravine St Gilles, Ravine de l'Ermitage).

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.

Hydro-écorégions de l'île de la Réunion

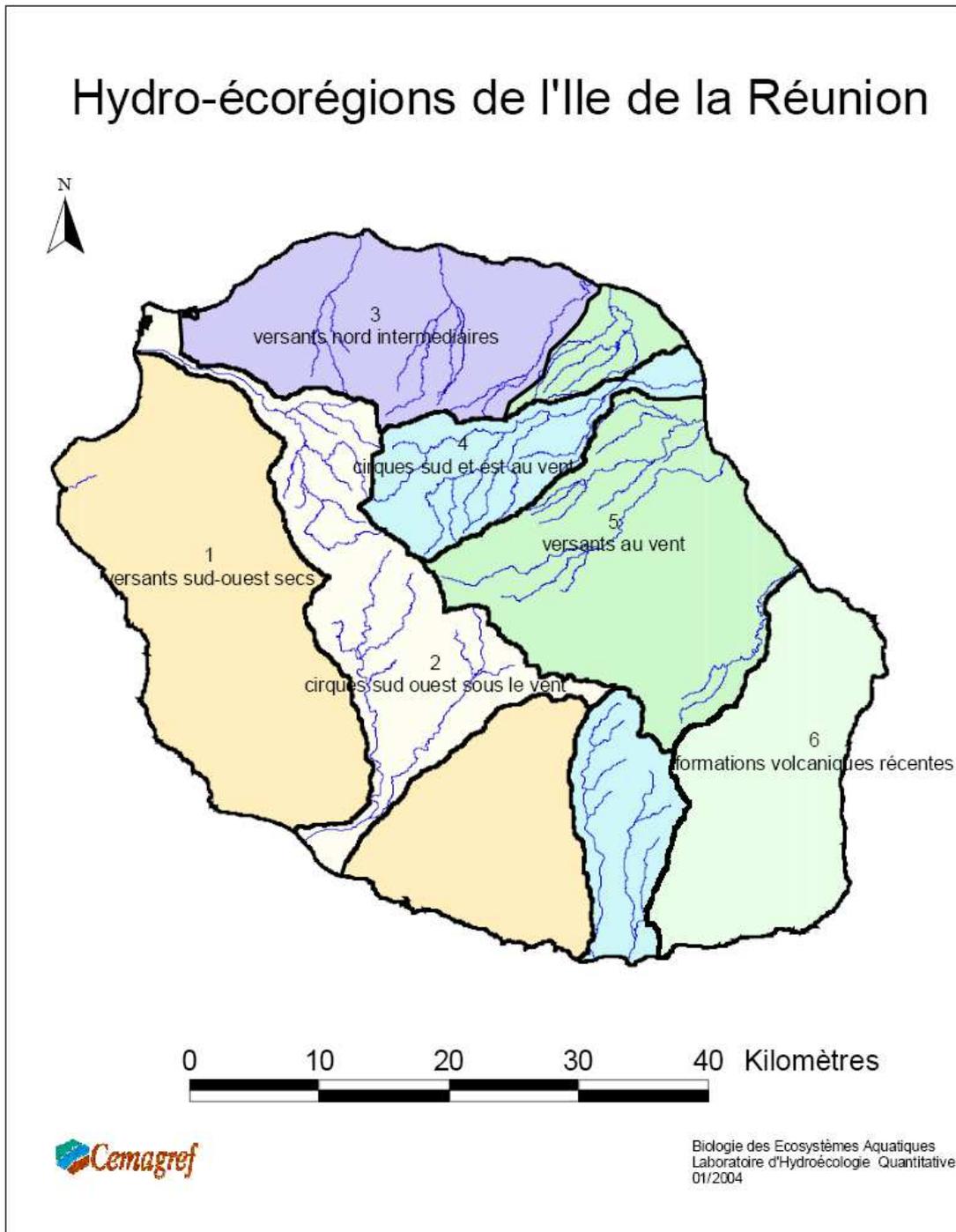


Figure 4 : Carte des hydro-écorégions de l'île de La Réunion

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 le cirque volcanique de Salazie et des bassins fortement escarpés de la rivière des Remparts et de la rivière Langevin 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) 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).

Dans le cadre de cette étude, l'analyse des données biologiques basées sur la composition des assemblages de diatomées révélera si cette trame de régions naturelles uniquement abiotiques (HER) est convenable pour asseoir un zonage des flores de référence ou si, comme en métropole, il vaudra mieux utiliser un système mixte s'appuyant d'une part sur une biotypologie pour repérer les assemblages naturels, et d'autre part sur la trame HER prédéfinie pour la Réunion pour définir des contours géographiques dans lesquels tel ou tel assemblage diatomique naturel sera considéré comme la "référence adéquate". Si, comme c'est fortement plausible, des facteurs biotiques du type "historique et ampleur géographique et hydrologique de la colonisation par telle ou telle espèce diatomique" se révèlent structurants pour expliquer les assemblages naturels d'espèces en place en fonction des bassins versants, un système mixte de zonation associant trame abiotique et trame biotypologique sera à utiliser.

1-2) Réseau de stations

Un code de 4 lettres pour chacune des stations de l'étude a été attribué, dont la nomenclature est détaillée ci-dessous.

Nom du cours d'eau (2 lettres)	Station/prélèvement	Campagne
--------------------------------	---------------------	----------

Exemple :

GL	C	B
----	---	---

- GL = Rivière des Galets

- C = Station C = Amont barrage Ilo

- B = Campagne B = avril/mai 2009

→ Code synthétique station X campagne = **GLCB**

→ La même station lors de la campagne A d'octobre/novembre 2008 (1^{ère} campagne de terrain) a été codée **GLCA**.

Le Tableau 1 en p. 15 récapitule et décrit le dispositif des 56 stations de terrain sur lesquelles a porté l'étude :

- Des éléments précis d'identification et de localisation de la station sont donnés, ainsi que certaines informations géographiques (altitude, coordonnées GPS précises...).

- L'appartenance des sites aux hydro-écorégions naturelles de la Réunion telles qu'établies par Wasson et al 2004 est précisée (rattachement des sites aux 5 HER dotées d'un réseau hydrographique pérenne).

Tableau 1 : Réseau de stations échantillonnées et dates d'échantillonnage

(en jaune : 17 sites hors réseaux, sans analyses de chimie en laboratoire)

Stations	Description Stations	HER de Wasson	Longitude WGS 84	Latitude WGS 84	Altitude (m)	Code OLE	Dates de prélèvement selon campagne				
							A	B	C	D	E
BCA	Bras Cilaos amont captage Pavillon	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	339048	7656089	370	34077	20/11/2008	24/04/2009	27/10/2009	24/04/2010	19/10/2010
BCB	Bras Cilaos amont Ilet Furcy	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	339721	7650630	200	34079	20/11/2008	24/04/2009	27/10/2009	24/04/2010	19/10/2010
BEA	Bras des étangs près anciens thermes	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	340964	7662566	1190	18800	20/11/2008	24/04/2009	27/10/2009	24/04/2010	19/10/2010
BNA	Bras de Benjoin amont sentier randonnée Cilaos-Bras sec	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	342502	7662218	1000	18121	20/11/2008	24/04/2009	27/10/2009	24/04/2010	19/10/2010
BPA	Bras Panon amont confluence Rivière des Roches	5 : Versants au vent	363475	7676522	8	23008	/	28/04/2009	28/10/2009	28/04/2010	12/10/2010
BSA	Bras de Sainte-Suzanne amont barrage ILO	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	333748	7677727	346	14286	27/11/2008	20/05/2009	04/11/2009	27/04/2010	27/10/2010
CMA	Ravine du cimetière (sortie STEP Saint-Paul ville)	1 : Versants Sud-Ouest secs	319046	7675113	1	16800	26/11/2008	11/05/2009	02/11/2009	03/05/2010	25/10/2010
CVA	Bras de Caverne amont confluence Rivière du Mât	4 : Cirques Sud et Est au vent	352860	7677010	250	22079	/	29/04/2009	21/10/2009	01/05/2010	20/10/2010
DNA	Rivière Saint- Denis amont prise AEP	3 : Versants Nord intermédiaires	337065	7687272	70	14015	13/11/2008	28/04/2009	20/10/2009	04/05/2010	21/10/2010
DNB	Rivière Saint- Denis Ilet à Guillaume	3 : Versants Nord intermédiaires	336403	7686795	260	14800	24/11/2008	07/05/2009	23/10/2009	04/05/2010	21/10/2010
DNC	Rivière Saint-Denis 150 m aval passerelle Malabar	3 : Versants Nord intermédiaires	337926	7689400	20	14362	24/11/2008	28/04/2009	20/10/2009	04/05/2010	21/10/2010
ERA	Ravine de l'Ermitage à l'église "Notre Dame de l'Ermitage"	1 : Versants Sud-Ouest secs	319046	7675113	1	15109	26/11/2008	11/05/2009	02/11/2009	03/05/2010	11/10/2010
ESA	Rivière de l'Est aval pont RN2	5 : Versants au vent	370214	7663999	190	28019	01/12/2008	27/04/2009	02/11/2009	29/04/2010	18/10/2010
ETA	Ravine de l'Étang Grand Etang confluence Bras d'Annette	5 : Versants au vent	357858	7665863	532	26083	01/12/2008	27/04/2009	26/10/2009	05/05/2010	13/10/2010
FJA	Rivière Fleurs Jaunes mare à vieille place	4 : Cirques Sud et Est au vent	343424	7673061	670	25027	28/11/2008	01/05/2009	30/10/2009	05/05/2010	15/10/2010
FJB	Rivière Fleurs Jaunes amt. barrage ILO	4 : Cirques Sud et Est au vent	348441	7675977	350	25031	19/11/2008	13/05/2009	21/10/2009	14/04/2010	20/10/2010
GJA	Grand Bras Rivière Saint-Jean au captage AEP	5 : Versants au vent	355036	7680648	312	22011	24/11/2008	04/05/2009	19/10/2009	22/04/2010	12/10/2010
GLA	Rivière des Galets Marla	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	337617	7666925	1400	18801	28/11/2008	30/04/2009	29/10/2009	04/05/2010	14/10/2010
GLB	Rivière des GaletsTrois Roches	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	335125	7667023	1200	18105	28/11/2008	30/04/2009	29/10/2009	05/05/2010	14/10/2010
GLC	Rivière des Galets amont barrage ILO	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	334000	7674430	300	17055	27/11/2008	29/04/2009	04/11/2009	27/04/2010	27/10/2010
GLD	Rivière des Galets Ilet Malidé (ex Cap Poivrier)	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	330555	7678396	120	13093	27/11/2008	29/04/2009	04/11/2009	27/04/2010	27/10/2010
GOA	Ravine du Gol (amont ou aval radier Bel Air)	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	333901	7645319	3	37101	/	11/05/2009	02/11/2009	03/05/2010	25/10/2010
GSA	Grand Bassin Bras de Sainte-Suzanne amt. sentier Cascade	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	347572	7656816	690	41016	04/12/2008	05/05/2009	03/11/2009	30/04/2010	26/10/2010
LGA	Rivière Langevin amont Cascade Grand Galet (Cap Blanc)	4 : Cirques Sud et Est au vent	360302	7645148	685	46138	18/11/2008	25/04/2009	22/10/2009	23/04/2010	22/10/2010
LGB	Rivière Langevin Cascade Grand Galet	4 : Cirques Sud et Est au vent	359110	7642687	430	46078	18/11/2008	25/04/2009	22/10/2009	23/04/2010	22/10/2010
LGC	Rivière Langevin amont barrage EDF (au limnigraphe)	4 : Cirques Sud et Est au vent	359369	7639703	270	46050	18/11/2008	25/04/2009	22/10/2009	23/04/2010	22/10/2010
LGD	Rivière Langevin amont pont RN1	4 : Cirques Sud et Est au vent	359604	7635129	40	46090	18/11/2008	25/04/2009	22/10/2009	23/04/2010	22/10/2010
LNA	Bras des Lianes amont captage A.E.P. (au limnigraphe)	4 : Cirques Sud et Est au vent	355695	7674288	666	26008	25/11/2008	04/05/2009	23/10/2009	25/04/2010	11/10/2010
MAA	Rivière du Mât à l'ilet à Vidot	4 : Cirques Sud et Est au vent	344265	7671094	670	25026	19/11/2008	13/05/2009	21/10/2009	01/05/2010	15/10/2010
MAB	Rivière du Mât amont barrage ILO (*)	4 : Cirques Sud et Est au vent	348944	7674644	360	25032	19/11/2008	13/05/2009	21/10/2009	14/04/2010	20/10/2010
MAC	Rivière du Mât aval pont de l'Escalier	4 : Cirques Sud et Est au vent	352947	7677127	250	22078	19/11/2008	29/04/2009	21/10/2009	01/05/2010	20/10/2010
MAD	Rivière du Mât aval (amont chemin Valentin)	4 : Cirques Sud et Est au vent	363045	7679219	30	23060	01/12/2008	29/04/2009	19/10/2009	22/04/2010	16/10/2010
MNA	Ravine du Maniron (amont ou aval RN1)	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	332192	7646157	4	37800	/	11/05/2009	02/11/2009	03/05/2010	25/10/2010
MRA	Rivière des Marsouins à Bébou	5 : Versants au vent	351107	7664669	1300	25058	17/11/2008	27/04/2009	28/10/2009	25/04/2010	18/10/2010
MRB	Rivière des Marsouins à Takamaka	5 : Versants au vent	355769	7666733	851	26800	17/11/2008	02/05/2009	26/10/2009	04/05/2010	12/10/2010
MRC	Rivière des Marsouins à Bethléem	5 : Versants au vent	363101	7672829	60	27054	25/11/2008	27/04/2009	28/10/2009	25/04/2010	12/10/2010
MRD	Rivière des Marsouins pont RN2	5 : Versants au vent	366189	7672946	5	27107	01/12/2008	27/04/2009	28/10/2009	28/04/2010	12/10/2010
PLA	Rivière des Pluies Ilet Quinquina (140 m)	3 : Versants Nord intermédiaires	344866	7685016	140	21018	02/12/2008	28/04/2009	20/10/2009	20/04/2010	13/10/2010
PLB	Rivière des Pluies Ilet Quinquina - Amont galerie Salazie	3 : Versants Nord intermédiaires	343039	7680829	340	14287	02/12/2008	28/04/2009	20/10/2009	20/04/2010	13/10/2010
PLC	Rivière des Pluies embouchure Gillot	3 : Versants Nord intermédiaires	344381	7689221	25	21128	02/12/2008	02/05/2009	20/10/2009	03/05/2010	11/10/2010
PNA	Bras de la Plaine Grand Bassin aval 3 bras	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	344924	7653202	410	41012	05/12/2008	06/05/2009	03/11/2009	26/04/2010	23/10/2010
PNB	Bras de la Plaine aval puit AEP	2 : Cirques Sud-Ouest sous le vent	344673	7652339	350	41030	05/12/2008	06/05/2009	03/11/2009	26/04/2010	23/10/2010
PTA	Bras Pétard Libéria amont confluence Bras Panon	5 : Versants au vent	361999	7676910	40	23034	25/11/2008	28/04/2009	28/10/2009	28/04/2010	12/10/2010
ROA	Rivière des Roches à Mon Désir	5 : Versants au vent	360483	7673453	12	27104	25/11/2008	04/05/2009	28/10/2009	25/04/2010	12/10/2010
ROB	Rivière des Roches au radier Beauvallon	5 : Versants au vent	364195	7676713	5	23063	25/11/2008	04/05/2009	28/10/2009	25/04/2010	12/10/2010
ROC	Rivière des Roches à abondance	5 : Versants au vent	360643	7673362	158	27044	/	04/05/2009	28/10/2009	25/04/2010	13/10/2010
RPA	Rivière des Remparts amont radier Saint-Joseph	4 : Cirques Sud et Est au vent	356739	7634990	10	46102	18/11/2008	25/04/2009	22/10/2009	23/04/2010	22/10/2010
SBA	Grand Bras Saint-Benoît abondance	5 : Versants au vent	361009	7673384	160	27046	25/11/2008	04/05/2009	26/10/2009	25/04/2010	13/10/2010
SEA	Rivière Saint-Etienne amont pont RN1	4 : Cirques Sud et Est au vent	335830	7644693	35	38147	20/11/2008	11/05/2009	22/10/2009	03/05/2010	11/10/2010
SGA	Ravine Saint-Gilles 'au Verrou'	1 : Versants Sud-Ouest secs	316949	7671492	40	15057	21/11/2008	15/04/2009	09/11/2009	06/05/2010	18/10/2010
SJA	Grande Rivière Saint-Jean amont confluence	5 : Versants au vent	357545	7685433	6	22174	24/11/2008	04/05/2009	19/10/2009	22/04/2010	16/10/2010
SJB	Grande Rivière Saint-Jean au temple de Bois Rouge	5 : Versants au vent	357499	7686466	1	22136	26/11/2008	11/05/2009	02/11/2009	03/05/2010	25/10/2010
SZA	Rivière Ste-Suzanne amont radier N2002	3 : Versants Nord intermédiaires	355794	7686544	3	22057	24/11/2008	28/04/2009	19/10/2009	28/04/2010	16/10/2010
SZB	Rivière Ste-Suzanne amont cascade Niagara	3 : Versants Nord intermédiaires	353485	7684580	150	22180	24/11/2008	19/05/2009	19/10/2009	29/04/2010	16/10/2010
SZC	Rivière Ste-Suzanne amt. Bassin Boëuf (sortie Bassin Grondin)	3 : Versants Nord intermédiaires	352549	7682561	365	22144	24/11/2008	19/05/2009	19/10/2009	28/04/2010	16/10/2010
SZD	Rivière Ste-Suzanne Village Desprez (ancien bras à St-André)	3 : Versants Nord intermédiaires	355330	7687440	1	22800	26/11/2008	/	/	/	/

(*) 750 m amont confli. Riv. Fleurs Jaunes

- La correspondance de la codification de cette étude avec les codes-stations de l'Office de l'Eau Réunion est rappelée (colonne Code OLE).

- Il est à noter que 5 stations complémentaires dont la liste a été précisée dans l'avenant N° 1 de l'étude n'ont pas été échantillonnées à la campagne A mais l'ont été ensuite pour les quatre campagnes suivantes. A l'inverse, la station la plus aval de la Rivière Ste-Suzanne à st André, sous influence haline naturelle marquée, n'a été échantillonnée qu'à la campagne A et ne l'a plus été ensuite.

- Les 17 stations d'étude surlignées en jaune, ne faisant pas partie des réseaux institutionnels, n'ont malheureusement pas pu bénéficier d'analyses de chimie des eaux en laboratoire.

La carte de la Figure 5 ci-dessous illustre la localisation des 56 sites d'étude et donne quelques informations synthétiques sur leur statut. Les sites considérés par l'OLE comme de référence dans le cadre des réseaux sont cerclés de vert (statut pas toujours confirmé par les descripteurs abiotiques ou les assemblages diatomiques, notamment pour SGA (nitrates et flores) et LGC (altérations physiques et anthropiques diverses)). Les sites présumés sensiblement pollués sont cerclés en rouge, les sites plus ou moins sous influence haline littorale naturelle sont marqués d'un rectangle bleu. Les sites cerclés en turquoise ont peu ou pas d'impact apparent.

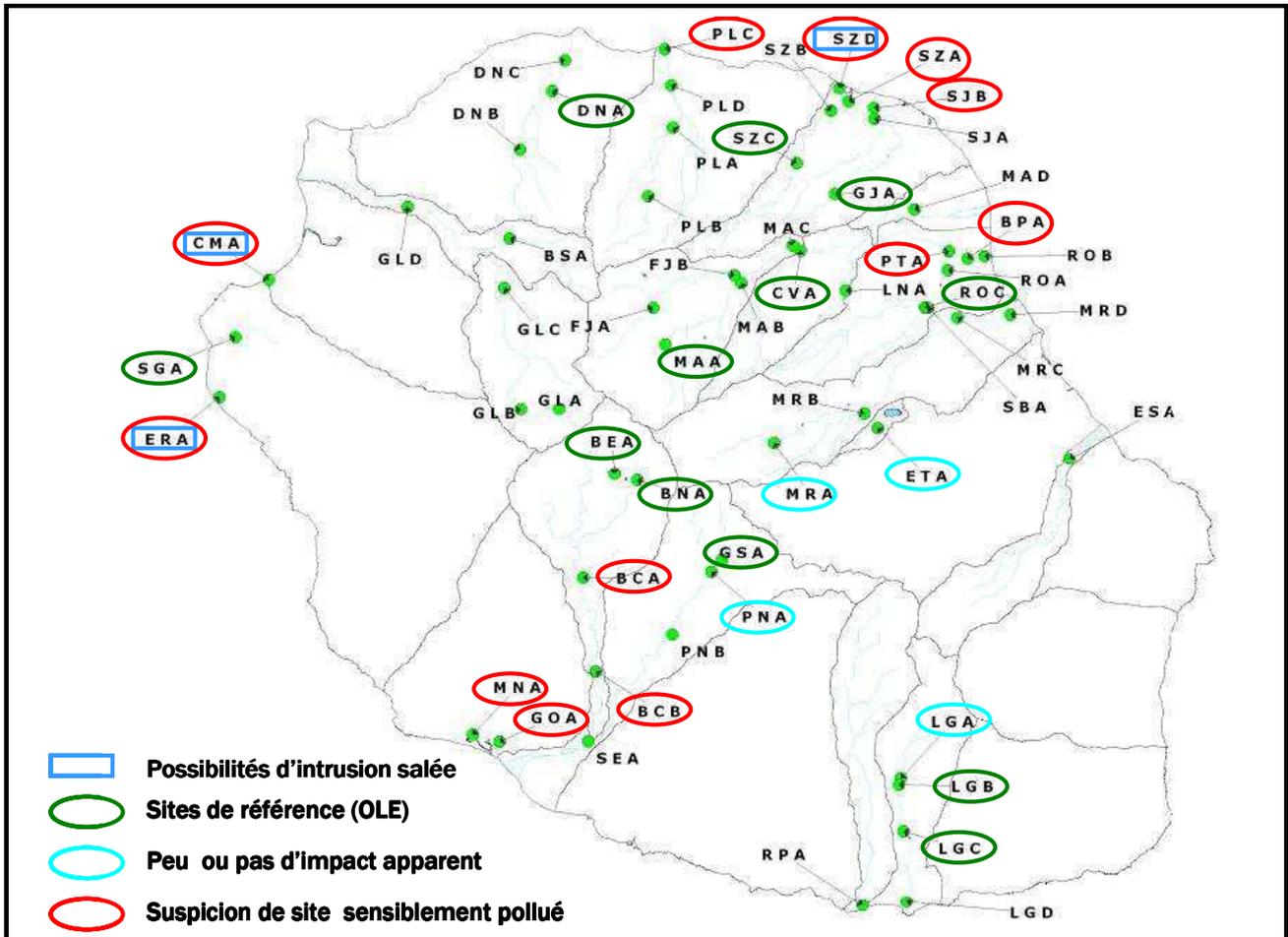


Figure 5 : Carte du réseau de stations sur les cours d'eau de la Réunion

1-3) Stratégie temporelle de mesure et d'échantillonnage

Comme indiqué dans les colonnes de droite du Tableau 1 (page 15), les sites ont fait l'objet de 5 campagnes d'échantillonnage échelonnées environ sur 3 semaines, à savoir :

- 3 campagnes à l'approche de la saison dite d'hivernage (saison chaude, qui correspond à la saison des pluies), échantillonnées entre le mois d'Octobre et le tout début Décembre, selon les années et les sites, lors des années 2008, 2009 et 2010,
- 2 campagnes à l'abord de la saison sèche et fraîche (échantillonnages entre Avril et fin Mai 2009 et 2010).

Sur les sites de réseaux, il a été procédé à un couplage aussi étroit que possible entre la physico-chimie de terrain (faite le jour du prélèvement biologique), un échantillonnage d'eau (pour analyses en laboratoire de chimie) et l'échantillonnage biologique (biofilm diatomique), afin de pouvoir mettre en relation l'échantillonnage biologique avec les descripteurs abiotiques physico-chimiques et chimiques.

Néanmoins, les particularités des marchés d'analyse chimique (nombre plafonné d'analyses possibles une semaine donnée) ont pu conduire à des intervalles de temps variables entre échantillonnage chimique et échantillonnage biologique. D'autre part, sur les 56 stations sur lesquelles s'est basée l'étude, 17 stations ne faisaient pas partie d'un réseau de surveillance et n'ont donc pas bénéficié d'analyses chimiques en laboratoire, d'où un recours à de l'expertise hydrochimique pour combler au mieux les lacunes de référentiels.

2) LES DONNEES

2-1) Les données abiotiques :

L'étude et les analyses de données qu'elle inclut ont mobilisé plusieurs grands types de données, correspondant à des conditions d'acquisition différentes.

2-1-1) Les données attachées à la station :

Il s'agit :

-a) de descripteurs de codification et d'identification des sites, soit propres à l'étude (cf paragraphe 1-2 précédent), soit pré-existants dans le cadre d'une nomenclature propre à l'Office de l'eau et aux réseaux de surveillance.

Ainsi, il existe le codage de station propre à l'étude (3 lettres), un descriptif succinct du cours d'eau et du lieu du site, une appartenance à une commune, le code OLE correspondant. Par exemple :

Site	Station	Commune	Code OLE
BCA	Grand Bras de Cilaos - Le Pavillon	Cilaos	34077
BPA	Le Bras Panon aux Avocats	Bras Panon	23008

b) de descripteurs d'origine géographique, topographique ou émanant d'une classification a priori (HER), affectés une fois pour toute au site quelle que soit la date. Par exemple :

Site	Altitude (en m)	Longitude WGS 84	Longitude WGS 84	HER de Wasson
BCA	370	339048	7656089	2 (Cirques Sud-Ouest sous le vent)
BPA	8	363475	7676522	5 (Versants au vent)

2-1-2) Les données descriptives générales caractéristiques du couple station-date :

- codage site-campagne : 3 lettres de site suivies d'une lettre de campagne (par exemple, BCAA pour site BCA, Campagne A)

- date de réalisation des observations et échantillonnages de terrain (site-campagne) : la date donnée est celle qui se réfère à la collecte de descripteurs d'observation générale de l'hydrosystème (faciès, classe de caractérisation de l'hydrologie du moment, ombrage du faciès, distance moyenne des échantillonnages aux berges, profondeur moyenne des échantillonnages biologiques...) au site et à la date, à la réalisation des mesures physico-chimiques avec appareils de terrain et à la réalisation des échantillonnages biologiques de biofilms. Par contre, elle n'est pas représentative de la date des échantillonnages d'eau pour analyse de la qualité chimique des eaux en laboratoire de chimie. En effet, compte-tenu de contraintes de nombre maximum d'analyses de chimie réalisables par semaine dans le cadre de marchés d'analyse, les échantillonnages ont été parfois couplés mais le plus souvent décalés de façon variable (d'une semaine à un mois).

2-1-3) Les données de physico-chimie de terrain

Elles ont le plus souvent possible été réalisées de façon couplée avec l'échantillonnage des biofilms de terrain, pour bien représenter les conditions *in situ* au moment du prélèvement. Il existe certaines exceptions à ce principe. Pour la réalisation-terrain de la campagne B, il n'y avait pas de jeu d'appareils de physico-chimie disponible. Assez rarement, il a pu arriver qu'une sonde tombe en panne et que, malgré une procédure d'étalonnage et la disponibilité de tampons et d'étalons, elle ne puisse être remise dans un état de fonctionner procurant des mesures fiables. Dans ces différents cas, il a été procédé au mieux pour compléter les données à dire d'expert.

Les données collectées étaient les suivantes :

Site	T eau (en °C)	pH	Cond. El. (*S/cm)	Teneur en O ₂ (mg/l)	Saturation O ₂ (en %)
BCAA	22,8 °	9,46	325,5	9,35	109,9
BPAB	25,0	7,33	81,3	7,21	98,8

En pratique, la teneur de l'eau en O₂ à saturation étant régie de façon importante par la pression atmosphérique et la température de l'eau, ces 2 variables étant elles-mêmes fortement influencées par le conséquent gradient d'altitude présent à la Réunion (concentration en O₂ dissous beaucoup plus importante à saturation pour des eaux froides ou fraîches que tempérées), la variable la plus significative d'une aptitude à la vie biologique et d'une demande en oxygène en train de s'exercer est le % de saturation. Les teneurs en O₂, peu comparables d'un site à l'autre et d'une saison à l'autre, n'ont donc pas été utilisées dans les analyses de données, seulement les données de saturation.

2-1-4) Les données de chimie de laboratoire

Comme déjà indiqué, et pour des raisons indépendantes de la sphère d'action d'Asconit et de l'Irstea/Cemagref, les échantillonnages d'eau à analyser en laboratoire n'ont que rarement pu être couplés précisément avec la date d'échantillonnage biologique.

Dans le cadre des analyses chimiques faites dans le cadre des réseaux sur commande de l'Office de l'Eau, un très grand nombre de descripteurs chimiques a pu être analysé, dont une très longue liste de micropolluants bien souvent en-dessous du seuil de quantification. Il est notoire qu'en matière de micropolluants, l'échantillonnage ponctuel n'est pas apte à rendre compte de manière représentative du niveau de pollution d'un micropolluant (teneur éminemment variable selon l'hydrologie pour les métaux, selon les pratiques humaines de protection des cultures, conditionnées par la nature de la culture et la saison, en coïncidence avec l'hydrologie, pour les pesticides), ni du niveau d'exposition intégrée de matrices biologiques sur une durée donnée. D'autre part, à l'instar de ce qui a été fait en métropole, le premier indice diatomique qui pourra être produit pour la Réunion vise plutôt à un **bon diagnostic de l'altération trophique et organique, voire chimique au sens altération chimique générale par des acides, des bases, des sels**. Par contre, il est illusoire, à ce stade de connaissance naissante des espèces locales et de leur écologie, de penser diagnostiquer finement une altération toxique liée à des micropolluants comme les pesticides, surtout sur la base d'une matrice de données presque exclusivement remplie de cases NQ (non quantifié).

Il a donc été pris le parti, après une analyse générale de la structuration du jeu de données abiotiques par les descripteurs analysés au laboratoire, de procéder à une première sélection des descripteurs influents dans la structuration des données et pouvant avoir une intelligibilité en matière de représentation de la géochimie-hydrochimie naturelle d'une part, de différents types d'altérations anthropiques d'autre part. Il fallait aussi que ce descripteur n'ait pas été analysé trop épisodiquement, auquel cas le référentiel présenterait de nombreuses cases non renseignées incompatibles avec l'analyse des données, mais qu'il ait été pris en compte régulièrement.

Les descripteurs retenus pour entrer dans la matrice de données abiotiques du projet à ce stade préalable ont été les suivants :

a) Descripteurs représentatifs de la géochimie-hydrochimie naturelle :

Outre le pH et la conductivité électrique, paramètres physico-chimiques mesurés sur le terrain et eux aussi très inféodés à la géologie / géochimie / hydrochimie naturelle, les descripteurs analysés au laboratoire et retenus dans la matrice de données sont les suivants :

- **Calcium**, exprimé en mg de Ca^{++}/L (le Mg^{++} , complètement auto-corrélé et redondant avec le calcium, n'a pas été pris en compte)
- **Carbonates**, exprimés en mg $(\text{CO}_3)^{--}/\text{L}$. Cette variable représentera surtout les sites les plus carbonatés arrivés à saturation en hydrogénocarbonates (H_2CO_3)- et $(\text{HCO}_3)^-$
- **Carbonates totaux**, exprimés en mg $[(\text{HCO}_3)^-/\text{L} + (\text{CO}_3)^{--}/\text{L}]$. En balance avec les cations (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+), ces 2 types de formes carbonatées, analysées de façon séparée, sont représentatives d'un état différent de carbonatation du milieu aquatique. Les hydrogénocarbonates peuvent déjà être présents dans des eaux relativement peu minéralisées. Par contre, les carbonates arrivent dans la partie la plus forte du gradient de concentration et leur présence est le signe d'une saturation de l'eau et de conditions basiques (carbonates en excès). Pour représenter le gradient de carbonatation complet depuis les eaux peu minéralisées jusqu'aux eaux saturées en calcium, ces 2 formes ont donc été mobilisées dans les analyses sous la forme d'une variable synthétique regroupée nommée "**carbonates totaux**" (agrégation des 2 descripteurs pour un même échantillon d'eau).
- **Chlorures**, exprimés en mg Cl^-/L . Ils constituent le meilleur descripteur des influences halines naturelles trouvées à proximité du littoral. Dans cette mise au point d'indice, on cherchera à s'affranchir de la prise en compte de la sélection qu'ils exercent sur les flores naturelles dans le diagnostic d'altération (outre l'influence littorale qui n'est pas synonyme d'une altération anthropique, il peut en arriver de façon naturelle dans des secteurs amont de cours d'eau sous influence volcanique et thermale). Ils peuvent aussi être localement présents dans des rejets d'origine anthropique (rejets d'IAA, d'industries chimiques...)
- **Sodium**, exprimé en mg Na^+/L . C'est essentiellement un descripteur d'influence haline littorale. Cependant, des eaux thermales issues du volcanisme peuvent aussi en contenir, sous forme de chlorures et aussi sous forme de carbonates, et sélectionner des flores naturelles un peu spécifiques. Enfin, il peut en être contenu dans des rejets anthropiques.
- **Sulfates**, exprimés en mg $(\text{SO}_4)^{--}/\text{L}$. Ils peuvent être présents de façon naturelle dans les eaux de la Réunion (influence géologique du volcanisme) et exercer une sélection de flore d'origine naturelle. On peut aussi en trouver des concentrations importantes dans des rejets anthropiques, notamment d'origine chimique et domestique, et ils signent dans ce cas une altération.
- **Titre alcalimétrique complet** (TAC). C'est un bon indicateur de conditions chimiques naturelles représentant bien le gradient entre des eaux peu minéralisées et acides (type Bébour) et des eaux géochimiquement très minéralisées et plutôt basiques. Mais il peut aussi, dans les très fortes valeurs, représenter une forte altération anthropique alcalinisante (rejets basiques de certaines STEP, d'industries chimiques et agro-alimentaires...).

b) Descripteurs typiquement représentatifs du degré d'altération anthropique

Les descripteurs suivants renseignent la situation du site sur un gradient s'échelonnant des conditions naturelles de référence aux conditions d'altérations anthropiques les plus extrêmes :

- **Teneur en MES** (exprimée en mg/L). Bien sûr dépendante en partie des conditions géologiques / pédologiques et des pentes, la teneur en MES, surtout hors épisodes de crues pendant lesquels l'échantillonnage diatomique est déconseillé, peut être représentative des usages agricoles et rendre compte, sur des valeurs moyennes au site, d'une altération anthropique liée à l'érosion.
- **P. Total** (exprimé en mg de P/L). Du fait de la forte teneur des argiles du sol en P, il est de façon dominante influencé par l'érosion, dont une partie est sous influence humaine. Incluant aussi les lixiviations de phosphore épandu sur les zones agricoles et les orthophosphates, une partie de son signal est aussi due aux pratiques agricoles de fertilisation, aux effluents (d'élevage, de STEP) et aux formulations lessivielles.
- **Orthophosphates** (exprimés en mg de $(PO_4)^{3-}$ /L. Il s'agit d'un descripteur tout-à-fait essentiel d'anthropisation. C'est la fraction la plus rapidement biodisponible du phosphore présent dans les hydrosystèmes. Originaire des engrais agricoles, des formulations lessivielles, des effluents d'élevage et d'IAA, des effluents domestiques et de STEPs), c'est un responsable dominant des manifestations d'eutrophisation qui provoque d'importantes croissances micro-algales et, aux moments où la respiration ou les phénomènes de fermentation de la biomasse produite dominent sur l'activité photosynthétique, des phénomènes plus ou moins longs d'anoxie. Les diatomées sont des indicateurs performants de cette altération.
- **DCO** (exprimée en mg d'O₂/L). Elle est représentative d'une charge organique dont une partie modérée peut être due à des conditions naturelles (eaux de tourbières et eaux de lixiviation de zones fortement organiques). Dans les fortes valeurs, elle signe un enrichissement organique anthropique qui peut aller de matières très oxydables (donc fortement dommageables au fonctionnement écologique d'un hydrosystème) à plus réfractaires (matières organiques non minéralisées au cours d'un traitement de STEP ou de rejet d'IAA). L'interprétation de sa nuisance passe par l'examen concomitant de la DBO₅.
- **DBO₅** (exprimée en mg d'O₂/L). C'est l'un des descripteurs primordiaux pour marquer les altérations anthropiques, et notamment les rejets de matière organique fortement biodisponible et minéralisable. La déplétion de la saturation en O₂ provoquée par de fortes teneurs en DBO₅ est fortement dommageable à la plupart des maillons biologiques des hydrosystèmes.
- **COD** (exprimé en mg de C/L). Cette variable, représentative de la teneur en carbone dissous par litre d'eau, donne une information composite. Une partie du COD peut être dû à une origine naturelle (par exemple eaux de tourbières, eaux de drainage de zones comportant des accumulations organiques naturelles). Du COD peut aussi résulter du rejet dans le milieu de matières organiques fermentescibles (rejets de STEP, rejets d'élevage, rejets domestiques diffus, rejets d'IAA) et est dans ce cas synonyme d'altération anthropique pénalisante pour le milieu aquatique. Lorsque les teneurs sont faibles à moyennes, l'origine peut être naturelle ou anthropique. S'il y a forte teneur, c'est très certainement dû à une altération anthropique. Pour une interprétation plus écologique des valeurs rencontrées, il faut dans le même temps se référer à la DBO₅ et au NKJ, qui donneront une bonne idée de la nature fermentescible ou réfractaire du carbone analysé et de l'aspect plus ou moins pénalisant pour les milieux aquatiques. Pouvant participer à la fois à une typologie naturelle de sites bien particuliers (tourbières...) et à une typologie d'altérations anthropiques, avec une redondance seulement partielle avec d'autres descripteurs, le COD a été pris en compte dans la base de données.

- **Ammonium** (exprimé en mg/l de (NH₄)⁺/L. Pouvant être produit en teneurs relativement élevées lors de phénomènes d'ammonification de la matière organique (aval d'élevages, aval de STEPS) et pouvant aussi arriver aux hydrosystèmes suite à des lixiviations d'engrais azotés ammoniaqués, il s'agit d'une espèce toxique pour les poissons (les salmonidés y sont particulièrement sensibles) et certaines espèces de macro-invertérés benthiques et de diatomées (notamment les plus oligotrophes). Les teneurs en ammonium sont donc représentatives d'un gradient anthropique et doivent être prises en compte pour représenter le gradient d'altérations anthropiques.
- **Nitrite** (exprimés en mg (NO₂)⁻/L. Forme assez transitoire et fugace de l'azote minéral dans les écosystèmes aquatiques, elle rend compte, comme les ions ammonium, d'une activité de minéralisation de matières organiques fermentescibles en cours et de conditions un peu réduites du milieu aquatique. Elle peut être très toxique sur tous les compartiments biologiques mais n'atteint que rarement des valeurs élevées, constituant une forme chimique très transitoire entre l'ammonium et les nitrates. Du fait de son impact biologique, ce descripteur a été pris en compte dans la base de données et dans les analyses.
- **Nitrate** (exprimé en mg (NO₃)⁻/L. Les nitrates constituent un indicateur indéniable d'altération anthropique. Forme la plus oxydée de l'azote minéral, ils marquent la forme terminale de l'azote issu de la minéralisation des matières organiques fermentescibles (type effluents organiques, rejets de STEP...). C'est pourquoi on en trouve des quantités non négligeables à l'aval des bassins versants. Des apports directs par l'activité agricole (apports, pour la fertilisation des parcelles, de nitrates, d'ammonitrate, d'apports organiques type fumier et lisier) contribuent aussi de façon importante aux quantités trouvées dans les eaux. Lorsqu'ils sont absolument seuls, les nitrates exercent un impact hydrobiologique assez modeste sur la plupart des maillons, qui se renforce cependant dès que d'autres stressseurs (ammonium, ou orthophosphates, ou demande en oxygène) viennent agir de façon cumulative. De plus, du fait du cadre normatif en place pour la potabilisation de l'eau, les nitrates constituent un critère de déclassement pour cet usage. Ce descripteur a donc été intégré à la base de données.
- **L'azote Kjeldahl** (exprimé en mg N/L) : Variable intégrative associant l'ammonium dissous dans l'eau et la minéralisation en ammonium de la matière organique contenue dans l'eau, ce descripteur très sensiblement induit par l'altération anthropique est représentatif de la disponibilité de matières actives azotées fermentescibles. Les valeurs moyennes à élevées en NKJ sont synonymes d'altération anthropique et la minéralisation de cette matière organique excédentaire va provoquer un risque de déplétion en oxygène dans les hydrosystèmes. Entre autres maillons biologiques, les diatomées répondent nettement à cette altération. Ce descripteur a été pris en compte dans la matrice de données.

2-1-5) La base de données abiotiques : problèmes et solutions apportées

La base de données abiotiques liée aux 56 sites et 269 (sites X dates) de l'étude comportait un certain nombre de manques, certains prévisibles dès le départ (par exemple sites d'étude ne faisant pas partie des réseaux et absence d'accès prévu à un volant d'analyses chimiques pour ces sites), d'autres ayant été la conséquence de problèmes opérationnels rencontrés au cours des campagnes (par exemple non-disponibilité ou panne subite d'un appareil de mesure de terrain).

S'agissant de (sites X dates) ou des échantillonnages biologiques ont été faits et déterminés, ce qui a représenté un gros travail d'investigation bibliographique, d'observation et de comptage taxinomique, il aurait été vraiment dommage de perdre le bénéfice de l'information écologique précieuse acquise sur ces relevés, au demeurant pas encore très nombreux (269), du fait de données abiotiques manquantes. En effet, dans l'état actuel des analyses multivariées employées, si une donnée manque dans une ligne de descripteurs, c'est tout le relevé qui est perdu pour l'analyse.

Même s'il existe une marge d'imprécision / d'incertitude sur les données reconstituées après intervention d'expertise, il faut intégrer que même les données résultant d'analyses chimiques au laboratoire (eaux prélevées à une date d'échantillonnage variable par rapport au prélèvement biologique) ou mesurées le jour-même du prélèvement biologique (données physico-chimiques) ne représentent pas forcément la vérité, à savoir qu'elles représentent un échantillonnage ou des conditions très ponctuelles qui peuvent diverger assez sensiblement de l'ambiance abiotique intégrée ayant présidé à l'établissement des assemblages diatomiques prélevés. En effet, des biofilms collectés sur support naturels peuvent représenter, selon conditions hydrologiques antérieures, entre 1,5 et 3 mois de qualité d'eau intégrée. Par contre, les données d'analyse ou de mesure ne représentent que le court créneau temporel correspondant au mieux à la durée de présence des opérateurs sur le site (entre ½ heure et 1 heure).

Plutôt que de perdre environ 140 relevés biologiques sur 269 (cumul des combinaisons (site X date) avec données manquantes), il était donc nettement préférable de combler les cases vides par des valeurs déterminées le plus intelligemment possible et, en tout état de cause, proches de la réalité à ce site et à cette saison, sur la base d'une expertise géochimique-hydrochimique et de valeurs observées sur sites proches et/ou comparables (géochimie et degré de naturalité proche).

La traçabilité de cette reconstitution de données manquantes dans la matrice de données utilisée pour l'étude est assurée par un code-couleur assorti de la description de la façon dont il a été procédé dans chaque cas-type.

Un sommaire des données disponibles, des problèmes attachés aux données et de la façon dont il a été procédé pour asseoir le contenu de la base de données de l'étude est donné comme suit :

2-1-5-1) Problèmes relatifs aux données physico-chimiques de terrain :

Sur les 56 stations et les 269 (sites X dates) ayant fait l'objet de relevés, mesures et échantillonnages diatomiques, les données physico-chimiques mesurées sur le terrain (T° de l'eau, pH, Cond. El., teneur et % de saturation en O₂) ont été acquises le plus systématiquement possible par Asconit-Cemagref à la date du prélèvement biologique.

La seule exception notable à ce principe a concerné la deuxième campagne (campagne B), où les 55 sites concernés **n'ont pas pu faire l'objet de mesures physico-chimiques de terrain** faute de disponibilité d'un jeu d'appareil en bon état de marche. Dans ce cas, la physico-chimie a été extrapolée en se basant sur les valeurs observées une année juste précédente ou juste suivante, au même site et dans les conditions les plus proches de saison et de température (base de données OLE, base de données Asconit-Cemagref propre à l'étude).

Lorsqu'il s'agissait de **stations régulières de réseaux**, outre les mesures physico-chimiques de terrain réalisées le jour du prélèvement biologique, **des données physico-chimiques mesurées *in situ*** étaient aussi disponibles aux **dates précédentes d'échantillonnage d'eau pour analyse chimique** (les agents préleveurs réalisant aussi les mesures physico-chimiques de terrain au moment de prélever les échantillons d'eau sur site). Sauf exception (un faible nombre de valeurs étaient douteuses), il a donc été possible de s'appuyer aussi sur ces données relatives à la période de croissance du biofilm prélevé pour asseoir la physico-chimie moyenne au site pour un échantillonnage biologique donné.

Sur les **sites non suivis dans les réseaux OLE**, les seules données ayant permis de caractériser la physico-chimie ont été celles constatées le jour du prélèvement biologique. Elles ont donc pu servir seules (sur la base d'une valeur unique par paramètre) pour asseoir la physico-chimie à ces sites, qui étaient des sites soit de référence, soit d'un très faible à faible niveau d'anthropisation (garantie de conditions physico-chimiques plus stables hors épisode de grosse crue, ce qui n'a jamais été le cas en fonction du respect des conditions adéquates de la norme d'échantillonnage).

Lorsque plusieurs dates de mesures pouvaient être rapprochées de l'échantillonnage diatomique, en fonction des dates de prélèvements d'eau et de leur adéquation avec la fenêtre temporelle maximale de 3 mois précédant la date de prélèvement biologique (entre 2 et 4 valeurs disponibles par paramètre), il a été décidé de **faire peser pour ½ le poids des mesures faites à la date du prélèvement biologique** (information probablement la plus marquante pour le biote) et pour ½ le poids de la moyenne des autres données disponibles.

2-1-5-2) Problèmes relatifs aux données représentatives du contexte naturel *(thermiques, physico-chimiques, hydrochimiques)*

Les descripteurs pouvant être attachés à ce groupe, plus fortement influencés par les gradients naturels que par l'altération anthropique, sont les suivants :

- Température de l'eau, pH, conductivité électrique, carbonates, carbonates totaux, Titre Alcalimétrique Complet, calcium, chlorures, sodium, sulfates.

Sauf spécificité locale liée à un aménagement anthropique, la température de l'eau à la Réunion est surtout liée assez directement au gradient altitudinal et au contexte général de soutien naturel des débits sur l'île (partie Est au vent plus arrosée et plus fraîche que partie Ouest sous le vent). Le pH est assez fortement sous incidence géochimique naturelle (gradient allant d'eaux peu minéralisées et acides, type Bébour, vers les eaux fortement carbonatées).

Si l'altération anthropique peut jouer sur le pH, elle peut le faire dans les 2 sens (acidification ou altération basique), sans que le sens de variation ne soit en liaison avec une intensité de dégradation. L'information apportée par le pH n'est donc pas intelligible pour repérer le gradient d'anthropisation et son intensité (sens de variation non univoque). La photosynthèse (phénomène naturel) peut aussi influencer sur le pH et le faire monter très sensiblement lors des périodes de plein ensoleillement par rapport aux conditions nocturnes. Concernant la conductivité électrique, l'effet de la carbonatation naturelle (depuis les plus faibles conductivités jusqu'à 600 ou 700 µS), voire de l'incidence salée littorale (très fortes conductivités pouvant atteindre plusieurs milliers de µS/cm selon degré d'influence haline) fait varier ce paramètre dans des proportions beaucoup plus importantes que les altérations anthropiques d'ampleur classique. Le signal d'altération que pourrait porter cette variable étant trop bruité par l'amplitude possible des gradients d'origine naturelle, cette variable est prise en considération pour représenter l'ambiance hydrochimique liée à la géologie et aux influences halines, mais pas pour représenter l'anthropisation.

D'une façon générale, donc, même si des altérations anthropiques peuvent en changer les valeurs, la liste de descripteurs précitée renseigne plutôt sur les conditions naturelles et sur le fonds géochimique du substrat. Ces facteurs de forçage plutôt naturels jouent une influence probablement assez structurante sur les grands assemblages naturels de diatomées en place. Ils ont donc été pris en compte en appui à la biotypologie des flores et pour étudier les gradients géochimiques et hydrochimiques présents dans le jeu de données. Par contre, leur gradient ne correspondant pas avec un gradient intelligible et orienté d'altération anthropique (gradient croissant ou décroissant systématiquement en phase avec l'augmentation d'altérations anthropiques), les messages par rapport à l'anthropisation sont trop erratiques. Aucun d'entre eux n'a donc servi pour représenter et asseoir le gradient d'anthropisation.

Concernant ces **descripteurs plutôt inféodés aux conditions naturelles**, il a été procédé sans problème majeur à la complétion des données manquantes, selon les principes suivants :

- Valeurs de mesures physico-chimiques de terrain manquantes (Campagne B complète, rares cas de panne impromptue d'un appareil lors d'autres campagnes) extrapolées selon avis expert, en se référant en priorité au site amont et/ou aval à la même date, après vérification que les données inter-sites étaient comparables aux autres campagnes. A défaut, la donnée était reconstituée via un site amont et/ou aval le plus approprié à dates comparables, autres années, même saison, même contexte hydrologique stable. Les données ainsi reconstituées ont été affectées d'une police de couleur bleue.

- **Données géochimiques-hydrochimiques** résultant d'analyses de laboratoire : Le réseau de stations de l'étude représentait 56 stations dont 17 figurées en jaune (voir Tableau 1 page 13) , ne faisant pas partie d'un réseau de surveillance régulier OLE, n'ont pas pu bénéficier d'analyses de la qualité des eaux en laboratoire de chimie. Il a donc fallu renseigner complètement les descripteurs chimiques des 82 (sites X dates) correspondants. Le plus souvent, ces sites étaient choisis en conditions de référence ou de très bonne qualité, avec une faible pression anthropique conduisant à des conditions hydrochimiques plutôt stables, ce qui a facilité la reconstitution de données. Pour assurer la traçabilité des interventions sur données, les valeurs reconstituées de ce type (analyses chimiques inexistantes au site) ont été affectées d'une couleur bistre dans le fichier de données abiotiques utilisé pour l'étude. Les valeurs manquantes ont été calculées selon avis expert sur stations les plus proches et/ou comparables. Pour ajuster les données de géochimie, sur un continuum amont-aval, un calcul d'analyte tenant compte du rapport de conductivité électrique entre site à compléter et site-source de valeurs a pu intervenir pour mieux approcher les données manquantes. Les formules ou principes de calcul ont été conservées dans les cellules du fichier de données constitué pour l'étude.

2-1-5-3) Problèmes liés aux descripteurs d'altérations anthropiques

Les descripteurs rattachés sans ambiguïté à ce groupe, plus fortement influencés par l'altération anthropique que par les gradients naturels et qui ont servi, au moins au stade de l'analyse exploratoire initiale, pour examiner le poids relatifs de ces descripteurs et l'ampleur des gradients sous influence anthropique, sont les suivants :

- **Teneur en MES, P. total, Orthophosphates, DCO, DBO5, COD, NH4+, NO2-, NO3-, NKj.**

Tous ces descripteurs sont analysés au laboratoire de chimie. Aussi, pour les 17 sites situés hors réseaux de surveillance, représentant 82 (sites x dates), il a fallu reconstituer ces descripteurs d'anthropisation.

Les valeurs ont été complétées selon le site le plus comparable du même cours d'eau, ou à partir d'un site comparable (géochimie, pression anthropique) sur rivière voisine comparable. Les valeurs ainsi reconstituées à dire d'expert ont été affectées d'une police bistre dans la base de données abiotiques de l'étude afin d'assurer la traçabilité de la donnée.

2-1-5-4) Traitement du cas des valeurs non numériques :

Jusqu'au stade de la complétion des données manquantes à dire d'expert, les cellules sans donnée ou sans objet se sont vues affecter un contenu NA (non applicable) garantissant une non-prise en compte infondée de valeur numérique zéro.

Contrairement aux mesures physico-chimiques réalisées, qui donnent systématiquement un résultat numérique de mesure (ex : pH, conductivité électrique, saturation en O2 ...), pour la plupart des paramètres chimiques, il existe des valeurs numériquement indéfinies en liaison avec la sensibilité des méthodes analytiques, qui peut varier entre les laboratoires et même au sein d'un même laboratoire en fonction des dates d'application d'un marché donné et des méthodes analytiques détenues par ce laboratoire durant cette même période. Le contexte de la Réunion, comme celui d'autres DOM, est très dilutif en général (cours d'eau adossés à de hauts reliefs) et plus encore à la saison des pluies. D'autre part et malgré les précautions de chaîne de froid, le climat chaud et la difficulté d'accès de certains sites éloignés contribuent à une évolution des échantillons en tournée de prélèvement et en transport, ce qui peut entraîner une modification à la baisse d'analytes évolutifs et transformables comme DBO5, NH4+, NO2-...). Il est donc apparu utile d'essayer de gérer au mieux les seuils de détection et de quantification des laboratoires de façon à représenter le plus fidèlement possible le début des gradients chimiques et notamment du gradient d'anthropisation. En effet, dans la pratique, les valeurs réellement zéro pour ces descripteurs n'existent pas y compris en sites de référence, et un analyte détecté mais pas quantifié dans la limite de la méthode est déjà le signe d'un début de gradient par rapport à une situation avec une valeur inférieure au seuil de détection (<SD).

Le Tableau 2 (page suivante) donne la façon dont ont été gérés les valeurs inférieures au seuil de détection (<SD) et les détections de traces ou de valeurs inférieures au seuil de quantification (<SQ) selon les seuils adoptés au laboratoire et les paramètres. En général, il a été procédé à la pratique suivante :

- (<SD) = $\frac{1}{2}$ du SD donné pour cette analyse par ce labo
- (<SQ), ou "traces" = $\frac{1}{2}$ du SQ donné pour cette analyse par ce labo.

Pour la DCO, en raison du niveau des référentiels de valeurs en sites de référence et du niveau relativement élevé du SQ (30mg/l), un seuil d'1/3 pour la conversion a été adopté

Plusieurs seuils ayant pu être en vigueur, chacun clairement répertorié pour une analyse donnée, les valeurs numériques données ont été calculées par le calcul précédemment décrit et en fonction du seuil adéquat, sauf quand il y avait des variations seulement marginales dans les seuils analytiques (valeur unique de conversion choisie dans ce cas, proche du rapport $\frac{1}{2}$). Plusieurs relevés de chimie ont servi à asseoir la donnée de chimie moyenne prise en compte dans la matrice de données abiotiques ensuite utilisée pour l'étude. (presque systématiquement 2 données, et assez souvent 3 données).

En bas de Tableau 2 est spécifié le nombre de données inférieures à un seuil donné qui ont été transformées en données numériques (2.730), concernant avec plus ou moins d'intensité 13 descripteurs chimiques parmi les 22 descripteurs abiotiques retenus. Les 9 autres descripteurs ont pu donner des valeurs numériques, ou des valeurs supérieures au seuil de quantification dans tous les cas.

<u>Variables, Unités :</u>	Cumul de valeurs-seuils changées en valeurs numériques	Coeff transcription SD - valeurs numériques	Valeur SD1	valeur numérique donnée	Valeur SD2	valeur numérique donnée	Coeff transcription SQ - valeurs numériques	Valeur SQ1	valeur numérique donnée	Valeur SQ2	valeur numérique donnée	Valeur SQ3	valeur numérique donnée
Ammonium (mg(NH4)/L)	58 (5 SD, 53 SQ)	2 SD différents (Coeff 1/2)	(<0,02)	0,01	(<0,05)	0,025	2 SQ différents (Coeff 1/2)	(<0,05)	0,025	(<0,1)	0,05	NA	NA
Azote Kjeldahl (mg(N)/L)	1 (SD)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	(<0,5)	0,25	NA	NA	Aucun <(SQ)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Bicarbonates (mg(HCO3)/L)	0	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Calcium (mg(Ca)/L)	9 (SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	traces	0,25	NA	NA	Tout a été quantifié	(<0,5)	NA	NA	NA	NA	NA
Carbonates (mg(CO3)/L)	0	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Carbone Organique Dissous (mg(C)/L)	14 (SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	traces	0,15	NA	NA	Tout a été quantifié	(<0,3)	NA	NA	NA	NA	NA
Chlorures (mg(Cl)/L)	59 (1 SD, 58 SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	(<0,67)	0,35	NA	NA	1 SQ (Coeff 1/2)	(<2,5)	1,25	NA	NA	NA	NA
Conductivité (µS/cm)	0	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	NA	NA
D.C.O. (mg(O2)/L)	466 (1 SD, 465 SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/3)	(<5)	2	NA	NA	1 seuil SQ (Coeff 1/3)	(<30)	10	NA	NA	NA	NA
DBO5 à 20°C (mg(O2)/L)	466 (1 SD, 465 SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	(<3)	1,5	NA	NA	1 seuil SQ (Coeff 1/2)	-1	0,5	NA	NA	NA	NA
Matières en suspension (mg/L)	306 (1 SD, 305 SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	(<1)	0,5	NA	NA	1 seuil SQ (Coeff 1/2)	(<2)	1	NA	NA	NA	NA
Nitrates (mg(NO3)/L)	368 (202 SD, 166 SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	(<0,33)	0,15	NA	NA	2 SQ différents (Coeff 1/2)	(<1)	0,5	traces	0,5	NA	NA
Nitrites (mg(NO2)/L)	463 (412 SD, 51 SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	(<0,01)	0,05	NA	NA	3 SQ différents (Coeff 1/2)	(<0,025)	0,012	traces	0,012	0,05	0,02
Orthophosphates (mg(PO4)/L)	311 (177 SD, 134 SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	(<0,03)	0,015	NA	NA	3 SQ différents	(<0,15)	0,05	(<0,10)	0,05	traces	0,05
Oxygène dissous (mg(O2)/L)	0	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	NA	NA
pH (unité pH)	0	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Phosphore total (mg(P)/L)	1 (SD)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	(<0,05)	0,025	NA	NA	Tout a été quantifié sauf 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Sodium (mg(Na)/L)	3 (SQ)	SD toujours dépassé	NA	NA	NA	NA	2 seuils SQ (Coeff 1/2)	(<1)	0,5	traces	0,5	NA	NA
Sulfates (mg(SO4)/L)	205 (3 SD, 202 SQ)	1 seuil SD (Coeff 1/2)	(<0,67)	0,3	NA	NA	3 seuils SQ (Coeff 1/2)	(<2,5)	1	(<2,0)	1	traces	1
Taux de saturation en O2 (%)	0	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Température de l'Eau (°C)	0	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Titre alcalim.complet (f)	0	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	Tout a été quantifié	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Total conversions (valeurs < seuils en valeurs numériques)	2730												

Tableau 2 : Liste et unités des variables physico-chimiques et chimiques prises en compte dans l'étude. Traitement numérique des seuils de détection (SD) et de quantification (SQ) dans la base de données

2-2) Les données biologiques (assemblages diatomiques)

Pour l'ensemble des 269 relevés réalisés dans le cadre de cette étude, **343 taxons différents** (pour 62 genres) ont été inventoriés. Le degré de détermination actuel est rapporté à titre indicatif dans le tableau ci-dessous et cette statistique est sujette à réactualisation fréquente, sachant que les recherches bibliographiques (qui s'intéressent à l'échelle mondiale, ce qui en augmente la difficulté) vont continuer, ainsi que des observations au microscope électronique afin de conforter certaines identifications faites et de tenter de mettre un nom d'espèce sur des espèces actuellement sous numéro, ou sur d'autres jugées proches d'une espèce connue, mais avec un diagnostic à conforter (espèces dites *cf*, ou *aff.*) (*).

Nota 1 (*): Ces 2 catégories ont été ici regroupées alors qu'en toute rigueur, l'identification sous *cf* est considérée comme plus solide (plus proche du type de l'espèce) qu'une identification affine (*aff.*).

Nota 2 : Même si un certain nombre d'espèces, parmi les 343, restent indéterminées sur le plan de leur nom d'espèce, chaque taxon recensé est bien différent des autres espèces et reconnaissable.

Tableau 3 : Degré de détermination taxinomique des espèces de l'étude

Nb de taxons différents	Au genre + espèce vraie	(dont espèces nouvelles)	Au genre, espèce (<i>cf</i> ou <i>aff.</i>)	Au genre, Sp sous numéro
343	162	(11)	28	153

Dans un contexte appliqué (mise au point, puis application pour la surveillance d'un outil de bio-indication), il n'est pas forcément nécessaire de reconnaître en routine toutes les espèces rares rencontrées seulement 1 ou 2 fois dans toute la durée de cette étude. Au bilan global de celle-ci, la distribution des assemblages diatomiques résumée sur le plan de l'occurrence des espèces est présentée en Figure 6 ci-dessous. L'abondance relative moyenne de chaque espèce trouvée à la Réunion est résumée en Figure 7 page suivante.

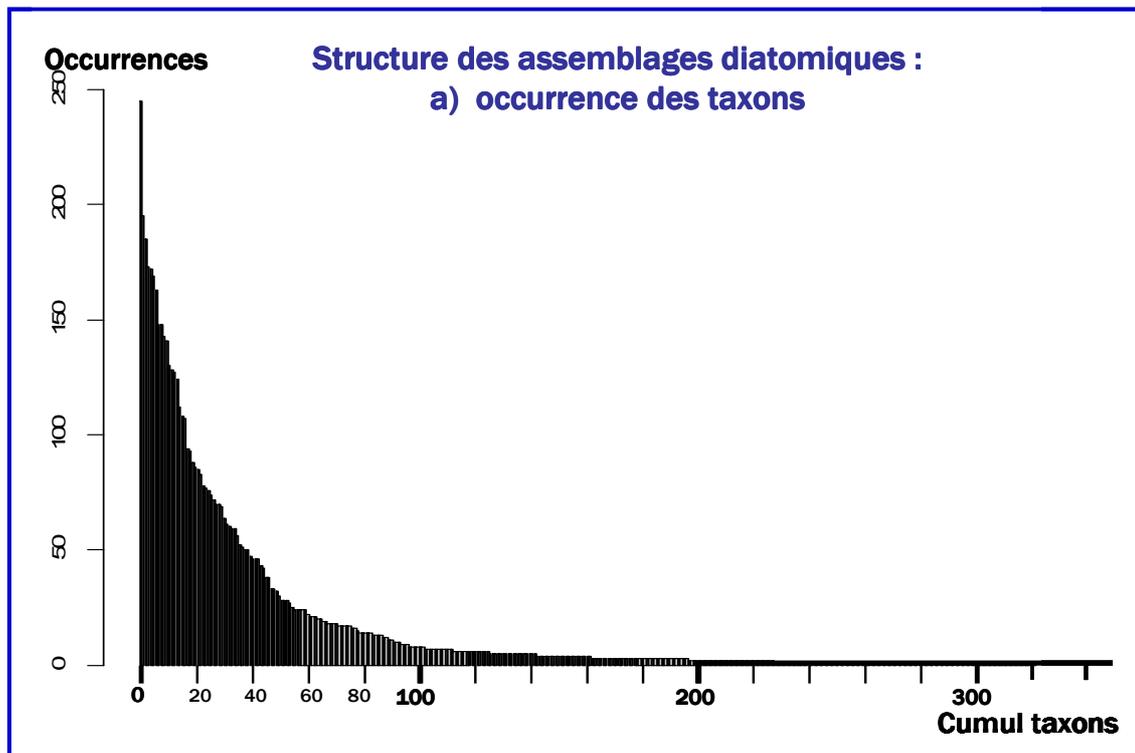


Figure 6 : Bilan de la fréquence d'occurrence des taxons diatomiques au cours de l'étude

Il est possible de voir qu'un taxon domine largement tous les autres sur le plan de l'occurrence dans les relevés. Il s'agit de *Cocconeis euglypta*, espèce ubiquiste à la Réunion qui se retrouve présente dans 245 relevés sur un total de 269. Cette espèce très adaptable s'accommode d'altérations légères à moyennes et se retrouve dans une large majorité de relevés. Ensuite, les dominances s'atténuent très vite et sur 343 taxons identifiés, 18 taxons se retrouvent dans plus de 100 relevés et 40 seulement dans plus de 50 relevés, ce qui illustre bien une assez faible richesse spécifique moyenne et l'assez forte spécialisation des flores dans certaines conditions hydrochimiques et climatiques. On peut aussi voir sur la Figure 6 que le cumul des occurrences décroît très vite ensuite, environ 140 taxons étant rencontrés à au moins 5 occurrences, c'est-à-dire la plupart du temps sur un seul site échantillonné à 5 dates, ou sur 2 sites s'illustrant par un continuum amont aval ou par une saisonnalité marquée. 175 taxons sont présents à 3 occurrences ou plus, ce qui a constitué le seuil d'intégration dans l'indice.

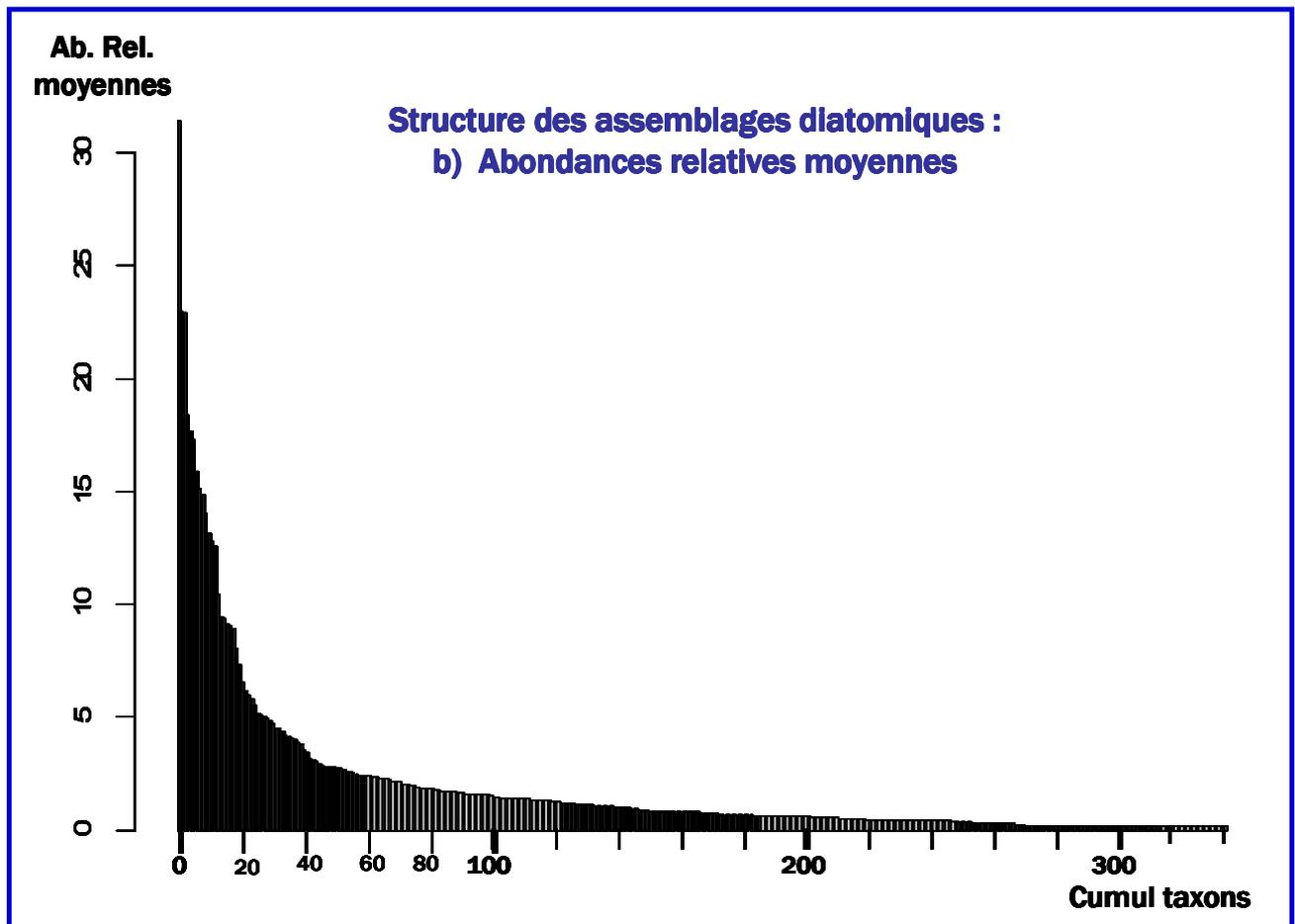


Figure 7 : Structure des assemblages diatomiques sur le plan des abondances relatives moyennes

Sur le plan des abondances relatives moyennes, la physionomie du jeu de données donne une image assez comparable à ce qui est visible via les occurrences, la même espèce (*Cocconeis euglypta*) représentant 32% de l'abondance relative moyenne des relevés (c'est considérable) et 3 espèces seulement étant présentes à plus de 20 % d'abondance relative moyenne, 14 espèces seulement représentent plus de 10 % des abondances relatives globalement sur l'étude. À côté de ces flores relativement ubiquistes, plastiques et s'accommodant le plus souvent de milieux sous altérations modérées avec léger enrichissement trophique, l'information portée par les espèces se parcellise ensuite très vite en fonction de spécialisations d'espèces dans des conditions géoclimatiques plus particulières à certaines rivières et stations.

Quelques éléments synthétiques sur le plan des abondances relatives observées, non plus sur le jeu de données global mais à l'échelle d'observation du relevé, sont résumés ci-après :

- Un groupe de 109 taxons (31,8 %) sont présents à au moins 5 % sur au moins 1 station.
- Un deuxième groupe de 95 taxons (27,7 %) se révèlent présents de 1 à 5 % maximum sur au moins une station (épuisement rapide des contributions aux abondances relatives).
- A l'autre bout de l'échelle, sans parler de taxons réellement rares qu'il n'est pas possible de repérer systématiquement avec la pression d'observation réalisée (500 valves observées sur un site de prélèvement d'une vingtaine de mètres de long sur la largeur de la rivière), 139 taxons (soit 40,5% des espèces rencontrées) sont faiblement occurrents et abondants dans le jeu de données et représentent moins de 1 % en abondance relative dans le ou les relevés où ils sont le plus représentés. Malgré leur caractère non essentiel dans la création de cette première version de l'indice diatomique, ils représentent un enjeu de connaissance. En effet, présents dans certains cours d'eau, ils peuvent être amenés à certaines dates à être plus fortement représentés et à peser sur la composition spécifique des assemblages, si des conditions locales ou saisonnières leur sont à certains moments plus favorables et accroissent leur compétitivité. Il est donc important de les recenser et de savoir les reconnaître, car il est fort probable de les retrouver au moins à certaines dates sur des sites des réseaux. A ce stade, ayant été trouvés en trop faibles effectifs et à trop peu de dates, il n'est pas encore possible de leur affecter un profil écologique utilisable, la connaissance étant insuffisamment consolidée. Cette connaissance augmentera avec le nombre de fois ou on les aura observés sur des sites dotés dans le même temps d'analyses d'eau. Pour l'instant, on peut simplement s'appuyer sur le fait qu'ils ont été trouvés en accompagnement d'espèces plus occurrentes dont l'écologie a déjà été assez bien précisée, sans savoir si cela correspond à leurs propres conditions écologiques préférentielles.

En résumé sur les aspects de composition de flores, à côté d'une espèce franchement dominante (*Cocconeis euglypta*) et d'un faible nombre d'autres espèces plutôt ubiquistes (14 espèces seulement au-dessus de 10 % d'abondance relative moyenne), la Réunion héberge tout une liste d'espèces peu occurrentes et peu abondantes due à des conditions d'habitats assez variées et spécialisées (des sites de montagne vs des sites proches du littoral, des sites très peu minéralisés acides vs des sites à eaux très carbonatés et alcalines etc...). De nombreuses espèces parmi ces 343 sont présentes seulement dans un faible nombre de relevés et avec une abondance relative modeste (cf le 1^{er} groupe de 109 taxons qui peut déjà contenir des taxons présents à plus de 5 % sur un seul relevé ou un faible nombre de relevés).

Ce constat va de pair avec celui sur la relativement faible biodiversité moyenne rencontrée au niveau du relevé. En effet, et bien que cet ordre de grandeur moyen masque de fortes disparités inter-sites (les uns avec une faible diversité de moins de 10 espèces dans un relevé, d'autres au contraire plus diversifiés pouvant atteindre 50 taxons), la diversité moyenne par relevé est de l'ordre de 20 à 25 taxons, ce qui est une diversité sensiblement plus faible (de l'ordre de 40 à 50 %) par rapport aux conditions métropolitaines habituelles. C'est d'ailleurs pour stabiliser les résultats d'inventaire du fait de cette relativement faible biodiversité par relevé que la pression de comptage nécessaire a été un peu augmentée à la Réunion (500 formes comptées par rapport à 400 en métropole).

Aussi, même si certaines analyses de données s'appuient sur le maximum de taxons exploitables (notamment la biotypologie des flores diatomiques), la mise au point de l'indice et la création de fiches-taxons dans le guide d'identification se sont surtout centrées sur des espèces suffisamment présentes pour pouvoir leur attribuer un profil écologique relativement fiable, donc aux taxons faisant partie du 1^{er} et du 2^{ème} groupe. Pour mémoire, la biotypologie des assemblages d'espèces a été faite avec tous les taxons des relevés (343), dont la liste exhaustive est donnée à l'**Annexe 1**. Une sélection préalable aux analyses d'élaboration de l'indice (seuillage faisant disparaître les taxons à moins de 3 occurrences cumulées dans les 269 relevés) a limité le nombre des espèces prises en compte dans l'indice à 175. Parmi ces taxons, seulement 90 atteignaient une abondance relative de 5%, ce qui a permis de définir leurs *preferenda* écologiques et d'élaborer une fiche taxon dédiée.

3) DEMARCHE GLOBALE D'ANALYSE

L'analyse de données réalisée sur ce jeu de données de la Réunion a été organisée de façon à produire la connaissance nécessaire à l'élaboration d'un nouvel indice diatomique.

Pour cela, il a d'une part été nécessaire d'essayer de comprendre la structuration des communautés de diatomées soumises aux forçages environnementaux à la Réunion. Ce point est important pour mieux caractériser les flores typiques (naturelles, altérées), mais aussi pour pouvoir déterminer à quels sites de référence adéquats il est possible de comparer un site de réseau dont on cherche à évaluer l'état écologique.

D'autre part, il a été nécessaire d'étudier les principaux gradients présents dans le jeu de données abiotique, puis de mettre en relation ce gradient avec la réponse des espèces, afin de déterminer leur profil de qualité à intégrer dans l'indice pour rendre compte du gradient d'anthropisation.

La Figure 8 ci-dessous résume les caractéristiques de la démarche réalisée, qui s'est organisée selon 5 natures ou groupes de tâches :

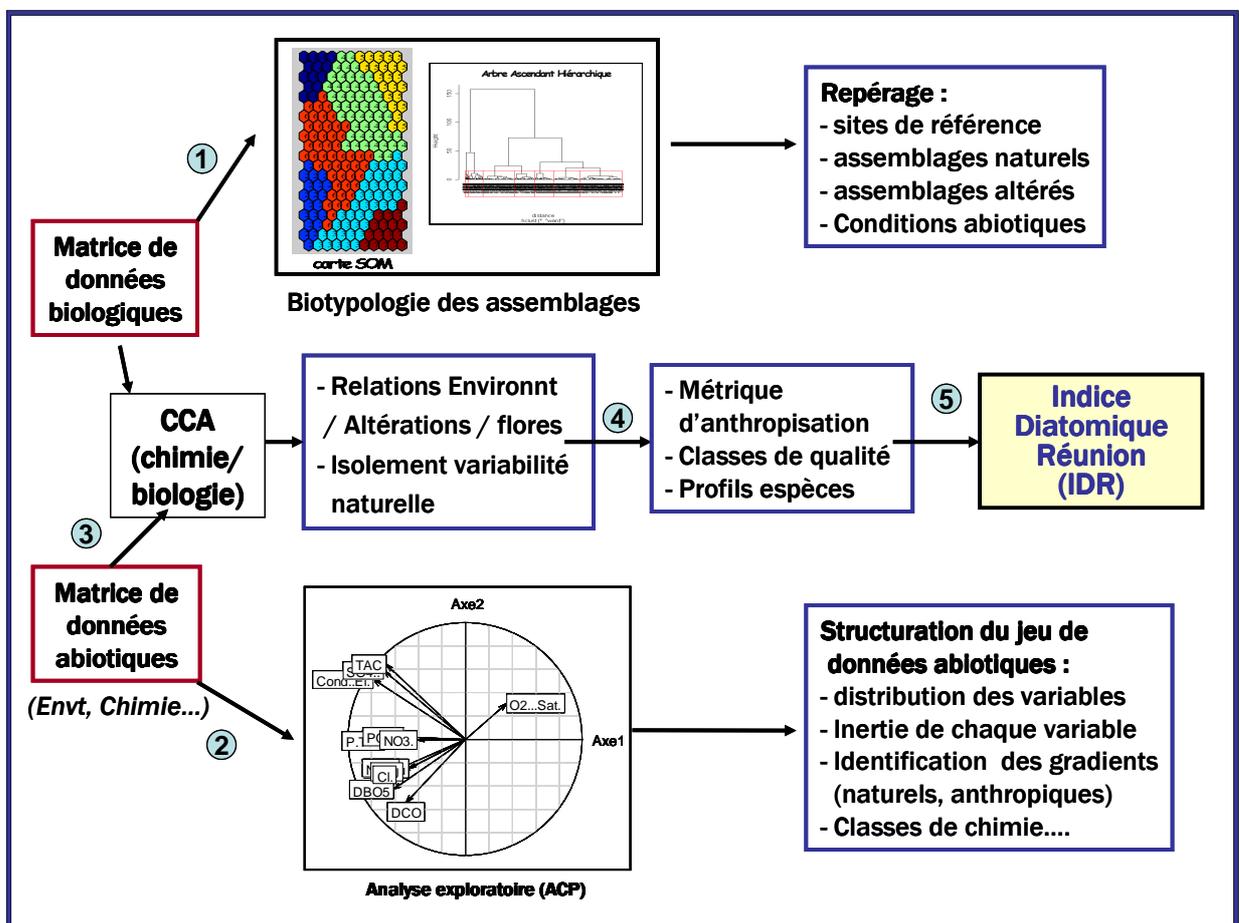


Figure 8 : Organigramme de la démarche d'analyse de données réalisée

- Tâche 1 : Une orientation spécifique d'analyse s'est appuyée sur la matrice biologique des données d'assemblages diatomiques pour tenter de repérer et de caractériser les assemblages-types de la Réunion. Le jeu de données incluant des sites de très bonne qualité et des sites altérés, l'objectif de cette biotypologie était de dégager des assemblages diatomiques de référence d'une part, et des assemblages-types représentatifs de natures et d'intensités d'altérations d'autre part. L'examen des résultats montre que, si cet objectif a été en grande partie atteint, il reste encore quelques problèmes à analyser et à résoudre (regroupement de sites sensiblement différents dans un des clusters).

- La Tâche 2 visait à bien prendre connaissance de la structure des données abiotiques, de la contribution de chaque variable, des gradients représentés dans le jeu de données, de l'auto-corrélation des variables et à commencer de repérer comment il était possible d'isoler gradients naturels et gradients anthropiques
- la Tâche 3, basée sur une analyse (la CCA) capable de mettre en relation gradients abiotiques et réponses biologiques, visait à bien prendre connaissance de l'effet des gradients naturels (quels descripteurs, quel poids sur les flores à la Réunion) de manière à mieux en isoler ensuite les effets par rapport à celui des gradients anthropiques (optique genèse de l'indice biologique).
- La Tâche 4, visait à mettre en relation l'effet des variables synonymes d'altération anthropique sur les flores, de façon à représenter le gradient d'anthropisation présent à la Réunion et d'affecter aux espèces à prendre en compte dans l'indice un profil adéquat de qualité.
- La Tâche 5 a consisté à élaborer l'indice (méthode de prise en compte du profil des espèces constitutives, formule de calcul...), puis à l'utiliser pour calculer les notes indicielles des sites aux dates d'étude à partir de la composition spécifique des relevés.

En fin de rapport, les résultats de l'indice ont fait l'objet d'une étude fréquentielle de détermination d'Etat Ecologique différenciée selon 3 échelles : au global, selon les campagnes d'échantillonnage et selon les saisons d'échantillonnage. Les résultats ont été discutés et critiqués (possibilité de retour ultérieur sur la grille d'évaluation proposée).

4) ANALYSE DES ASSEMBLAGES DIATOMIQUES, BIOTYPOLOGIE

Cette phase d'analyse s'est appuyée sur la matrice de 269 assemblages biologiques prélevés, identifiés et ayant fait l'objet de dénombrements d'abondance relative dans le cadre de cette étude.

Du fait du nombre élevé de taxons (343), les techniques classiques d'analyse descriptive sont dépassées, tant en capacité de calcul qu'en aptitude à intégrer et à visualiser correctement l'information multidimensionnelle constituant le résultat de l'analyse (nombre de plans trop élevé générant une difficulté d'intégration de l'information).

Aussi, pour réaliser la biotypologie, il a été décidé de faire appel à une technique neuronale non supervisée, la SOM (*Kohonen, 1982*), déjà utilisée par l'équipe dans des cas similaires par le passé (*Tison et al, Water Research 2005*), pour intégrer au mieux l'information apportée par chaque taxon et la résumer d'une façon visuelle et intelligible. Un avantage de cet outil est de conserver et de traiter l'information apportée en propre par chaque espèce sur un vecteur dédié, qui participe à l'apprentissage des unités virtuelles (cellules sur la carte). L'apprentissage vise à positionner au mieux les unités d'échantillonnage réelles dans un maillage d'unités virtuelles (la carte avec son nombre d'hexagones) qui subissent un grand nombre de cycles d'apprentissage. La structure topologique de la carte évolue au fur et à mesure des cycles en respectant un principe de voisinage (les cellules situées au voisinage immédiat d'une unité virtuelle doivent être les plus similaires à celle-ci et plus les cellules sont éloignées sur la carte, plus elles sont différentes) et de Best Matching Unit (chaque unité réelle d'échantillonnage ira se positionner dans l'unité virtuelle qui lui correspond le mieux, autrement dit la plus similaire à ce stade de l'apprentissage). En fin d'apprentissage, l'information sur la structure multidimensionnelle des communautés de diatomées est résumée en 2 dimensions sur le plan de la carte auto-organisante, ce qui permet une visualisation facile des résultats. En outre, les assemblages de chaque site d'étude sont positionnés sur la carte, mais on peut aussi plaquer dessus les variables abiotiques de l'environnement correspondant aux sites, le positionnement détaillé de chaque espèce sur la carte etc... Ces facilités aident à comprendre la structure de la carte et des facteurs de forçage qui s'exercent dans les milieux sur les communautés et les espèces.

4-1) Biotypologie globale : Phase d'apprentissage :

Afin de tenter de repérer les regroupements de communautés diatomiques de la Réunion, après plusieurs essais de dimensionnement (le nombre de cellules devant être optimisé pour permettre une bonne ségrégation des sites et la gestion correcte des voisinages), une première carte auto-organisatrice a été réalisée avec l'ensemble des données biologiques collectées pendant l'étude, mobilisant les 269 relevés collectés au cours de 5 campagnes saisonnières de prélèvements. Cette carte, qui a été effectuée sans seuillage préalable basé sur des occurrences ou abondances relatives minimales d'espèces (utilisation directe du jeu brut validé), a donc mobilisé les 343 taxons recensés au cours de l'étude. Elle mêle des sites sous influence naturelle dominante, et d'autres sous différentes natures et intensités d'impact anthropique.

Il a tout d'abord été réalisé une transformation $\log(x+1)$ sur la matrice de données (x_i = abondance relative de l'espèce i) afin d'amplifier le message des espèces en faibles abondances relatives par rapport aux dominantes. Cette pratique a souvent été utilisée avec succès en biotypologie. Concernant les flores diatomiques, son utilisation est sous-tendue par une connaissance écologique qui la légitime. A côté de toutes petites espèces pionnières compétitives dans les environnements instables et perturbés, qui se multiplient très vite, il existe des espèces de grande taille, typiques de sites de très bonne qualité et appréciant les environnements plus stables, mais au temps de doublement d'effectifs beaucoup plus long. Elles apportent une information écologique intéressante, notamment sur les sites de référence, que la transformation log permet d'amplifier un peu.

La distance mathématique utilisée pour le processus d'apprentissage et pour gérer les voisinages en fonction des similitudes ou des différences d'assemblages a été la distance Euclidienne.

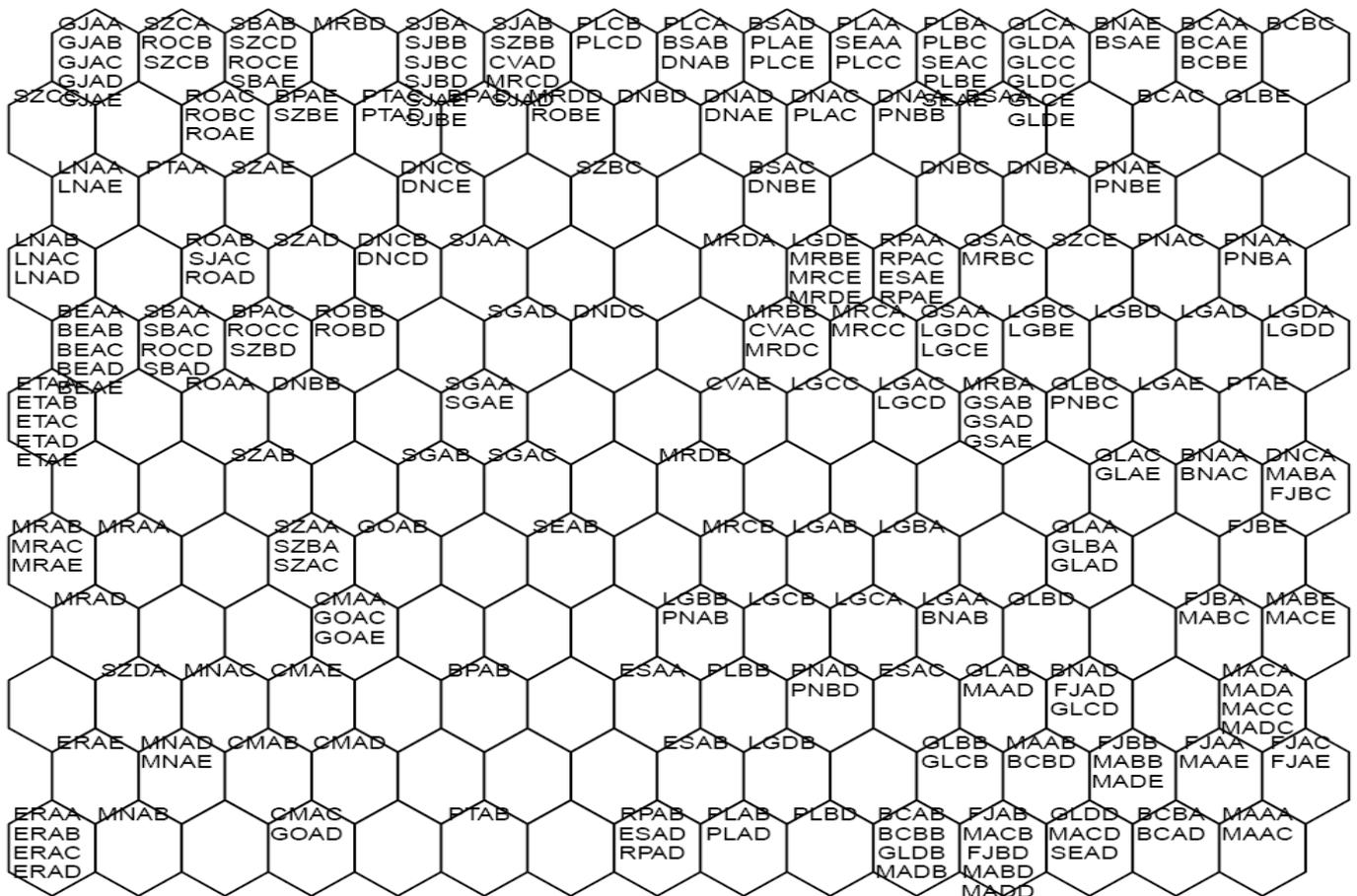


Figure 9 : Positionnement des 269 assemblages diatomiques de l'Etude Réunion dans une carte auto-organisatrice de 180 unités virtuelles (15 X 12)

L'apprentissage a été programmé et exécuté de la façon suivante :

- nombre de cycles d'apprentissage de la phase d'ordination grossière : 5000,
- phase de tunage fin dimensionné à (500 * nb d'unités virtuelles de la carte), soit $500 * 180 = 90\ 000$.

La SOM produite à l'issue de cet apprentissage est présentée en Figure 9 page précédente. A l'issue de l'apprentissage, les assemblages naturels prélevés à une station et à une date donnée (code à 4 lettres) sont positionnées de façon stabilisée dans l'unité virtuelle (ici symbolisée par un hexagone) dont l'assemblage virtuel leur correspond le mieux. Plusieurs assemblages réels similaires peuvent se retrouver dans la même unité virtuelle (cas des cellules contenant une liste de plusieurs stations-dates réelles). Souvent, on retrouve les assemblages prélevés à un même site à des dates différentes, ou à la même saison des années différentes, dans la même cellule ou des cellules contiguës, ce qui est un gage que l'apprentissage a bien fonctionné.

Une part de hasard intervient dans le contenu initial des unités virtuelles et dans l'ordre où sont soumis les premiers assemblages réels. Pour pallier ce risque qui conditionne un peu la qualité finale des positionnements topologiques, il faut planifier un nombre de cycles d'apprentissage suffisant pour permettre la migration des unités virtuelles éventuellement mal positionnées en début de processus jusqu'à leur emplacement optimal. (ici, l'apprentissage a été suffisamment long, passant par 5000 cycles de tunage grossier et 90 000 cycles de tunage fin).

Une autre précaution consiste en l'examen de 2 critères spécifiques permettant d'apprécier la qualité d'apprentissage en fin de processus. Il a été vérifié que cette carte est de qualité optimale, ce qui permet ensuite d'aborder la phase de repérage des clusters, ou groupes de communautés naturelles.

4-2) Repérage des communautés diatomiques typiques (ou biotypes diatomiques)

Suite à l'apprentissage par le réseau neuronal, la phase suivante vise à générer un arbre ascendant hiérarchique basé sur la similarité des assemblages, dans le but de repérer les "clusters" représentatifs de flores diatomiques typiques pour la Réunion. Le but principal poursuivi ici est de repérer les biotypes naturels (flores de référence) et de pouvoir en dériver leur zone biogéographique d'extension. Mais, à titre plus indicatif, une telle analyse renseigne aussi sur les conséquences biotypologiques de l'effet de grandes altérations-types (exemples : aval de rejet de STEP, de distillerie...) et de leur intensité sur la composition des communautés aval.

La taille de la carte telle qu'adoptée est visiblement adaptée au double objectif de regrouper le contenu de plusieurs cellules contiguës d'une part (les cellules avec voisinage immédiat contiennent des assemblages proches), et d'autre part, de séparer des ensembles entre lesquels sont venus s'intercaler des cellules vides (cet éloignement topologique rendant compte d'une dissimilarité d'assemblages).

La démarche biomathématique utilisée pour définir le niveau pertinent de coupe de l'arbre et de la carte auto-organisatrice est schématisée en Figure 10 page suivante :

Sur la base de la composition taxonomique des unités virtuelles de la SOM (1), il est procédé à l'établissement d'un arbre ascendant hiérarchique (2) visant à identifier les clusters d'assemblages, regroupés selon leur similarité.

La méthode de regroupement qui a été utilisée dans notre cas est la méthode de Ward. Une fois l'arbre produit, il est possible d'envisager plusieurs niveaux de coupe. Afin d'avoir des clusters représentatifs de conditions abiotiques et biotiques homogènes, il convient de descendre suffisamment dans l'arbre. Cependant, l'expertise hydrobiologiste est très vite confrontée à la difficulté de compréhension de la réalité écologique sous-tendant les découpages de clusters trop raffinés. Ce qui détermine un "bon" niveau de coupe est un compromis entre recherche d'entités biotypologiques homogènes et faculté de compréhension et d'interprétation de ce que représentent vraiment les entités biologiques définies (notamment, pourquoi –forçages abiotiques - et en quoi –composition, sens écologique- différent-elles ?).

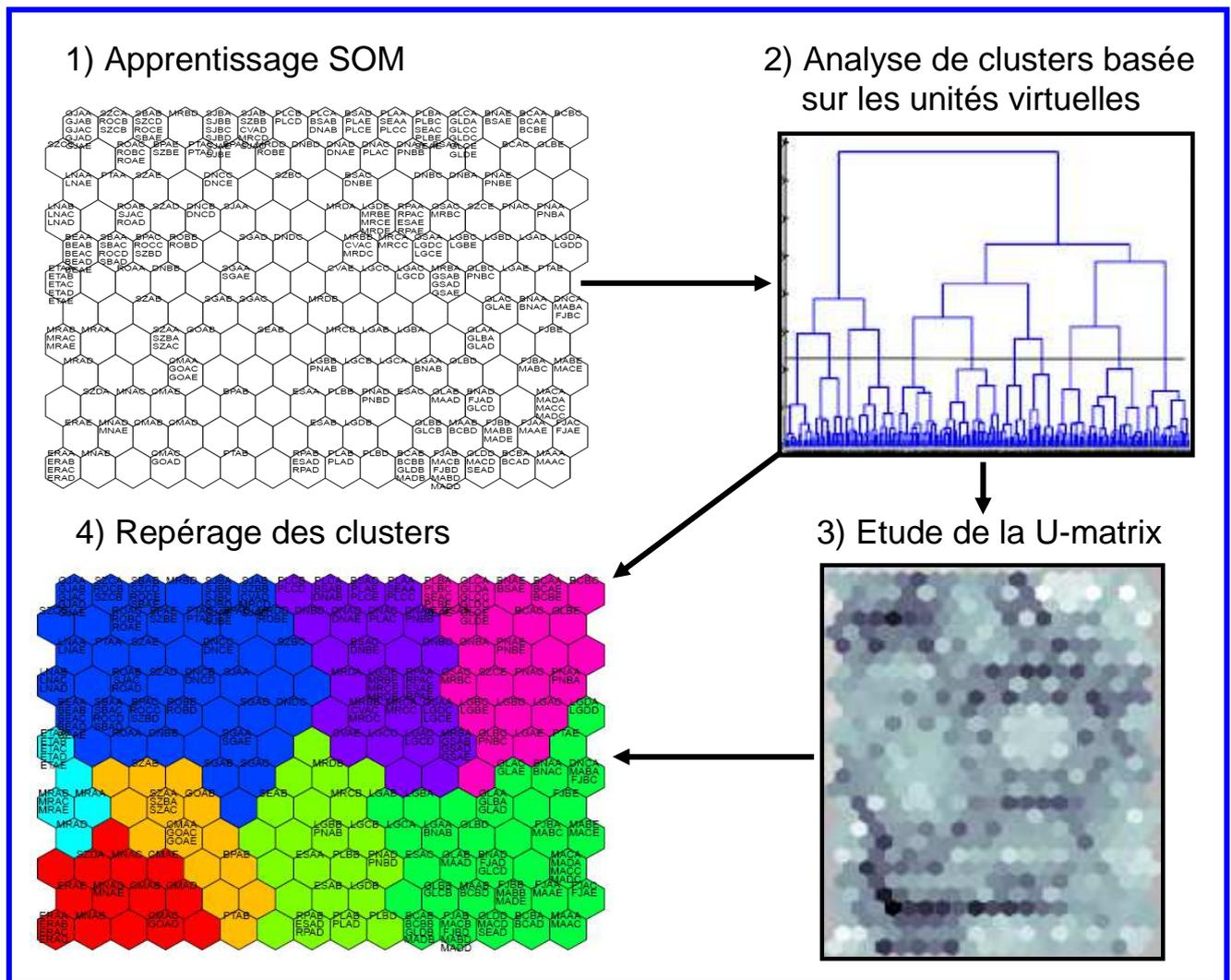


Figure 10 : démarche utilisée pour définir le niveau de coupe et les clusters (biotypes diatomiques)

La physionomie topologique de la carte auto-organisatrice aide à adopter un niveau de coupe pertinent (A quels endroits se situent les zones de continuité et de discontinuité entre clusters ? Un niveau de coupe possible correspond-il à une structure particulière de la carte avec des cellules virtuelles non affectées de sites réels ?).

D'autre part, la SOM optimise la représentation dans le plan de la carte, mais à certains endroits l'optimisation dans le plan impose une distorsion des écarts entre cellules, d'où la génération de résidus qui peuvent être visualisés sur une matrice inverse nommée U-matrix (3). Ces résidus marquent une distorsion par rapport au plan et pourraient de façon imagée être interprétés comme la présence de "vallées" ou de "reliefs" entre certaines cellules. Ils sont figurés par des zones plus ou moins ombrées. Plus les résidus sont importants, plus la couleur ombrée est intense, ce qui est synonyme de dissimilarité plus importante des unités virtuelles séparées par de telles zones. A l'inverse, lorsque l'ajustement dans le plan génère peu de résidus, on se situe dans une zone claire appelée "plaine", et les unités virtuelles de telles zones à faibles résidus sont considérées comme plus proches.

Un arbre ascendant hiérarchique basé sur la méthode de Ward a été construit à partir des assemblages virtuels de la carte auto-organisatrice présentée en Figure 10. Il a ensuite été examiné la pertinence et la signification écologique des assemblages diatomiques typiques sur la carte auto-organisatrice (SOM), en fonction de divers niveaux de coupe sur l'arbre ascendant hiérarchique produit.

Seuls les résultats obtenus en faisant progresser le niveau de coupe entre 4 et 8 clusters sont présentés dans le rapport (on peut découper l'arbre jusqu'à ce que chaque cluster contienne une seule unité virtuelle, gage de la plus grande homogénéité intra-cluster, mais l'intérêt est de regrouper suffisamment les sites comparables à l'échelle globale de la Réunion pour définir des communautés typiques de conditions environnementales). Les conséquences des niveaux de coupe successifs et la figuration de la topologie des clusters obtenus à chaque niveau de coupe intermédiaire sur la carte auto-organisatrice sont représentés en Figure 11 ci-dessous. Les résultats et leur interprétation écologique ont été examinés à chaque fois en s'appuyant sur les moyens pré-décrits. Sans rentrer dans le détail, chaque niveau de coupe successif provoquait une amélioration intelligible de l'homogénéité des derniers groupes subdivisés.

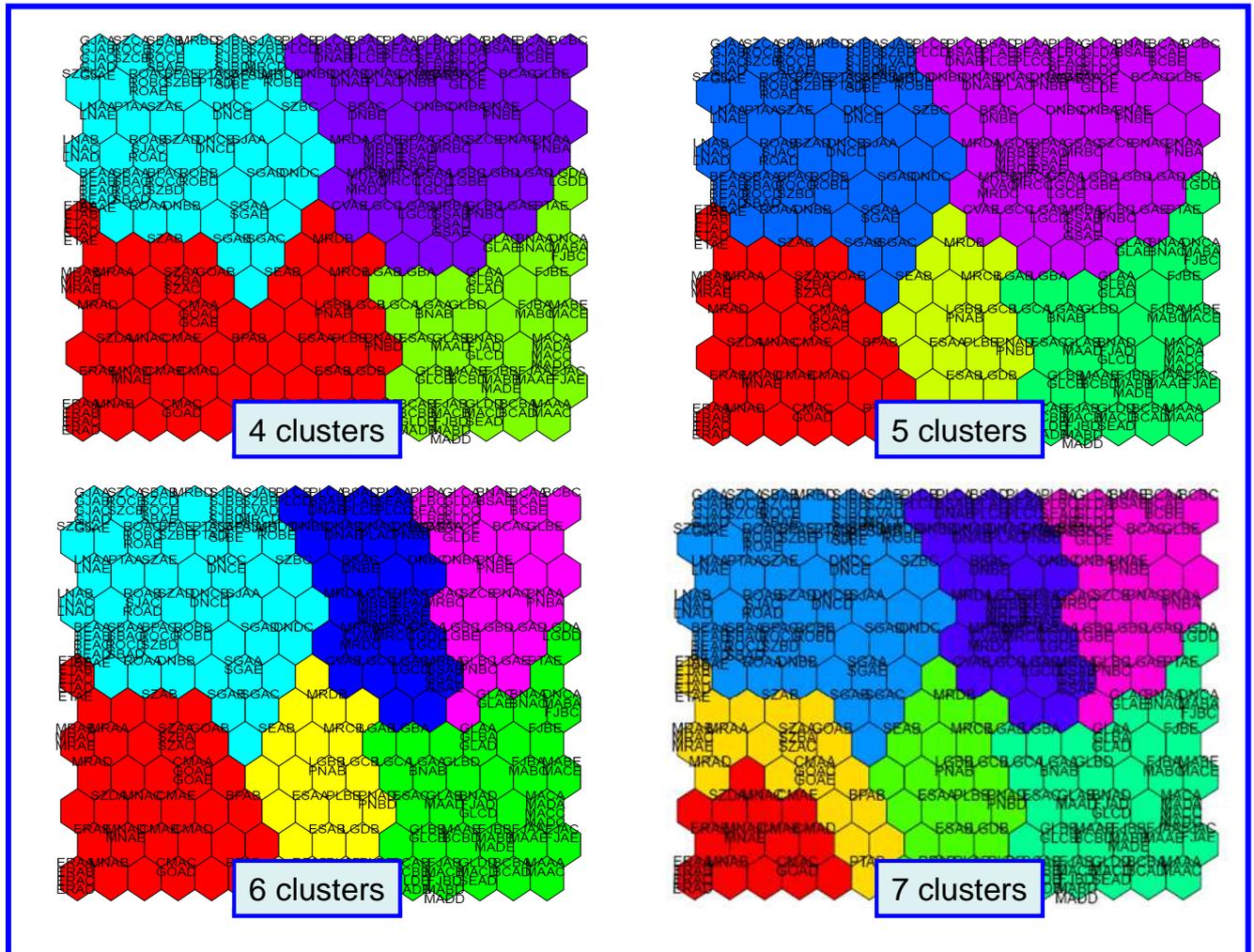


Figure 11 : Découpages successifs de la SOM obtenus pour un niveau de coupe de l'AAH à 4, 5, 6 et 7 clusters

Le passage du niveau de coupe 7 au niveau de coupe 8 (carte à 8 niveaux de coupe présentée en Figure 12 page 36) a été l'occasion d'un dernier gain très intéressant de structuration permettant d'isoler, sur la partie Ouest de la carte :

- le Cluster 5, figuré en bleu clair : il regroupe des flores très spécifiques d'eau très peu minéralisées, acides et porteuses de carbone organique naturel de la Rivière des Marsouins (stations MRA proche de Bébour) et ETA (ravine de l'Etang située juste à l'amont du grand Etang, 500 m en aval de la cascade). Ces assemblages contiennent plusieurs espèces endémiques très particulières et nouvelles pour la science.

- Le Cluster 2, figuré en orangé : il associe des flores de sites à caractéristiques de forçages naturels et anthropiques sensiblement différentes du précédent (Rivière Ste Suzanne à Bassin Grondin et à l'amont de la cascade Niagara d'une part (SZA et SZB), Ravine du Gol (GOA) et Ravine du Cimetière à St Paul (CMA) hors épisode halin et pollué d'autre part.

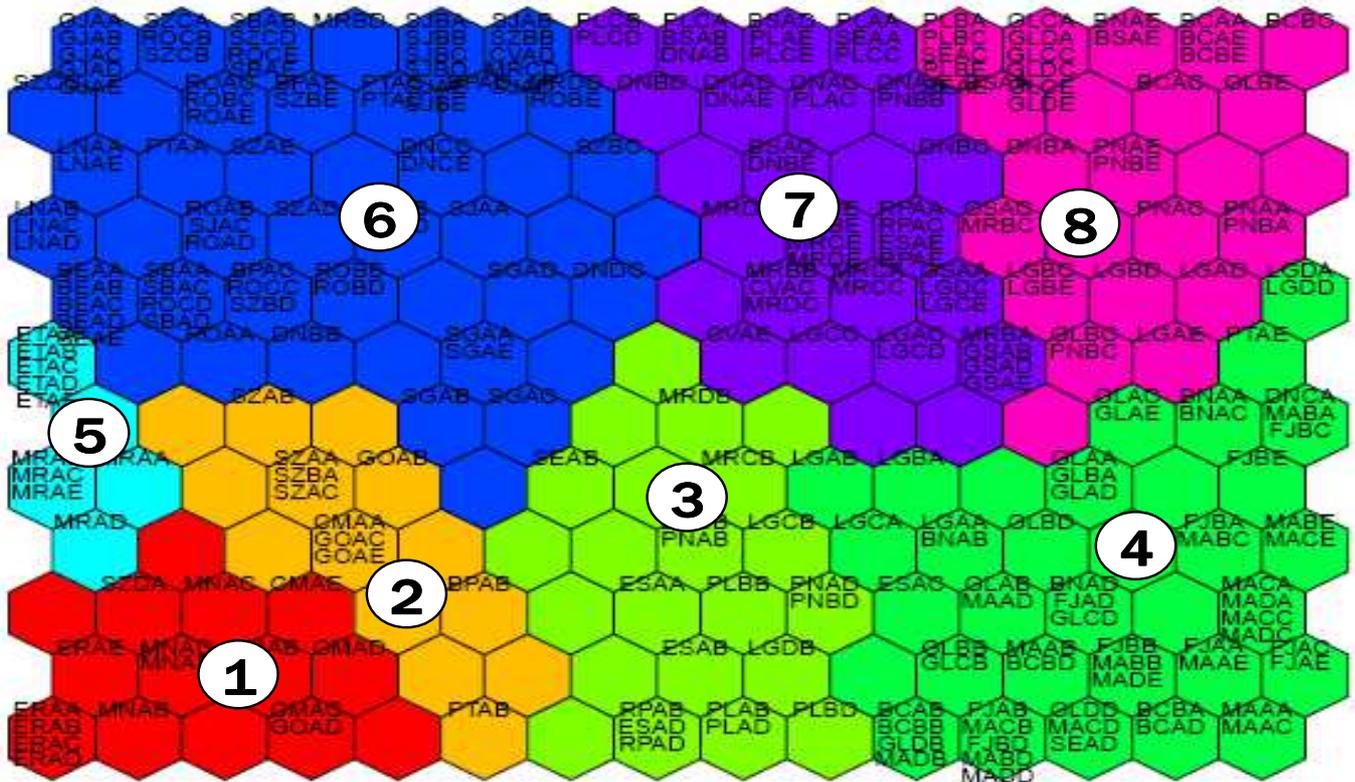


Figure 12 : projection du niveau de coupe "8 clusters" sur la SOM de 180 Unités virtuelles

C'est donc la carte présentant le niveau de coupe à 8 clusters (cf Figure 12 ci-dessus) qui a fait l'objet des interprétations les plus approfondies et qui renseigne pour l'instant le mieux sur la biotypologie et ses forçages dominants dans le contexte spécifique de la Réunion.

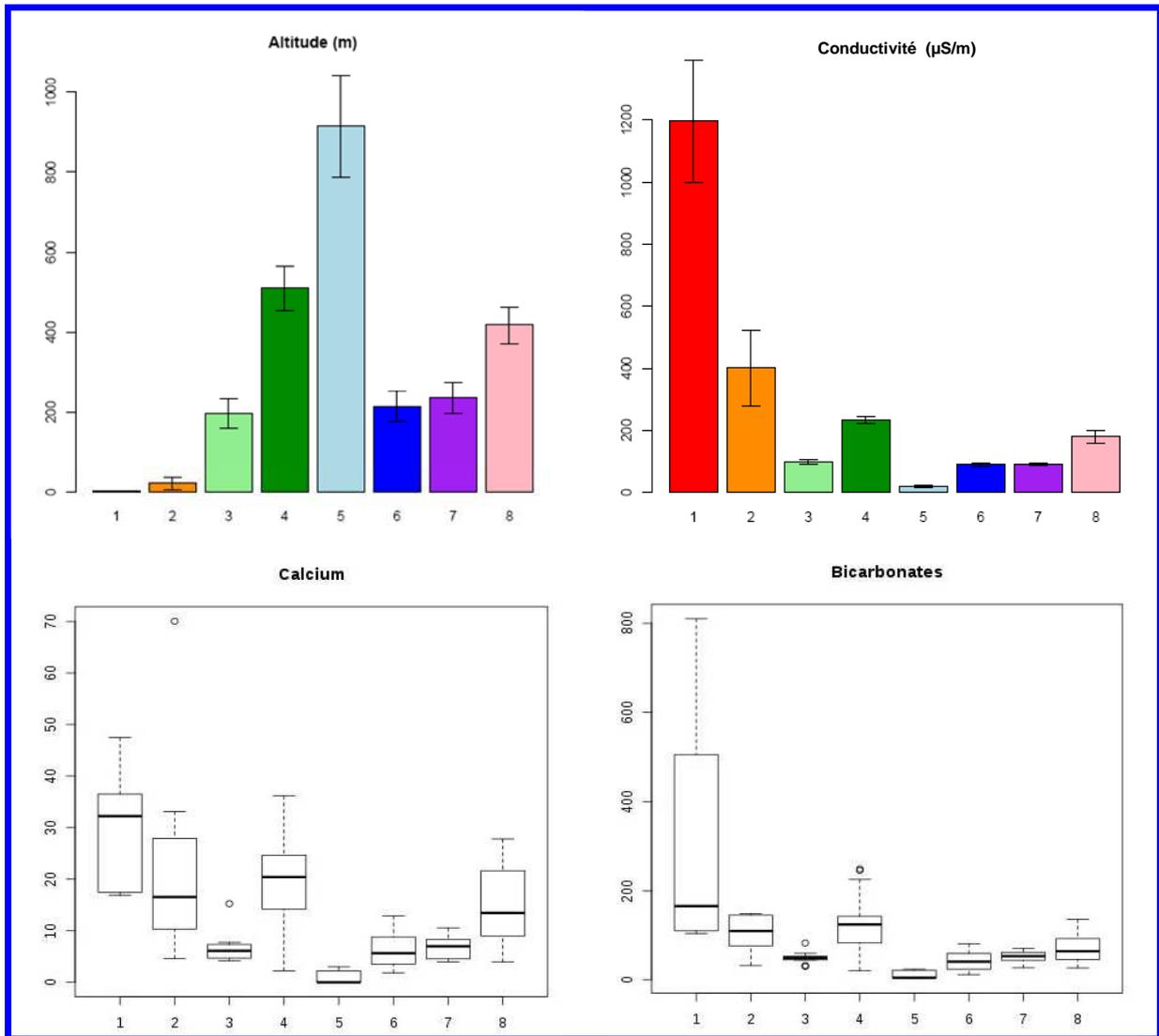
La mise en correspondance des sites par cluster illustrés sur cette Figure 12 et de la distribution d'une sélection de variables représentatives (voir Figure 13 page suivante), certaines plus inféodées à l'environnement naturel, d'autres illustratives de gradients d'anthropisation, a permis d'interpréter la signification floristique et écologique de ces différents types d'assemblages diatomiques (aussi appelés biotypes diatomiques).

Les deux premiers graphes en haut de la Figure 13 rappellent la couleur affectée à chacun des 8 clusters sur la carte auto-organisatrice, afin de faciliter la mise en correspondance entre le positionnement topologique des clusters sur la carte et les box-plots adéquats.

Nota : Cette sélection restreinte de descripteurs permet déjà de bien repérer à quels types de conditions environnementales et anthropiques correspondent les biotypes diatomiques. Cependant, une illustration plus complète des distributions par cluster des valeurs des variables environnementales et anthropiques renseignées pour l'étude est fournie en **Annexe 2**.

Les biotypes diatomiques retrouvés sur les stations d'étude aux différentes campagnes d'échantillonnage sont illustrés par le même code-couleur, sur la Figure 14 page 38 (Campagnes A, C, E à l'approche de l'été austral, mois d'Octobre-Novembre) et sur la Figure 15 page 39 (campagnes B et D à l'approche de l'hiver austral, mois d'Avril –Mai)

Forçages naturels



Gradients d'anthropisation

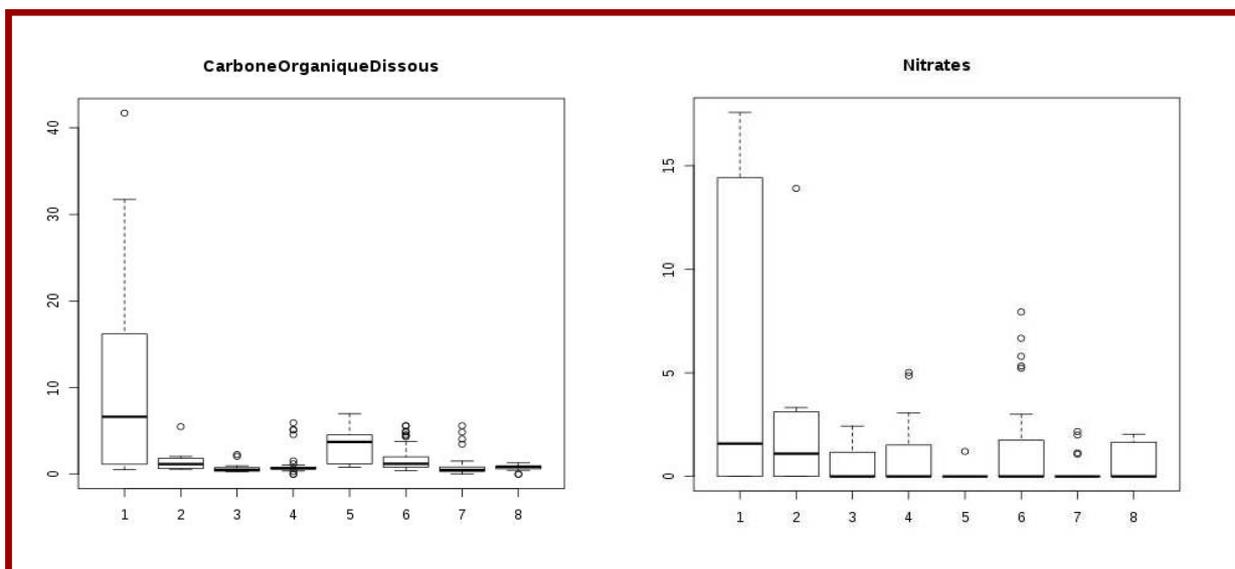


Figure 13 : Caractérisation des conditions in situ correspondant aux 8 biotypes diatomiques par une sélection de descripteurs abiotiques naturels et de descripteurs de gradients d'anthropisation

Saison chaude

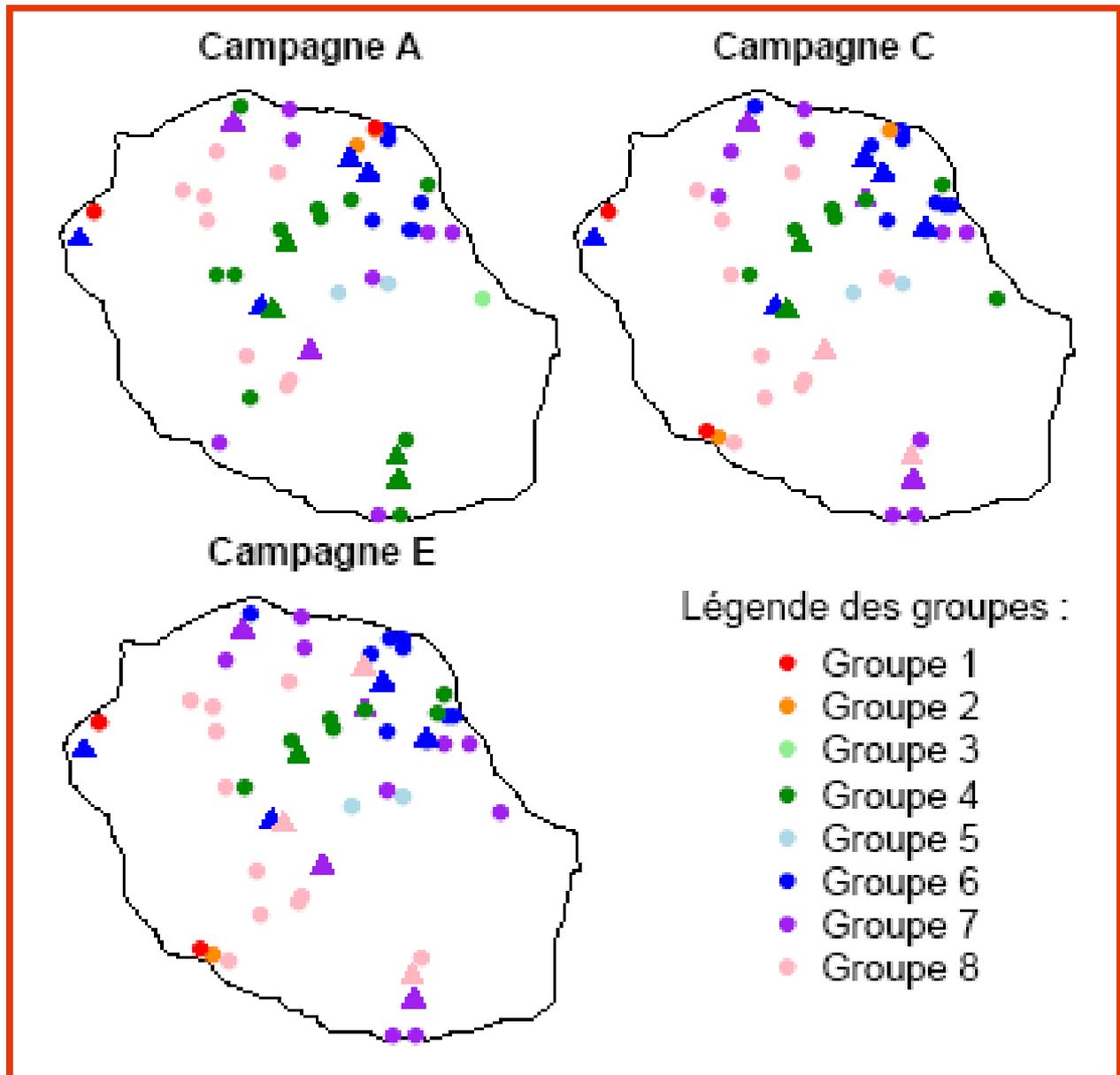


Figure 14 : Répartition des biotypes diatomiques lors des 3 campagnes à l'approche de l'été austral (Octobre - Novembre 2008, 2009 et 2010)

L'examen des conditions environnementales correspondant aux sites où l'on trouve ces différents clusters permet de dégager les signalétiques suivantes :

Cluster 1 (couleur rouge) : Faible altitude moyenne (quelques mètres au-dessus du niveau de la mer), conductivité élevée (moyenne de plus de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Episodiquement, une influence haline naturelle provoque des pics de salinité (proximité immédiate du littoral). Par ailleurs, eaux chargées en calcium et alcalines. On trouve dans ce cluster les sites les plus fortement carbonatés de la Réunion. Sur le plan des altérations anthropiques, les sites x dates de ce cluster sont sous influence forte de pollutions, comme en témoignent les fortes teneurs en COD et en nitrates. On y trouve aussi d'autres signes de pollutions de type domestique, de STEP et/ou d'industries agro-alimentaires, orthophosphates, ammonium et nitrites, DCO et DBO5. Se regroupent dans ce cluster la Ravine de l'Ermitage (ERA), la ravine du Maniron (MNA), le site le plus aval de la rivière Ste Suzanne, halin, échantillonné seulement à la 1^{ère} campagne (SZD), la Ravine du Cimetière à St Paul et épisodiquement (selon nature et intensité de la pollution) la ravine du Gol (GOA).

Hiver austral

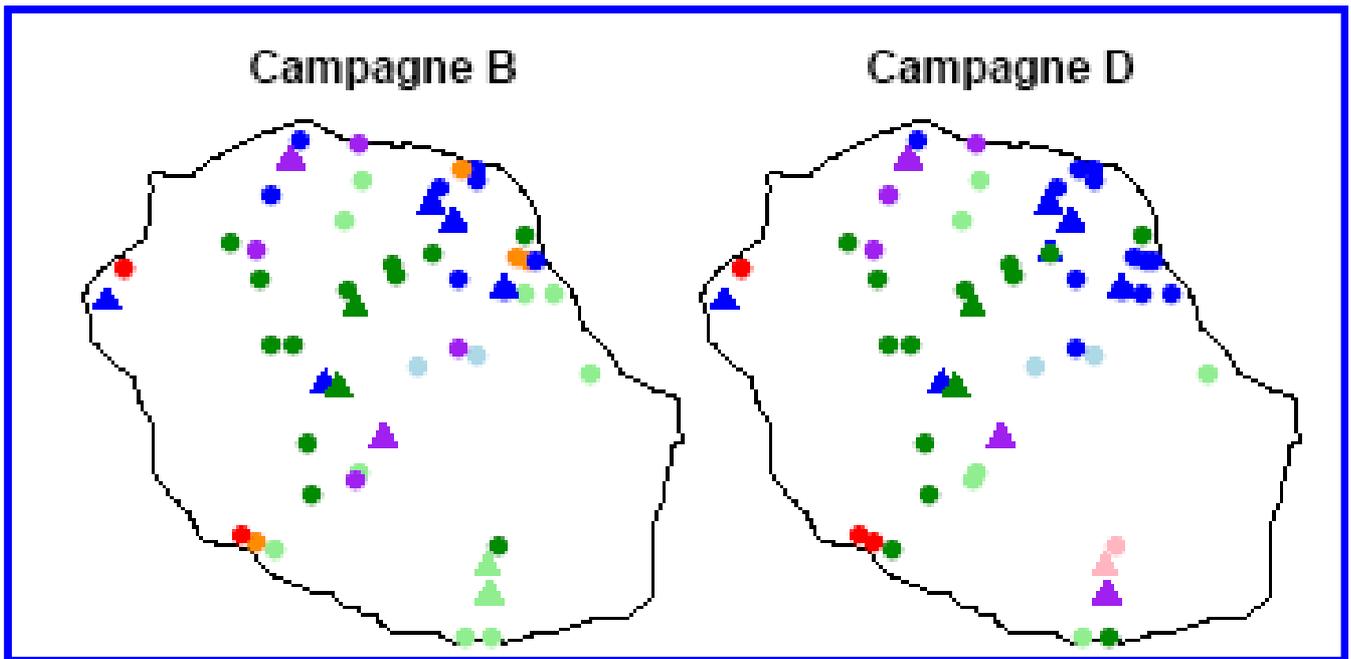


Figure 15 : Répartition des biotypes diatomiques lors des 2 campagnes à l'approche de l'hiver austral (Avril-Mai 2009 et 2010)

Cluster 2 (couleur orange) : faible altitude moyenne (< 50m), eaux fortement minéralisées (conductivités entre 250 et plus de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), mais pas sous influence haline naturelle. Fortes teneurs en calcium (presque le même niveau que pour le cluster 1) mais eaux plus modestement carbonatées. Sur le plan des gradients anthropiques, l'altération organique est modérée mais les teneurs moyennes en nitrates arrivent en 2^{ème} position juste derrière le cluster N°1 (niveau assez important de pollutions diffuses du fait de leur situation altitudinale à l'aval de bassins agricoles). On trouve dans ce groupe la Ravine du Gol (GOA), qui draine un bassin agricole et des effluents de l'usine, 2 stations de la rivière Ste Suzanne en pleine zone cannière (amont et radier aval Cascade Niagara, sites SZB et SZA), le Bras Panon (BPA) et le Bras Pêlard (PTA) à une date.

Cluster 4 (couleur verte soutenue, partie en bas à droite de la SOM) : altitudes moyennes (400 à 600 m), eaux de conductivités moyennes (200 à 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$), bien dotées en calcium et en carbonates sous influence géochimique naturelle (roches métamorphiques carbonatées) et influences thermales (Cilaos et cirque de Salazie). Sur le plan de l'anthropisation, les teneurs en carbone organique dissous sont faibles, un gradient de nitrates est perceptible à l'intérieur même du cluster sans que cela semble structurant sur ce biotype (teneurs de faibles à modérées selon l'altitude et la quantité de culture dans les cirques, notamment celui de Salazie qui est plus cultivé vers l'aval).

Ce groupe 4 est typique de la géochimie carbonatée des cours d'eau de tout le réseau hydrographique de la Rivière du Mât dans le cirque de Salazie, des sites d'altitude du secteur de Cilaos toute l'année et même jusqu'à l'aval du Cirque de Cilaos en saison sèche. Pour 2 campagnes sur 5, la rivière Langevin, qui présente une plus grande versatilité d'assemblages en général, peut se regrouper avec ce cluster, selon les années, aux 2 saisons différentes.

Cluster 5 (couleur bleu clair) : Caractéristique de sites à altitudes importantes (800 à 1000 m), ce cluster très typique se caractérise par les eaux les plus faiblement minéralisées de la Réunion (<50 $\mu\text{S}/\text{cm}$), à teneurs insignifiantes en calcium et en carbonates. La pression anthropique y étant très faible, les teneurs en nitrates sont négligeables. Par contre, drainant le secteur de Bébouar avec des forêts de bois de couleurs des Hauts, de cryptomérias et des tourbières, les teneurs en COD y sont notables mais il s'agit de carbone organique d'origine naturelle et relativement réfractaire (lixiviats humiques forestiers et de tourbières).

Ce cluster qui marque des conditions naturelles de référence très spéciales (eaux très peu minéralisées et espèces acidobiontes) ne regroupe que la ravine du Grand Etang en amont de l'étang (ETA) et l'amont de la Rivière des Marsouins (MRA) qui ont une zone d'origine proche. Plus à l'aval de la Rivière des Marsouins, les assemblages passent à une typologie différente, en relation notamment avec l'accroissement de la minéralisation de l'eau, qui devient un peu plus conductive, et de la pression anthropique.

Cluster 8 (couleur rose-bistre, en haut à droite de la carte) : altitudes moyennes (350-450 m), eaux moyennement conductives (environ 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$), relativement bien dotées en calcium mais à teneur modérée en bicarbonates et carbonates. Le cluster aux conditions géochimiques-hydrochimiques les plus proches de celui-ci, quoi qu'un peu plus marquées par l'influence directe de sources thermales (teneurs supérieures en carbonates, sodium, sulfates), est le cluster 4. Concernant le cluster 8, l'anthropisation est faible, un léger gradient d'azote est détecté à l'intérieur de ce groupe avec beaucoup de valeurs faibles à très faibles et quelques sites à teneur modérée de nitrates, sans que cela ne semble influencer sur cette sélection de flores. Cet assemblage est typique des cirques de l'Ouest à l'approche de l'été austral et de la saison des pluies (Mafate, Cilaos). Par contre, il est saisonnier et ne persiste pas à l'approche de l'hiver austral (avril-mai). On peut aussi le trouver aux 2 saisons de prospection sur la Rivière Langevin, qui est à la jonction entre les 2 zones d'influence climatique, mais il n'y est pas en permanence (grande versatilité déjà soulignée des flores sur ce bassin). Vu les implantations, les espèces assurant la typicité de ce cluster semblent plus thermophiles que celles du cluster 4. Il est possible aussi que ces cortèges soient favorisés par un régime régulier modéré (contraintes hydrodynamiques plus faibles en zone Ouest qu'en zone Est, hors épisodes cycloniques ou de pluies tropicales qui arrivent plus tard en saison). Si ce n'est pas seulement la thermique, mais aussi une caractéristique d'hydrodynamique modérée qui structure ce cluster, il devrait être possible ultérieurement de mieux caractériser ce biotype en fonction des formes de vie des espèces qu'on y trouve (examen des traits caractéristiques).

Clusters 3 (couleur vert clair), 6 (couleur bleue soutenue) et 7 (violet) : ces 3 clusters, d'ailleurs situés dans la partie médiane de la carte, partagent des conditions environnementales parmi les plus communes à la Réunion et difficiles à différencier clairement. Tous situés en altitude moyenne modérée (180 à 250-300 m), ils présentent une minéralisation relativement faible de l'eau habituellement en-dessous de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ainsi que de faibles teneurs en calcium et en carbonates classiquement liées au substratum de roche volcanique. Cependant, les flores de ces 3 groupes se séparent ainsi de façon stabilisée depuis le niveau de coupe à 6 clusters, ce qui montre la consistance de ces différences typologiques. Parmi ces 3 contextes très similaires, le cluster 6 serait légèrement plus chargé en COD et en nitrates que les clusters 3 et 7 (influence apparemment un peu plus importante de pollutions domestiques et/ou de pollution diffuse agricole). Mis à part cette différence modérée de niveau trophique, l'origine des différences de flores n'est pas bien captée par la sélection de descripteurs présentés, ce qui laisse supposer que ces différences typologiques pourraient être liées à des spécificités de distribution biogéographique de taxons et de cortèges, en fonction de l'isolement relatif de certains bassins versants.

Une autre source de différences pourrait résider dans une influence de particularités climatiques de large échelle (côte sous le Vent versus côte au Vent), voire à des caractéristiques saisonnières fortement variables au même site (cas de la saison des pluies et de la saison sèche sur la côte Ouest), conduisant des assemblages à se regrouper avec tel ou tel cluster selon leur composition saisonnière. On verra ensuite que les effets de bassins hydrographiques et les importants contrastes saisonniers amènent leur influence dans cette biotypologie.

La localisation des biotypes diatomique selon les campagnes et les saisons a été illustrée en Figure 14 page 38 (les 3 campagnes à l'approche de la saison chaude) et en Figure 15 page précédente (les 2 campagnes à l'approche de la saison hivernale). Elles permettent notamment d'illustrer des variations marquées sur l'Ouest en fonction de ces regroupements saisonniers, qui seront commentés plus loin.

Si l'on rentre un peu plus dans le détail des bassins et des (sites x dates) concernées par ces 3 biotypes pour tenter d'en affiner la typologie :

- **Le cluster 3** (couleur vert clair, partie inférieure et médiane de la carte SOM en Figure 12) marque comme les clusters 6 et 7 des conditions de substratum de roche volcanique basaltique peu altérée conduisant à des eaux à faible niveau de minéralisation et de conductivité, cas très classique à la Réunion ou ce substratum est dominant. Sa particularité est de regrouper presque exclusivement des assemblages de l'abond de la **saison hivernale fraîche et plus sèche** (campagnes B et D d'Avril-mai 2009 et 2010), à l'exception de la Rivière de l'Est aval (rivière située dans un des secteurs les plus frais et arrosé de l'île, ou cet assemblage semble plus stable et peut être trouvé certaines années aussi à l'abond de la saison chaude). A cette exception près, on trouve presque exclusivement ce biotype diatomique en saison d'hiver austral dans des contextes de bassins assez variés comme la Rivière des Pluies d'une part, la Rivière Langevin et la Rivière des Remparts d'autre part (situées dans les zones climatiques Sud et Nord de transition entre zone au vent et zone sous le vent), le Bras de la Plaine (idem) et, moins régulièrement que la rivière de l'Est, le Bras Panon et la Rivière des Marsouins aval (côte Est et strictement hiver austral).

Ce biotype serait donc caractéristique d'eau **faiblement minéralisées**, faiblement carbonatées et à faible teneur en calcium, et semble préférer les **eaux de températures fraîches régulières sans échauffements excessifs**, qui le feraient régresser (d'où la prédominance de son occurrence en saison hivernale australe). Il est possible aussi qu'il puisse lui être attaché des conditions hydrauliques ou hydromorphologiques spécifiques (à cette saison, les fortes pluies sont passées, on est dans des régimes plus stables et moins soutenus et il sera possible ultérieurement de préciser si certaines formes de vie typiques sont favorisées).

- **Le cluster 6** (couleur bleue soutenue, au coin en haut à gauche de la carte) est caractérisé depuis les premiers niveaux de coupe de l'arbre, ce qui montre sa typicité. C'est un biotype caractéristique toute l'année de certaines rivières du Nord-Est et de l'Est de la Réunion à géochimie peu carbonatée et faiblement à modérément conductives (substratum volcanique décarbonaté). La Rivière du Mât, plus carbonatée et sous influence thermale (tout le bassin versant du cirque de Salazie) fait exception dans ce secteur de l'île (rattachée au cluster 4). On trouve donc, rattaché à ce cluster de façon relativement permanente, la rivière Ste Suzanne, la Rivière St Jean, la rivière des Roches et affluent Grand-Bras), le site à minéralisation intermédiaire de la rivière des Marsouins.

Parmi les 3 groupes à géochimie comparable, ce Cluster 6 est celui qui semble aussi présenter des signes de pollutions diffuses un peu plus accentués que les autres, si l'on s'en réfère à des valeurs moyennes de COD un peu plus élevées et aux valeurs en nitrates (quelques sites entre 5 et 10 mg/l voire passant les 10mg/l, ce qui est un référentiel assez élevé pour la Réunion). A noter que les cours d'eau de la côte sous le vent appartenant à ce groupe se situent dans des zones peuplées d'habitat assez diffus (hameaux, villages) et que leurs bassins versants présentent des surfaces assez importantes de cultures, notamment la culture cannière, ce qui expliquerait la présence et l'effet de pollutions diffuses d'ampleur modérée. Les 2 seuls sites hors côte Est où l'on trouve régulièrement ce groupe sont le site le plus aval de la Rivière St Denis et la Ravine St-Gilles, de façon homogène à toutes les campagnes, ce qui confirmerait le **statut trophique un peu plus élevé de ce groupe** (ces 2 sites présentent des signes d'enrichissement trophique, la ravine St-Gilles principalement sous effet de cultures cannières à l'amont, la Rivière St-Denis plus sous l'effet de pollution diffuse liée à la présence d'îlets sans assainissement, entourés de jardins créoles et de petits élevages vivriers).

- **Le Cluster 7**, toujours sous influence de ce substratum volcanique procurant une faible minéralisation de l'eau, semble aussi nous informer sur un rôle de sélection de l'influence thermique. En effet, ce groupe, à la saison de l'approche de l'hiver austral, est rencontré uniquement sur la moitié Ouest de l'île (influence de la zone sous le vent, plus chaude et plus abritée des vents dominants qui arrivent par la côte est).

Ainsi, on trouve cet assemblage dans le Bras de la Plaine (protégé, ouvert vers le Sud-Ouest), en un site à assez basse altitude de la Rivière Langevin, dans le Bras de Ste Suzanne à Mafate (abrité, ouvert vers l'Ouest), dans la Rivière St Denis amont (gorge étroite et abritée). A l'approche de la saison chaude, on retrouve cet assemblage sur les mêmes cours d'eau de l'Ouest avec un renforcement de présence en zones de transition climatique Nord (outre la Rivière St-Denis, présence estivale à la Rivière des Pluies) et Sud (Rivière Langevin). De plus, on note une apparition de ce cortège en certains sites de cours d'eau peu minéralisés de la côte Est (Rivière de l'Est aval, rivière des Marsouins sur tout son cours sauf l'amont, secteur de Bébour, trop froid et avec de trop faibles conductivités électriques). Cette présence en sites abrités de l'Ouest à l'approche de l'hiver et cet accroissement à l'Est en saison chaude donne des indices assez clairs sur ses *preferenda* : il apprécie les **eaux à minéralisations modérées** (eaux de substratum volcanique basaltique, hors influence thermale, avec peu de calcium et de carbonates), et est **relativement thermophile**.

Au bilan, la carte SOM a donc permis d'identifier 8 structures d'assemblages biologiques diatomiques ayant une consistance écologique intelligible et de préciser, en fonction de leur composition multispécifique (sous-jacente à l'apprentissage et à la formation des groupes), de leur implantation spatiale et temporelle et de certains descripteurs abiotiques, leurs principales préférences écologiques en termes d'habitat hydrochimique. Des indications assez claires peuvent aussi être ressorties pour certains clusters sur les préférences thermiques en fonction de leur évolution spatiale saisonnière. Enfin, pour certains groupes biotypologiques, un message lié aux conditions d'anthropisation et à l'enrichissement des milieux ressort plus ou moins nettement selon le cas (message très net pour les groupes 1 et 2, message modéré de pollutions diffuses pour le cluster 6).

4-3) Examen de ces biotypes au regard de la trame HER:

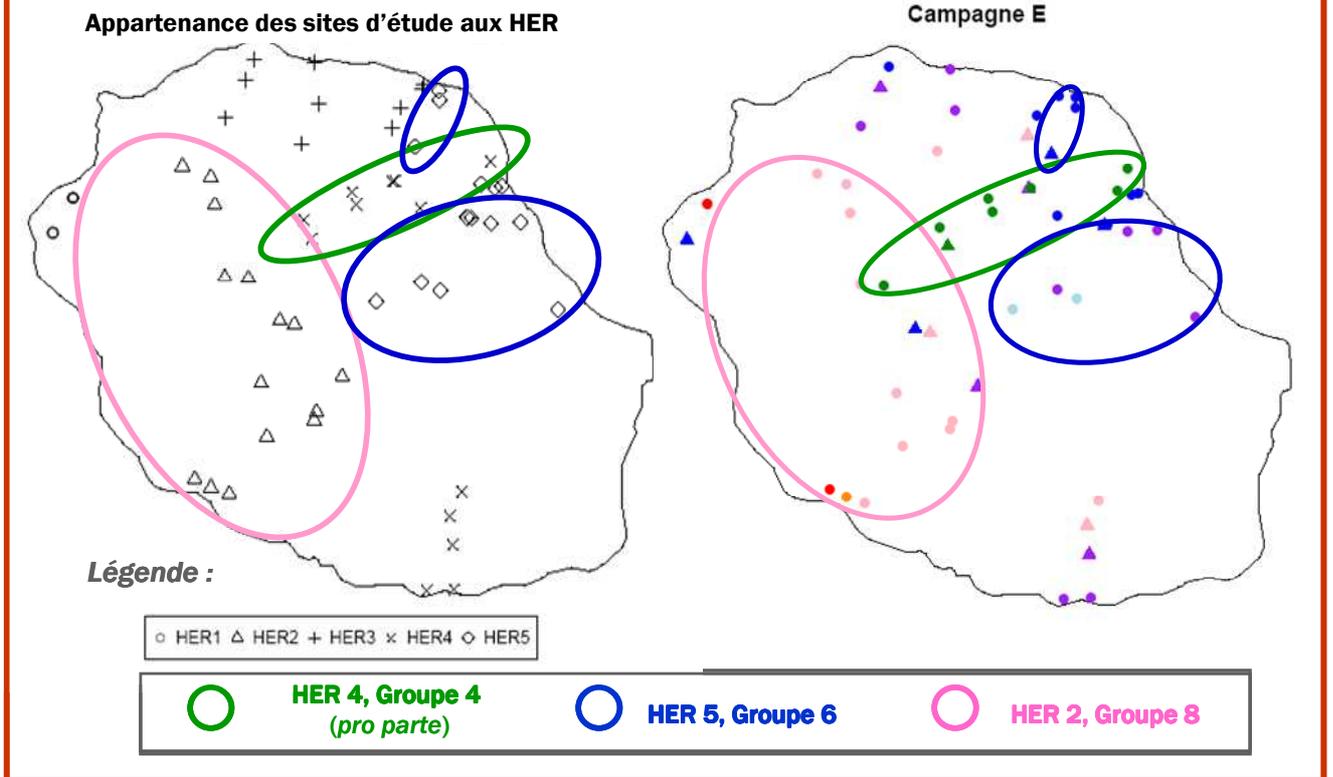
La signalétique de ces biotypes diatomiques, de leurs implantations dans les bassins hydrographiques de la Réunion et de l'influence d'une sélection de facteurs abiotiques de forçage sur leur structuration étant établie, nous avons ensuite essayé d'étudier la pertinence du zonage HER proposé par (Wasson et al, 2004, [Ref. 20](#)) pour servir de repère pour l'implantation de ces flores typiques.

Les caractéristiques naturelles abiotiques ayant servi à établir ce zonage génèrent sans aucun doute des forçages qui conduisent aux sélections de flores constatées. Cependant nous avons voulu vérifier, sur la base des campagnes menées lors de cette étude, si les zones HER présentaient des peuplements naturels de référence constants et stables ou si plusieurs types de flores pouvaient s'y succéder, ce qui amènerait ensuite à plus de difficultés de gestion opérationnelle. La Figure 16 page suivante se base sur l'exemple de 2 campagnes saisonnières réalisées la même année (2010) pour amener des éléments de connaissance à ce niveau, la campagne menée en saison chaude en haut dans un cadre orange, la campagne de saison fraîche en bas dans un cadre bleu.

La campagne d'échantillonnage 2010 à l'abord de la saison chaude révèle une correspondance apparemment assez correcte entre des biotypes diatomiques particuliers trouvés et 3 HER prédéfinies. Mais il convient de regarder d'un peu plus près comment évolue cette correspondance dans l'espace et dans le temps, ce qui peut être examiné aussi à l'aide des résultats de la campagne de saison fraîche :

- Les peuplements les plus stables entre les 2 saisons sont ceux de l'HER 5 "Versants au Vent", qui correspondent au Groupe 6 de couleur bleue (substratum volcanique décarbonaté, sous influence trophique modérée à moyenne).
- La Rivière du Mât, qui fait partie de l'HER 4 "Cirques Sud et Est au Vent" présente de façon stable des peuplements qui correspondent au Groupe 4 de couleur verte soutenue (altitudes moyennes, conductivités moyennes et eaux bien dotées en calcium et carbonates).

Saison chaude : Campagne Oct. - Déc. 2010



Saison fraîche : Campagne Avril-mai 2010

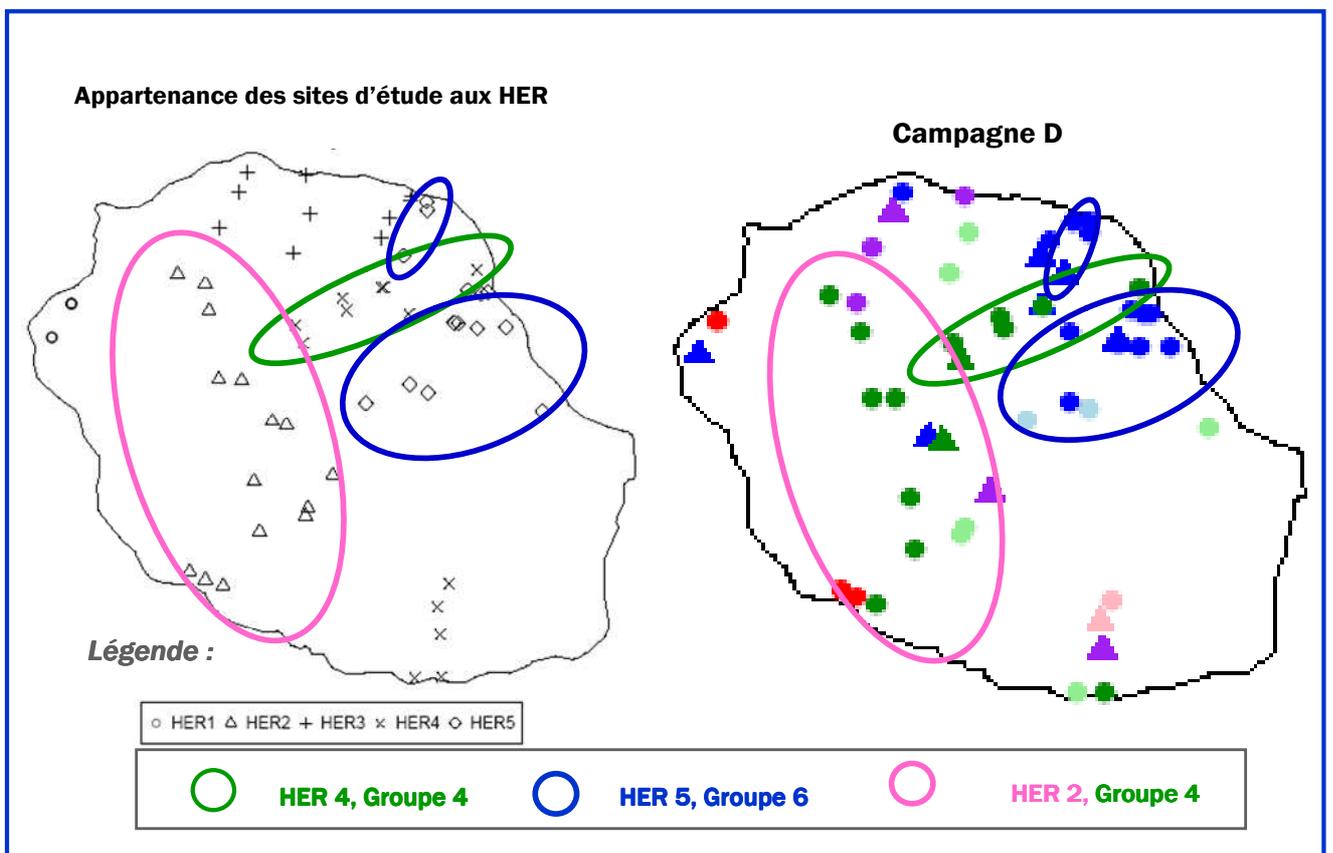


Fig. 16 : Relations entre biotypes diatomiques et zonation HER

- Les cours d'eau de l'HER 2 "Cirques Sud-Ouest sous le vent" présentent, à l'approche de la saison chaude, un cortège diatomique bien en accord avec cette HER qui est définie selon des conditions moins arrosées et plus chaudes que celles des cirques Sud et Est au Vent. Les cours d'eau de cette HER sont à cette saison plutôt chaude peuplée de façon dominante par le Groupe 8 (cortèges thermophiles, eaux de conductivité moyenne). Cependant, on ne retrouve plus ces cortèges thermophiles sur ces sites, ni nulle part ailleurs à la Réunion (sauf cette même année 2010 sur la Rivière Langevin amont) à l'abord de l'hiver austral. Du fait des conditions plus fraîches, le cortège dominant est le Groupe 4, le même que sur la rivière du Mât (géochimie-hydrochimie comparable, mais climat de la Côte Est, plus frais, plus arrosé et venté). Il y a donc sur cette HER un basculement d'une flore plutôt thermophile en été vers une autre flore préférant les eaux plus fraîches en hiver austral.

4-4) Repérage des espèces les plus structurantes par groupe diatomique

Sur la base des listes taxonomiques présentes dans les relevés rattachés à chaque groupe biotypologique, une analyse spécifique visant à repérer et lister les espèces caractéristiques de chaque groupe a été réalisée grâce au calcul de l'IndVal, indice mis au point par (Dufrêne et Legendre, 1997, [Ref. 5](#)). Les analyses ont été faites sous le logiciel PCOrd4.

Cet indice tient compte de l'abondance et de la probabilité d'occurrence de chaque espèce dans chacun des groupes, et attribue ainsi à chaque espèce une valeur indicatrice dont la valeur la plus forte correspond au groupe qu'elle caractérise le mieux. Un test de permutation (test de Monte-Carlo) est ensuite appliqué à ces données d'IndVal afin de s'assurer de la significativité statistique du rattachement d'une espèce à un groupe donné (ce qui revient à tester et confirmer que l'affectation par l'IndVal d'une espèce dans un groupe n'est pas due au hasard).

Pour 7 des 8 groupes, nous avons pu déterminer la liste des espèces caractéristiques, qui est présentée dans le Tableau 4 page suivante. Les résultats présentés n'ont pas été seuillés sur leur valeur d'IndVal dans la mesure où elles constituent toutes des espèces structurantes confirmées statistiquement. En pratique, une liste plus limitée d'espèces emblématiques pourra être re-sélectionnée ultérieurement pour servir à caractériser de façon résumée chaque cluster.

Nota : Parmi ces espèces structurantes figure un nombre important d'espèces dont la détermination taxinomique reste encore à conforter, bien qu'elles soient clairement reconnues en tant que tel sous leur numéro de code.

Quelques commentaires assez généraux peuvent être faits par rapport à ces listes d'espèces-types, qui semblent consistantes par rapport aux conditions abiotiques correspondant à chaque groupe diatomique, examinées au chapitre 5-2 :

Même s'il n'y a pas de liaison directe entre nombre d'espèces des relevés appartenant à un cluster et nombre d'espèces typiques de conditions particulières correspondant à ce cluster, le nombre d'espèces-types sélectionnées par groupe diatomique n'est pas complètement déconnecté de la biodiversité des relevés.

Il est notable qu'un grand nombre d'espèces sont apparues typiques du cluster 1. Il y a 2 raisons à cela : d'une part, ce groupe est caractéristique d'entrées salées littorales qui ne sont pas une altération anthropique, mais un forçage naturel. Ces espèces liées aux entrées marines sont donc considérées comme typiques de ce cluster car on les trouve dans ces sites et seulement dans ces sites proches du littoral. Même si elles ne sont peut-être pas complètement viables dans ces sites d'eau douce, elles sont uniques à ce groupe et sont donc considérées comme caractéristiques. D'autre part, plusieurs sites de ce cluster, proches du littoral, sont très pollués par des rejets domestiques périurbains, de STEP ou d'IAA (Ravine de l'Ermitage, Ravine du Maniron, Ravine du Cimetière, Ravine du Gol). On trouve donc dans ce groupe le cortège des sites les plus pollués de la Réunion, de type *Fistulifera saprophila*, *Nitzschia umbonata*, qui sont propres à ce cortège. Enfin, on trouve des espèces classiques d'aval de bassins versants anthropisés (bon nombre de *Nitzschia* sous numéro). Ces 3 grandes influences environnementales, assez spécifiques à ces stations, à leur localisation et à l'anthropisation qu'elles subissent amènent une large assise d'espèces typiques.

Groupe 1			Groupe 2			Groupe 5			Groupe 6		
taxons	IndVal	p value	Taxons	IndVal	p value	taxons	IndVal	p value	Taxons	IndVal	p value
ADEG	65.4	0.0010	GLGN	36.0	0.0010	ADBE	99.5	0.0010	PRS1	53.3	0.0010
NCXM	39.0	0.0010	NZBO	35.2	0.0020	STB1	59.5	0.0010	MVAR	41.1	0.0010
CMEN	38.3	0.0010	NPAL	28.1	0.0040	BBRE	50.0	0.0010	PRBU	41.1	0.0010
HGHA	37.9	0.0020	DPST	27.7	0.0020	CRCD	50.0	0.0010	AMUS	38.1	0.0010
GPAS	37.5	0.0010	AINF	24.4	0.0010	KBEB	50.0	0.0010	FRA2	29.2	0.0020
NSN1	32.7	0.0010	GDEC	21.4	0.0030	CDMN	49.9	0.0010	EOMI	28.4	0.0110
MAPE	30.5	0.0210	NZS9	21.4	0.0500	EMIN	40.0	0.0010	ARPT	28.2	0.0020
DPUE	26.7	0.0010	NGRE	20.8	0.0330	EEXI	40.0	0.0010	ADSH	27.8	0.0250
NMIC	26.7	0.0010	GSCL	17.2	0.0130	ADNA Gp.6	37.3	0.0010	EORU	23.5	0.0230
NAS3	26.3	0.0030	NCLA	17.1	0.0060	ESTI	30.0	0.0010	ADNA	22.9	0.0290
NINC	25.3	0.0030	NVDA	16.6	0.0370	FRU1	30.0	0.0010	NCRY	22.5	0.0070
NRIE	25.1	0.0010	NJUA	16.4	0.0050	FRU4	30.0	0.0010	CTRO	21.9	0.0480
TAPI	22.1	0.0040	NZX0	15.9	0.0050	ADCT	29.3	0.0020	GBOB	20.6	0.0320
TDEB	21.7	0.0030				FRA3	26.1	0.0030	NAS2	17.9	0.0280
APED	21.5	0.0250				ADC1	22.1	0.0340	SRES	17.5	0.0050
NAS8	20.6	0.0020				EBI2	20.0	0.0020	NESC	16.2	0.0280
FPYG	20.0	0.0010				CHS1	20.0	0.0040	GARB	15.7	0.0180
NZSU	20.0	0.0010				CSBM	20.0	0.0070			
NZX0	20.0	0.0010				EBI1	19.7	0.0010			
NNYS	20.0	0.0010				GADC	18.7	0.0060			
KAAS	20.0	0.0020									
NBRL	20.0	0.0020									
NGRT	20.0	0.0020									
NVEN	20.0	0.0020									
NUMB	19.9	0.0030									
ACOP	19.1	0.0030									
FSAP	17.4	0.0290									
ESBM	17.1	0.0120									
DCOF	16.9	0.0110									

Groupe 3		
Taxons	IndVal	p value
GBBO	72.5	0.0010
GMAS	62.1	0.0010
NSN2	46.6	0.0010
PTLA	46.5	0.0010
SSEM	27.2	0.0110

Groupe 4		
Taxons	IndVal	p value
NZAB	64.2	0.0010
CAEX	42.8	0.0010
CEUG	33.5	0.0010
DVUL	28.5	0.0020
NFON	22.8	0.0130
NDIS	21.3	0.0130
NTPT	20.0	0.0110
CPED	17.3	0.0110

Groupe 7		
taxons	IndVal	p value
Néant	Néant	Néant

Groupe 8		
taxons	IndVal	p value
NTRO	52.7	0.0010
RHIR	51.3	0.0010
NCPR	20.0	0.0410

Tableau 4 : Liste des espèces caractéristiques par groupe diatomique-type identifié sur la SOM de 180 cellules

Dans certains clusters, les espèces sont typiquement sélectionnées par des conditions géochimiques particulières.

C'est le cas du groupe 5 qui, bien que ne comprenant que 2 stations échantillonnées chacune 5 fois, a une flore très spécifique d'eau très faiblement minéralisée et acides (notamment, on retrouve plusieurs espèces d'*Eunotia* dont certaines sous numéros, genre typique d'eaux acides partout dans le monde et notamment très représenté en Guyane, des *Brachysira*...). Pour un si faible nombre de sites, la liste d'espèces typiques est plutôt très fournie, témoignant de la spécificité des milieux naturels concernés (eaux de lixiviats forestiers et de tourbières, assez chargées en carbone organique dissous d'origine naturelle).

Les assemblages 3, 6 et 7 sont caractéristiques d'eaux assez faiblement minéralisées de moyenne altitude. Aucun taxon du groupe 7 n'apparaît complètement typique de ce cluster et de lui seul. Ce groupe s'est diversifié assez tardivement du groupe 8 (au 6^{ème} niveau de coupe de l'AAH). Il occupe un secteur médian en haut de la SOM, ce qui témoigne de flores peu discriminantes. Il présente des conditions assez répandues à la Réunion qui doivent convenir à une assez large gamme d'espèces peu typiques que l'on peut trouver dans plusieurs clusters peu minéralisés.

Dans ces conditions hydrochimiques liées au substratum volcanique et largement répandues à la Réunion, il se confirme que le groupe 6 est celui qui présente un signal d'enrichissement trophique et de pollution diffuse le plus net, bien que modéré (présence de quelques espèces signant des altérations anthropiques non négligeables, comme *Eolimna minima*, des espèces du genre *Gomphonema* sous numéro...).

L'assemblage du cluster 4 présente des espèces connues en métropole dans les milieux carbonatés de moyenne altitude et de bonne qualité, ce qui est logique (par exemple, eaux du bassin de la Rivière du Mât et du cirque de Cilaos sous influence de roches métamorphiques carbonatées et de quelques sources thermales). On y trouve notamment CAEX (*Cymbella excisa* var. *excisa*), NFON (*Nitzschia fonticola*) et DVUL (*Diatoma vulgaris*). D'une géochimie assez proche (eaux bien dotées de calcium, même si un peu moins carbonatées que le Cluster 4), il devrait en être de même pour le Cluster 8, mais il n'y a pas de recul suffisant sur l'écologie des 3 espèces ressortant comme typiques (identification à confirmer pour 2 d'entre elles). Dans les espèces de ce cluster, on devrait repérer des espèces plus tolérantes aux élévations de température que celles du cluster 4, dont les flores peuvent pour leur part faire des entrées dans les cours d'eau typiques de l'Ouest en période hivernale (espèces aimant les eaux plus fraîches, à hydrochimie carbonatée relativement comparable).

Les quelques considérations et interprétations ci-dessus visaient plutôt à appréhender les préférences écologiques au niveau intégré des flores composites des clusters, même s'il a été repéré quelques spécificités d'espèces-types déjà connues en métropole pour aider à caractériser l'écologie de ces groupes.

4-5) Visualisation de la distribution des espèces diatomiques, vérification de l'affectation d'espèces-types à des groupes :

La carte auto-organisatrice présentée en Figure 12 peut être mobilisée aussi pour vérifier le statut et la distribution des espèces de diatomées présentes à la Réunion, ainsi que pour comprendre leurs préférences écologiques. Ainsi, la projection de la densité d'une espèce donnée dans les unités virtuelles permet de visualiser rapidement le comportement ubiquiste ou au contraire spécialisé d'espèces diatomiques, et notamment de vérifier le statut d'espèces typiques d'un cluster donné (se reporter au Tableau 4 en page précédente).

Quelques profils de distribution typiques d'espèces relativement ubiquistes dans le contexte de la Réunion sont présentés en Figure 17 page suivante.

On peut y voir que toutes les espèces présentées sont peu spécialisées et adaptables à des conditions écologiques variées, comme le prouve leur distribution couvrant assez largement la carte. La densité de gris s'amplifie avec la probabilité de présence de l'espèce, illustrant la plus forte abondance relative dans les hexagones les plus foncés.

Ainsi, on peut vérifier la forte abondance relative moyenne de CEUG (espèce la plus abondante à la Réunion avec plus de 32 % d'abondance relative moyenne), d'EOMI et de RHIR, dont les cartes sont globalement les plus foncées.

FVAU, NLAL, NAMP, RABB, SSEM sont également des espèces assez ubiquistes (distribuées largement sur la carte), mais avec une probabilité de présence dans les relevés plus basse que les 3 espèces précédentes (espèces moins occurrentes et moins abondantes en moyenne à la Réunion).

D'une manière générale, les espèces avec une distribution relativement ubiquiste telle qu'illustrée en Figure 17 ne sont pas caractéristiques de conditions écologiques naturelles ou d'altération très typiques, et leur message en bio-indication est relativement flouté, contrairement à des espèces ayant des préférences écologiques plus précises.

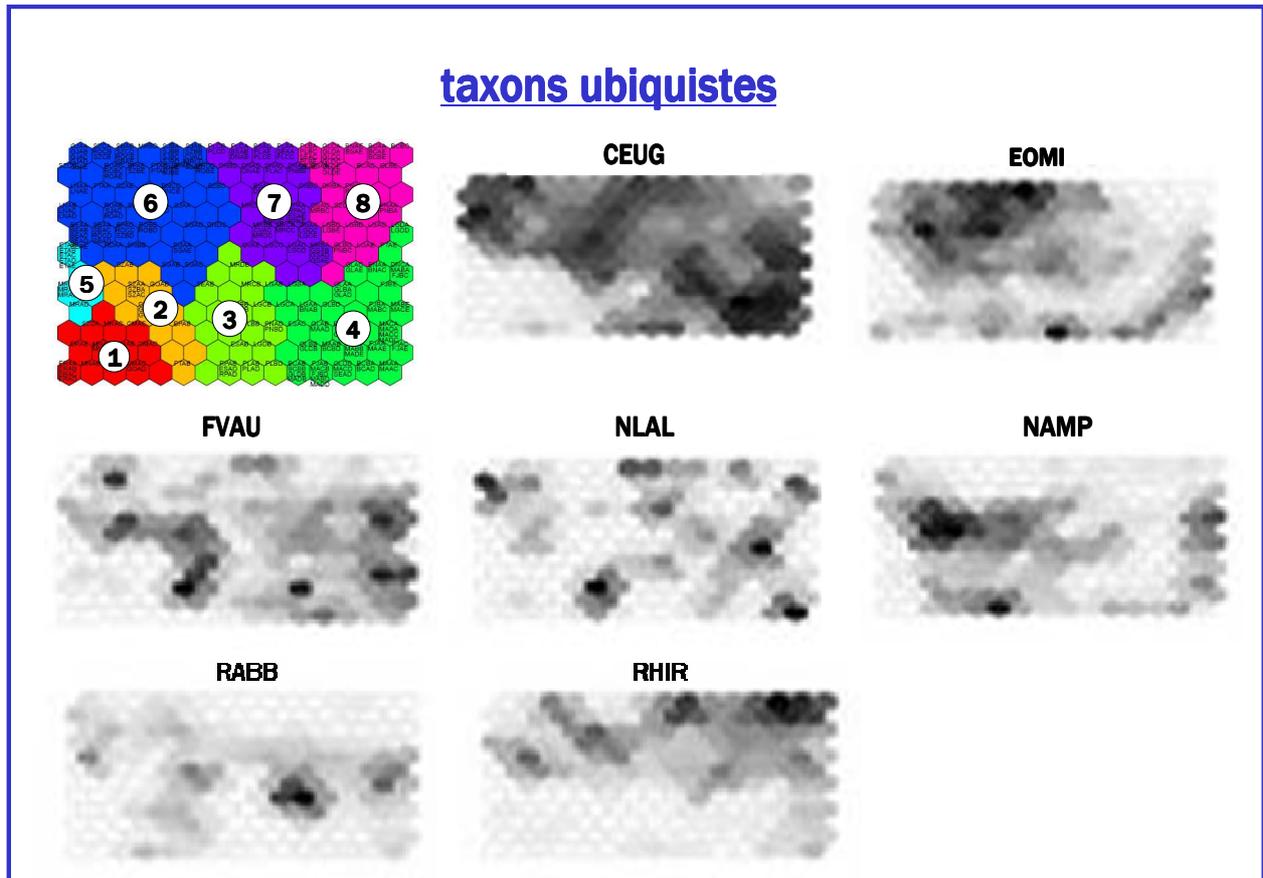


Figure 17 : Profils de distribution de certains taxons ubiquistes dans la SOM

Les Figures 18, 19 et 20 pages suivantes illustrent le rattachement de quelques taxons typiques à des groupes diatomiques précis, en suivant la logique de gradient de minéralisation, de température et de pollution de l'eau croissantes adoptée dans le Tableau 5 page 52 (tableau récapitulatif des caractéristiques principales des biotypes diatomiques et liste résumée de leurs taxons typiques).

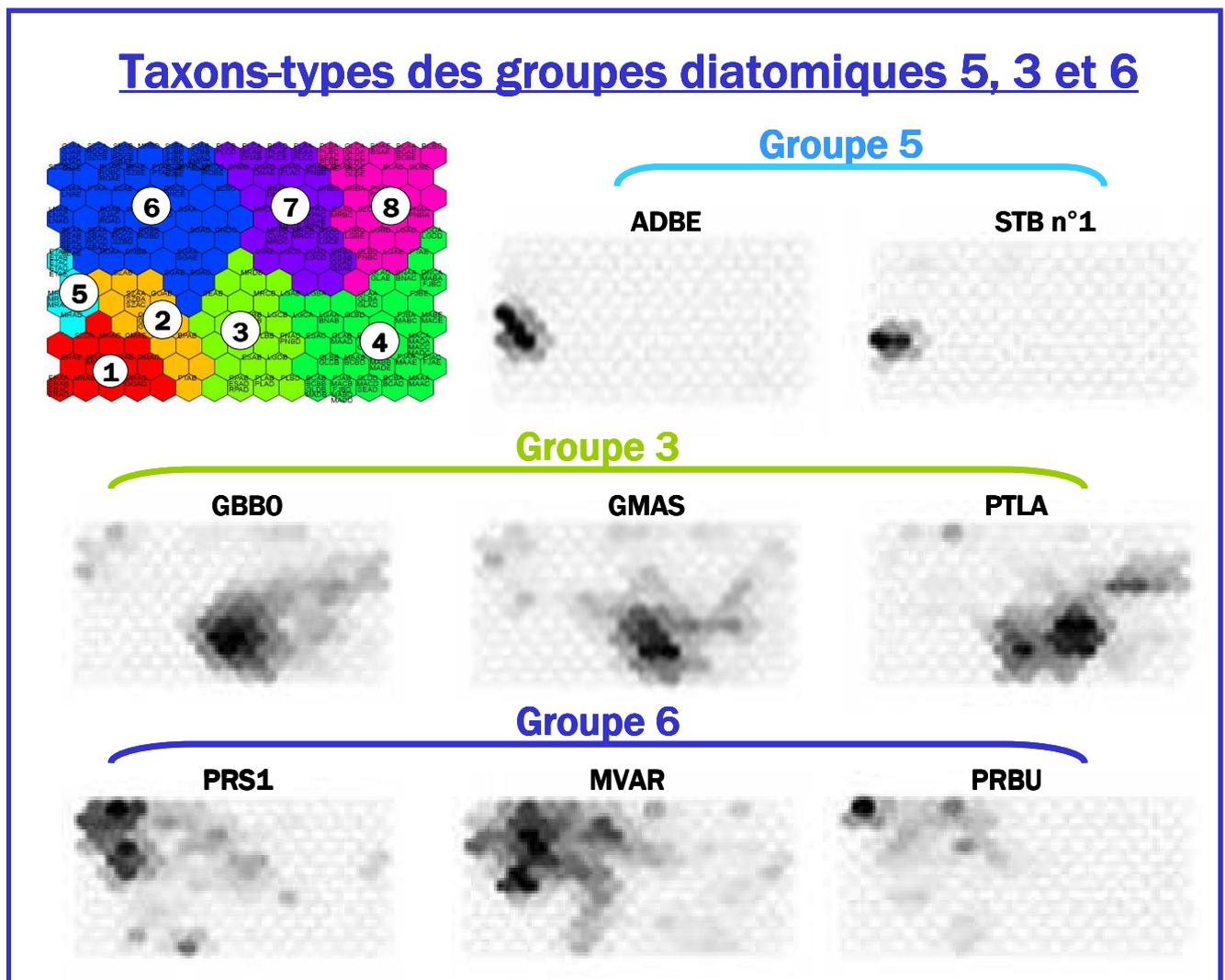
La SOM de référence (Figure 12) est reportée en haut à gauche de chaque figure pour localisation plus aisée des clusters concernés.

Sont figurés 2 taxons typiques du Groupe 5 correspondant aux eaux les plus acides et les moins minéralisées de la Réunion (*Achnantheidium bebourensis* ou ADBE, espèce nouvelle, et *Stenosterobia sp. n°1* ou STB n°1), sachant qu'il existe plusieurs autres taxons absolument typiques de ces conditions très particulières, qu'on pourrait qualifier de cortège acidobionte.

Les taxons du Groupe 3 (*Geissleria bourbonense* ou GBBO, *Geissleria mascarenensis* ou GMAS, ou *Planothidium lanceolatum* ou PTLA) sont représentatifs d'eaux faiblement minéralisées sur substrat volcanique et d'eaux plutôt fraîches.

Le Groupe 7, situé dans les mêmes gammes de conditions hydrochimiques mais plus associé à l'été austral ou aux basses altitudes (assemblages un peu plus thermophiles) a des assemblages moins spécifiques ou typiques et l'Indval n'a pas permis de lui associer de taxons qui ne soient typiques que de lui (taxons souvent communs au Groupe 6, au Groupe 7 qui occupe une position intermédiaire et médiane sur la carte, et au Groupe 3).

Situé dans le même groupe de conditions hydrochimiques générales, le Groupe 6 serait un peu plus soumis à des pollutions diffuses avec de légers enrichissements en carbone organique dissous (espèces un peu plus saprobes que pour les 2 clusters précédents) et en nitrates. Les 3 espèces illustrées sont *Planothidium rostratum* forme 1 (PRS1), *Melosira varians* ou MVAR, *Planothidium robustius* ou PRBU. On voit qu'il leur arrive de déborder sur l'aire d'extension du Groupe 7 et aussi, pour MVAR, assez nettement sur celle du Groupe 3, confirmant les assez faibles différences de conditions abiotiques pour la typologie de ces 3 clusters.



*Figure 18 : Profils de distribution de certains taxons typiques de groupes diatomiques :
biotypes d'eaux peu minéralisées*

La Figure 19 page suivante présente quelques taxons-types des groupes diatomiques 4 et 8, représentatifs de conditions carbonatées.

Le Groupe 4, caractérisé par des eaux sous influence directe de roches métamorphiques carbonatées et de sources thermales, présente des préférences géochimiques proches de celles du Groupe 8. Cependant ses taxons sont plus amateurs d'eaux fraîches et, si ce biotype se maintient toute l'année en zone Est (bassin hydrographique de la Rivière du Mât), il ne fait des incursions sur la partie Ouest de l'île qu'en saison d'hiver austral. Les taxons caractéristiques présentés en exemples sont *Nitzschia abbreviata* ou NZAB, *Cymbella excisa var. excisa* ou CAEX, *Diatoma vulgare* ou DVUL, *Nitzschia fonticola* ou NFON.

Les taxons du Groupe 8 présentent des affinités pour des substrats carbonatés assez similaires à celles du Groupe 4, les différences d'espèces pouvant être dues à des eaux légèrement plus diluées à la saison des pluies (conductivité moyenne de 200 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour 220-250 pour le cluster 4) et surtout à des affinités plus thermophiles des taxons typiques que pour ceux du Groupe 4. Ce biotype fréquente la moitié Ouest de l'île et les zones de transition climatique à l'approche de l'été austral. Les espèces caractéristiques présentées sont *Nitzschia tropica* ou NTRO, *Rhopalodia hirundiniformis* ou RHIR, *Navicula capitatoradiata* ou NCPR.

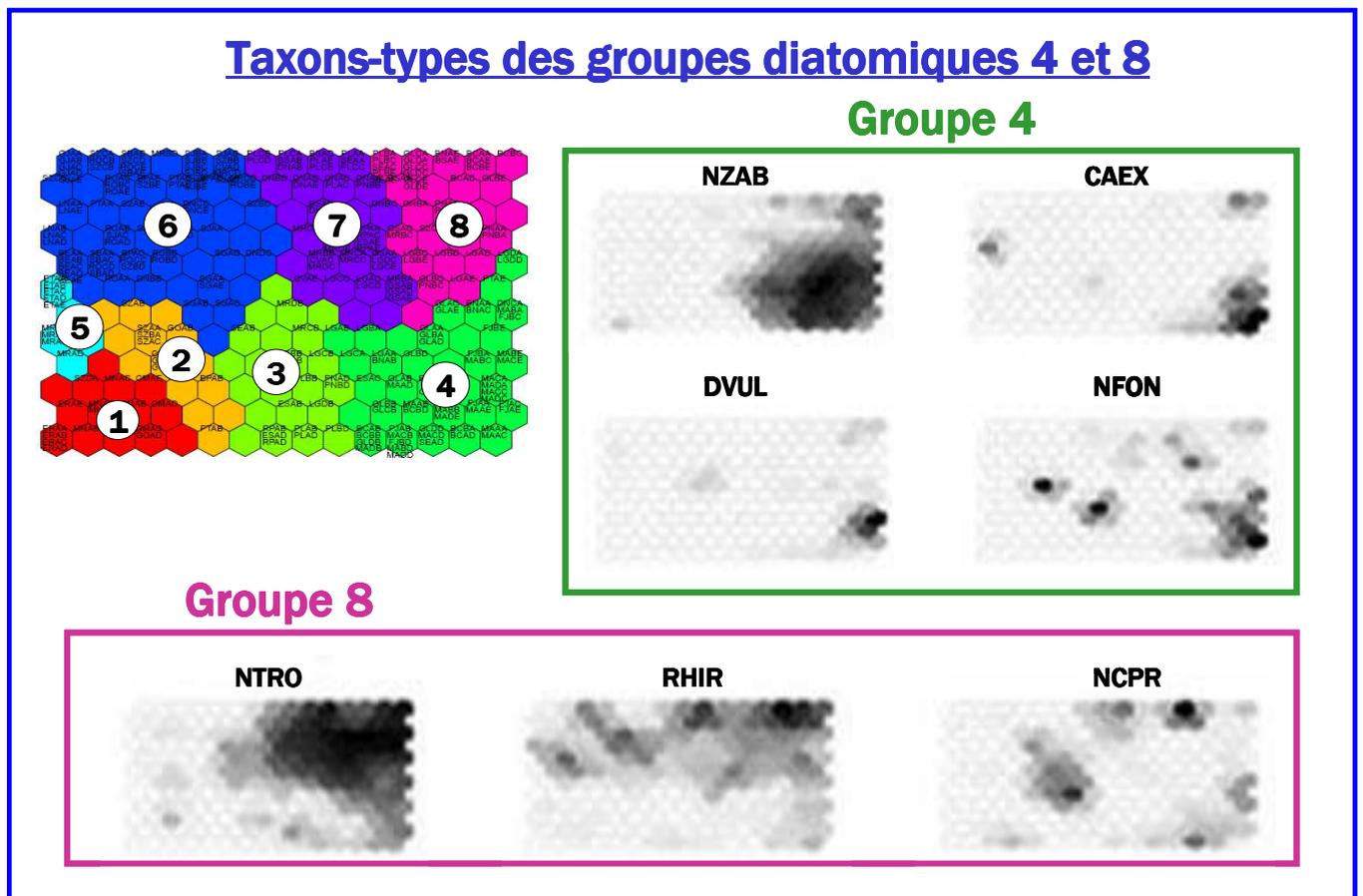


Figure 19 : Profils de distribution de certains taxons typiques de groupes diatomiques : biotypes d'eaux naturellement carbonatées

La Figure 20 en page suivante présente les 2 groupes diatomiques les plus tolérants aux altérations anthropiques que l'on peut trouver à la Réunion.

Le Cluster 2 est trouvé à basse altitude dans des sites sous influence de pollutions diffuses à l'aval de bassins versants, en eaux assez fortement conductives et carbonatées (conductivités de l'ordre de 350 à 450 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Il y a un enrichissement trophique matérialisé par du COD et surtout des teneurs en nitrates plus élevées que la moyenne à la Réunion. Les profils présentés correspondent à *Gomphonema lagenula* ou GLGN, *Nitzschia Bourbonensis* ou NZBO et *Nitzschia palea* ou NPAL.

Le Groupe 1 correspond indiscutablement au cortège d'espèces les plus tolérantes à l'altération anthropique. Il correspond aux sites sous forte altération par des équipements collectifs du type STEPs (de l'Ermitage, de la Ravine du Cimetière), usine sucrière (le Gol), de fortes pollutions domestiques (ravine du Maniron). De plus, des entrées halines à ces stations bordant le littoral amènent un cortège de taxons d'origine marine qui ne sont cependant pas pris en compte dans la mise au point de l'indice (il s'agit d'un gradient naturel dans ce cas).

Les taxons dont les profils sont présentés sont *Achnanthydium exiguum* ou ADEG, *Cyclotella meneghiniana* ou CMEN, *Mayamaea permitis* ou MAPE, *Navicula veneta* ou NVEN, *Nitzschia umbonata* ou NUMB.

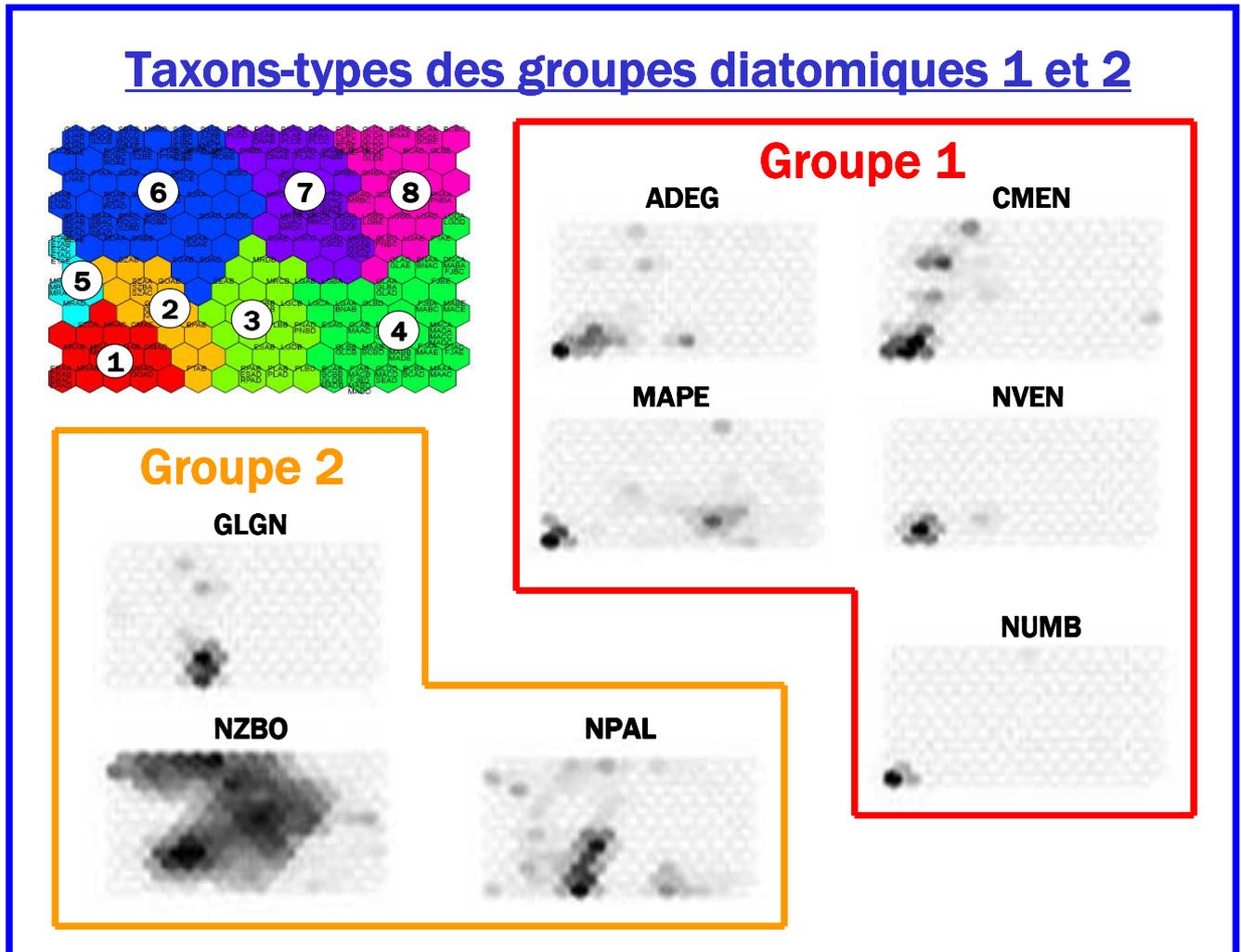


Figure 20 : Profils de distribution de certains taxons typiques de groupes diatomiques : biotypes typiques d'altérations anthropiques

Il est possible d'entrer plus en détail dans l'écologie des espèces structurantes présentes à la Réunion et dans l'indice en se référant au guide taxonomique produit dans le cadre de la même étude par Gassiole et al 2011. En effet, l'écologie de chaque espèce suffisamment présente pour avoir pu en définir l'écologie et l'intégrer à l'indice a fait l'objet de fiches-taxons incluses dans le guide iconographique Réunion, auxquelles il sera possible de se référer pour retrouver les préférences écologiques détaillées de chaque espèce qui a été retrouvée à plus de 5 % dans au moins un relevé (présentation de séries de box-plots sur les principaux descripteurs environnementaux abiotiques correspondant à la présence de l'espèce).

Les profils SOM des 343 espèces trouvées à la Réunion ont été intégralement reportés dans l'**Annexe 4** du présent rapport, et peuvent renseigner de façon résumée sur leurs préférences écologiques voire, lorsque celles-ci sont précises, sur leur groupe diatomique de prédilection par référence à la carte SOM de la Figure 12. Outre les quelques figures présentant des profils SOM caractéristiques donnés à titre d'exemples (Figures 17 page 47 à 20 page 50), on peut aussi consulter plus spécifiquement l'Annexe 4 pour y retrouver (classement par ordre alphabétique) les profils SOM des espèces emblématiques des groupes diatomiques décrits dans ce rapport et rattachées de façon statistiquement significative à l'un d'entre eux (listes d'espèces par groupe du Tableau 4 page 45).

4-6) Autres essais d'approches biotypologiques réalisés :

D'autres tentatives de biotypologie ont été tentées afin de voir s'il était possible d'améliorer encore la biotypologie proposée au chapitre 5-1 (SOM de 180 cellules présentée en Figure 12).

Les essais ont été orientés dans 2 directions :

- 1) Sélectionner un peu plus les espèces prises en compte sur une occurrence et une abondance relative-seuil : un essai de seuillage supprimant environ 45 taxons ayant une seule occurrence et un effectif de 1 individu (espèces présentes mais rares, donc peu informatives) a été réalisé et n'apportait pas, en premier examen, de plus-value visible sur une nouvelle carte de 180 cellules.

- 2) Sélectionner des flores saisonnières pour réaliser l'apprentissage : un essai a été fait avec les seules flores des 3 campagnes "été austral", sur une carte plus petite (120 unités virtuelles). Un découpage de l'arbre à différents niveaux de coupe (de 4 à 9) a été fait, la projection des clusters sur ces 6 cartes successives aussi. La séparation des groupes a perdu en signification écologique. Cette carte débouchait notamment sur un résultat surprenant difficile à comprendre sur le plan écologique (sites d'eaux les plus déminéralisées de la Réunion, type Rivière des Marsouins à Bébour ou Ravine de l'Etang en amont du grand Etang, se retrouvant dans le même groupe que des sites fortement conductifs, pollués et éventuellement halins, type Ravine de l'Ermitage, Ravine du Maniron, ravine du Cimetière à St Paul). Ce problème, que l'on n'a pas eu le temps de diagnostiquer à fond, pourrait être dû à une diminution des gradients internes du jeu de données se révélant gênante pour l'apprentissage (la réduction de 2/5èmes du nombre de relevés affaiblissant très sensiblement le référentiel en quantité et en représentation de différents gradients, donc la qualité de l'apprentissage), ou peut-être à un problème dans la procédure d'apprentissage que l'on n'est pas encore parvenu à diagnostiquer.

La piste du seuillage est porteuse potentielle de plus-value vu le nombre d'espèces faiblement à très faiblement représentées dans le jeu de données biologiques de la Réunion. Elle pourrait être tentée à nouveau avec un niveau de seuillage à ajuster finement (plusieurs essais à réaliser) pour parvenir à limiter le bruit de fond lié à des espèces insuffisamment occurrentes ou abondantes tout en veillant à ne pas perdre d'information structurante.

4-7) Bilan de cette biotypologie, conséquences opérationnelles

La biotypologie présentée dans les pages précédentes est consistante et intelligible sur le plan écologique. Elle nous a permis de mieux comprendre la distribution et la signification des flores typiques en fonction des conditions de milieu, ce qui était le but recherché.

Le Tableau 5 en page suivante propose un résumé sommaire de l'information permettant de comprendre l'écologie des 8 groupes diatomiques typiques repérés à la Réunion. Il est organisé verticalement selon une logique de forçage géochimique croissant et, lorsque possible, de gradient d'anthropisation croissant dans un même type géochimique.

Il donne les préférences abiotiques naturelles des groupes diatomiques considérés et quelques espèces-repères indicatrices de l'écologie dominante de chaque groupe (pour plus de détails, voir listes complètes des espèces typiques de groupes en Tableau 4 page 45).

Tableau 5 : Signalétique résumée des 8 biotypes diatomiques et de leur écologie

Groupe diatomique	Préférences abiotiques	Espèces-repères
5	Eaux très peu minéralisées (<50 µS/cm) et acides, d'altitude importante (800 à 1000m), COD d'origine naturelle (tourbières)	ADBE STB1 BBRE CRCR KBEB CDMN EMIN EEXI
3	Eaux peu minéralisées de substratum volcanique (<100 µS/cm), peu carbonatées, altitude moyenne (150 à 300 m). cortèges plutôt d'eaux fraîches (hiver austral)	GBBO GMAS NSN2 PTLA SSEM
7	Eaux peu minéralisées de substratum volcanique (<100 µS/cm), peu carbonatées, altitude moyenne (150 à 300 m). Conditions proches du 3, mais cortèges plutôt thermophiles (été austral)	Néant
6	Conditions proches des clusters 7 et 3 : Eaux peu minéralisées de substratum volcanique (<100 µS/cm), peu carbonatées, altitude moyenne (150 à 300 m), mais flores un peu dégradées par des pollutions diffuses et organiques modérées	PRS1 MVAR PRBU AMUS EOMI ARPT
4	Eaux de conductivités moyennes (200 à 250 µS/cm), sous influence de roches carbonatées et de sources thermales, bien dotées en calcium et en carbonates altitudes moyennes (400 à 600 m). Conditions proches du groupe 8, mais cortèges plutôt d'eaux fraîches (Côte Est, incursions à l'Ouest en hiver austral).	NZAB CAEX CEUG DVUL NFON NDIS
8	Eaux moyennement minéralisées (environ 200 µS/cm) sous influence de roches carbonatées, altitudes moyennes (350-450 m), flores plutôt thermophiles	NTRO RHIR NCPR
2	Eaux fortement minéralisées (conductivités entre 250 et plus de 500 µS/cm), mais pas d'influence haline naturelle. Fortes teneurs en calcium, faible altitude moyenne (< 50m), altération organique modérée mais fort enrichissement en azote inorganique, notamment nitrates	GLGN NZBO NPAL DPST AINF GDEC
1	Conductivité élevée (moyenne > 1000 µS/cm) + épisodes halins naturels. Eaux alcalines, calcaires, très carbonatées. Faible altitude moyenne (quelques m). Groupe sous la plus forte influence anthropique, pollutions composites importantes (C. Org., formes de l'azote, PO4...).	ADEG NCXM CMEN GPAS MAPE DPUE NMIC NUMB

La trame HER proposée en 2004 par *Wasson et al* permet de classifier correctement le **zonage géochimique-hydrochimique** et de prendre partiellement en compte le **contexte altitudinal** et les **grandes tendances hydrologiques** rencontrées à la Réunion.

Mais l'exercice de biotypologie qui précède montre que les critères participant à cette méthode de zonage, s'ils sont fondés et structurants, **ne sont pas suffisants** pour assurer une composition comparable des assemblages diatomiques à l'intérieur d'une même HER.

Dans un contexte de climats aussi contrastés qu'entre Côte Est et Ouest de la Réunion, il apparaît que les flores diatomiques naturelles sont aussi structurées très sensiblement par le **forçage thermique**, qui peut entraîner **des inversions saisonnières de flores au même groupe de sites**, ou **rendre un assemblage typique d'une HER compétitif aussi dans une autre HER à une saison différente** (on en a présenté un ou deux exemples clairs en Figure 16, il y en a d'autres si l'on compare 2 à 2 les assemblages diatomiques d'autres campagnes).

En outre, certains cours d'eau comme la Rivière Langevin subissent des variations d'assemblages plus versatiles et pas seulement sur un mode saisonnier (conditions probablement plus variables d'une année à l'autre dans les zones de transition climatique sud et Nord de l'île). Il n'est donc pas aisé *a priori* de fixer des flores et des notes d'indice de référence dans des zones où de tels changements saisonniers importants se produisent.

Enfin, en y regardant de plus près, dans une **même entité HER** définie par (Wasson et al, 2004) peuvent co-exister **différents types de flores selon les bassins** hydrographiques (cours d'eau principaux + affluents). La spécificité pourrait cette fois être **d'origine biogéographique**, avec des peuplements bien caractéristiques de bassins donnés qui peuvent différer de ceux d'autres bassins rattachés à la même HER. Nous manquons encore de recul temporel pour apprécier si ces différences sont des constantes (auquel cas c'est peut-être l'isolement relatif des bassins par des reliefs importants et des particularités historiques d'introduction et de colonisation d'espèces bien caractéristiques qui seraient en jeu) ou si ce sont des forçages locaux qui entraînent ces différences qui pourraient s'inverser au gré d'années climatiques particulières.

Quoi qu'il en soit, outre les forçages naturels de large échelle bien pris en compte dans l'établissement de la trame HER, il existe d'autres forçages abiotiques (notamment influence thermique saisonnière) et phénomènes biotiques (flores différentes) qui se surajoutent, ce qui rend plus compliquée la définition d'un niveau de référence adéquat par HER, comme cela a pu être fait en métropole. Au vu de ce qui précède, **l'HER n'est pas la maille géographique la plus évidente pour dériver un système d'EQRs permettant d'évaluer l'Etat Ecologique**, car elle englobe des hétérogénéités de peuplements, inter-bassins et même intra-site, du type "effet saisonnier", qui ont été bien mis en évidence.

Il serait envisageable de tenter de définir un niveau de référence **par entité hydrographique constituée** (exemples : Rivière du Mât et affluents, Rivière Langevin, Rivière St-Denis etc...). Cependant, si ce système pourrait *a priori* marcher en côte Est, qui présente un régime d'influences climatiques moins contrasté et des flores visiblement plus stables, il est à redouter qu'il donne des résultats beaucoup plus instables notamment sur les cours d'eau implantés en zone Ouest et en zones de transition climatique, soumises à un contraste saisonnier plus important qu'ailleurs. Dans ces conditions, il est important de concevoir d'emblée un indice procurant une notation stabilisée en la reliant le plus possible à l'altération anthropique tout en la rendant la plus indépendante possible des gradients de variation naturelle, y compris cette variation saisonnière de forte influence à la Réunion. Le système d'EQRs sera donc discuté et adopté après la prise de recul nécessaire et dans le compromis le plus satisfaisant, en concertation directe avec les décideurs et opérateurs locaux.

5) ANALYSE EXPLORATOIRE DES DONNEES ABIOTIQUES (ACP)

5-1) Objectifs de l'analyse, spécificités liées au cas d'étude et particularités de mise en œuvre :

Sur la base de données abiotiques de l'étude (269 relevés, 20 descripteurs physico-chimiques et chimiques), dont les lacunes avaient au préalable été complétées comme indiqué au Chap 2-1-5, une analyse exploratoire des données environnementales abiotiques a été réalisée afin d'examiner les gradients présents, l'auto-corrélation des variables et les caractéristiques respectives de structuration du jeu de données exercées par les facteurs naturels d'une part, par les facteurs anthropiques d'autre part.

Une investigation grossière menée sur la base de fichiers de chimie de l'OLE pour débiter l'analyse avait déjà permis :

- d'examiner des variables présentant un intérêt limité et au référentiel trop lacunaire,
- de repérer des variables très auto-corrélées et fortement redondantes (par exemple Ca et Mg, Na et Cl etc...), sur lesquelles il était possible de faire une sélection sans perdre d'information structurante,
- de voir enfin comment il était possible d'intégrer certaines variables décrivant une partie d'un gradient pour les intégrer en une seule variable plus synthétique (par exemple, CO₃ et HCO₃ regroupée en carbonates totaux).

Le type d'analyse exploratoire qui a été réalisé sur ces données abiotiques est une ACP (Analyse en Composantes Principales). Il était important dans ce premier stade de bien repérer de quelle façon relative les variables naturelles et les variables d'anthropisation s'organisaient dans ce milieu spécifique. L'objectif était d'étudier la façon dont les facteurs de forçage naturels et anthropiques répartissaient leur influence sur les différents axes de l'analyse ; le but à atteindre étant, en fonction des caractéristiques de ces forçages, de trouver la méthode adéquate pour **s'appuyer sur les gradients anthropiques servant de base à la construction de l'indice tout en réussissant à isoler le plus complètement possible l'effet des variations naturelles**. En effet, l'étude de la biotypologie a montré que le zonage HER ne garantissait pas la stabilité des assemblages diatomiques en son sein et qu'il ne sera pas facile d'adopter une trame basée sur des biotypes de référence qui reste stable toute l'année, quelle qu'en soit l'assise (HER ou bassins hydrographiques individualisés), en fonction du fort effet saisonnier. Dans ces conditions, un enjeu assez important serait de produire un indice centré sur l'altération anthropique dont les notes soient peu impactées par les variations naturelles, afin de pouvoir utiliser ces notes directes pour l'évaluation d'état

Une grosse difficulté liée à ce jeu de données, soulignée dès le départ de l'étude, est qu'il est déséquilibré dans la représentation des gradients d'effets anthropiques. En effet, une large majorité des sites d'étude se situent en conditions de référence ou de très bonne qualité. Quelques stations manifestent des symptômes faibles à modérés d'altération anthropique plutôt liés à des pollutions diffuses. Il y a un manque accusé de sites avec altérations moyennes (état médiocre à limite de bon état. Enfin, un faible nombre de stations et de relevés présentent un fort impact, le plus souvent lié à une altération plutôt spécialisée d'infrastructure particulière (pollution domestique par STEP à la Ravine de l'Ermitage et à la Ravine du Cimetière de St Paul, pollution domestique diffuse à la Ravine du Maniron, pollution plus de type IAA au Gol) avec surimposition d'influence haline littorale difficile à isoler des effets en propre de l'altération. Dans un tel contexte, il y a un grand nombre de sites situés au centre de gravité du nuage, proches de l'origine et avec des gradients faibles, et un faible nombre de points très décentrés mais aussi très spécialisés qui tirent exagérément les vecteurs de composantes principales dans une direction particulière qui correspond au cas d'espèce de cette altération, mais pas forcément à une moyenne de gradients anthropiques représentative de l'île de la Réunion.

Malgré les demandes dans ce sens d'Asconit et du Cemagref-Irstea, il n'a malheureusement pas été possible d'aller échantillonner hors réseaux des situations spéciales, même éventuellement très ponctuelles, afin de renforcer la diversité des altérations et des espèces représentatives par des couples "relevé biologique-chimie correspondante".

Par rapport à l'effort de travail réalisé au cours de cette étude, cette tentative de diversification des cas aurait été relativement marginale en accroissement d'effort de travail (à l'optimum, 15-20 sites-dates en plus par rapport aux 271 réalisés, soit 5 à 7,5%) mais auraient apporté des compléments d'information très utiles. Cependant, des analyses surnuméraires n'étaient pas prévues dans les marchés et auraient été difficiles à absorber dans le plan de charge du laboratoire de chimie prestataire.

Cet état de fait, dont il faut malgré tout s'accommoder au mieux pour déboucher sur un indice efficient, a entraîné 2 conséquences pratiques dans notre construction de démarche :

1) Il a été nécessaire d'effectuer une **transformation particulière des données** (transformation Box-Cox) pour ré-équilibrer les profils de distribution des paramètres environnementaux. En effet (voir Figure 21 ci-dessous), les profils de box-plots des variables naturelles (exemples : P. Tot., Cl, TAC), reportés dans la partie gauche de chaque doublet, étaient très déséquilibrés avec une boîte à moustaches de dispersion quasi-nulle à proximité de l'origine et une série d'outliers (valeurs statistiquement exceptionnelles par rapport à la distribution du reste des valeurs du paramètre) très largement distribués. La conséquence est que les plus forts outliers présentent une inertie plus importante que toute la boîte à moustache et vont tirer fortement le vecteur de composante principale correspondant. La transformation Box-Cox (partie droite de chaque doublet) permet d'auto-centrer et de rééquilibrer le profil de distribution de la variable, ce qui limite un peu les inconvénients de ce déséquilibre. Mais ça reste un pis-aller qui ne compensera pas de façon fidèle des données complémentaires ciblées qui n'ont pas été accessibles. D'autre part, cette pratique distord l'échelle quantitative relative de chaque variable, avec des conséquences inter-variables dont l'effet est difficile à préjuger sur la représentation fidèle de l'intensité d'anthropisation.

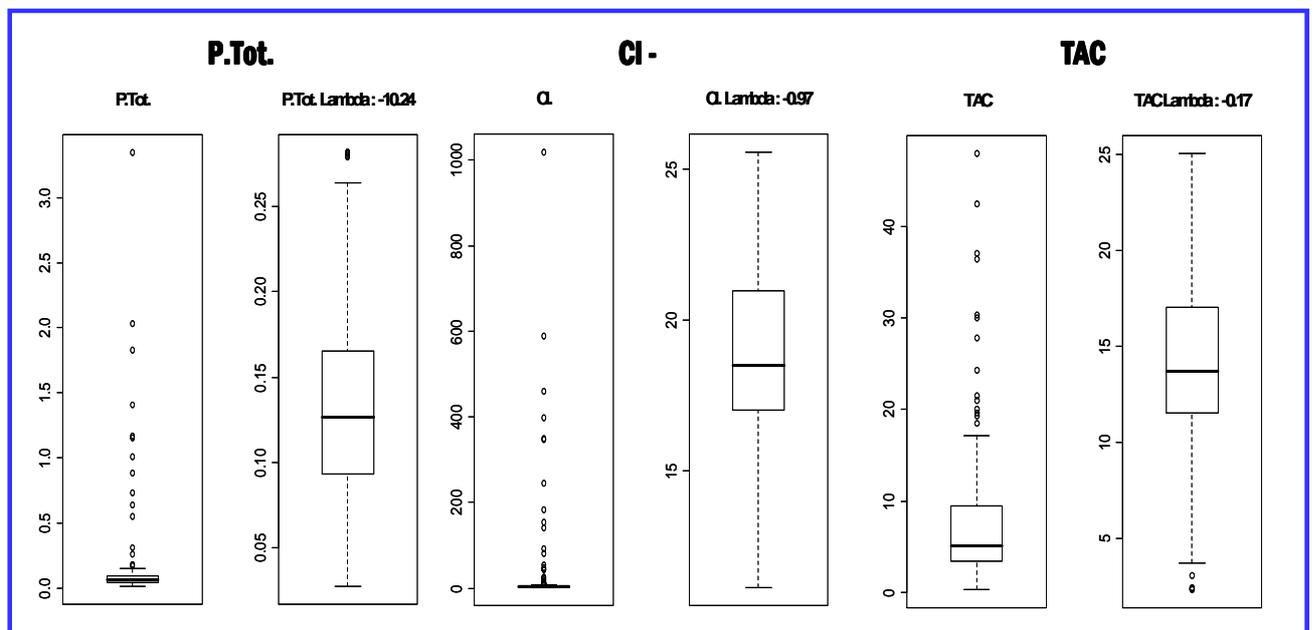


Figure 21 : Effet de la transformation Box-Cox appliquée à des variables abiotiques très déséquilibrées

L'effet de cette pratique corrective sur le résultat de l'ACP des paramètres abiotiques est illustré en Figure 22 page 56.

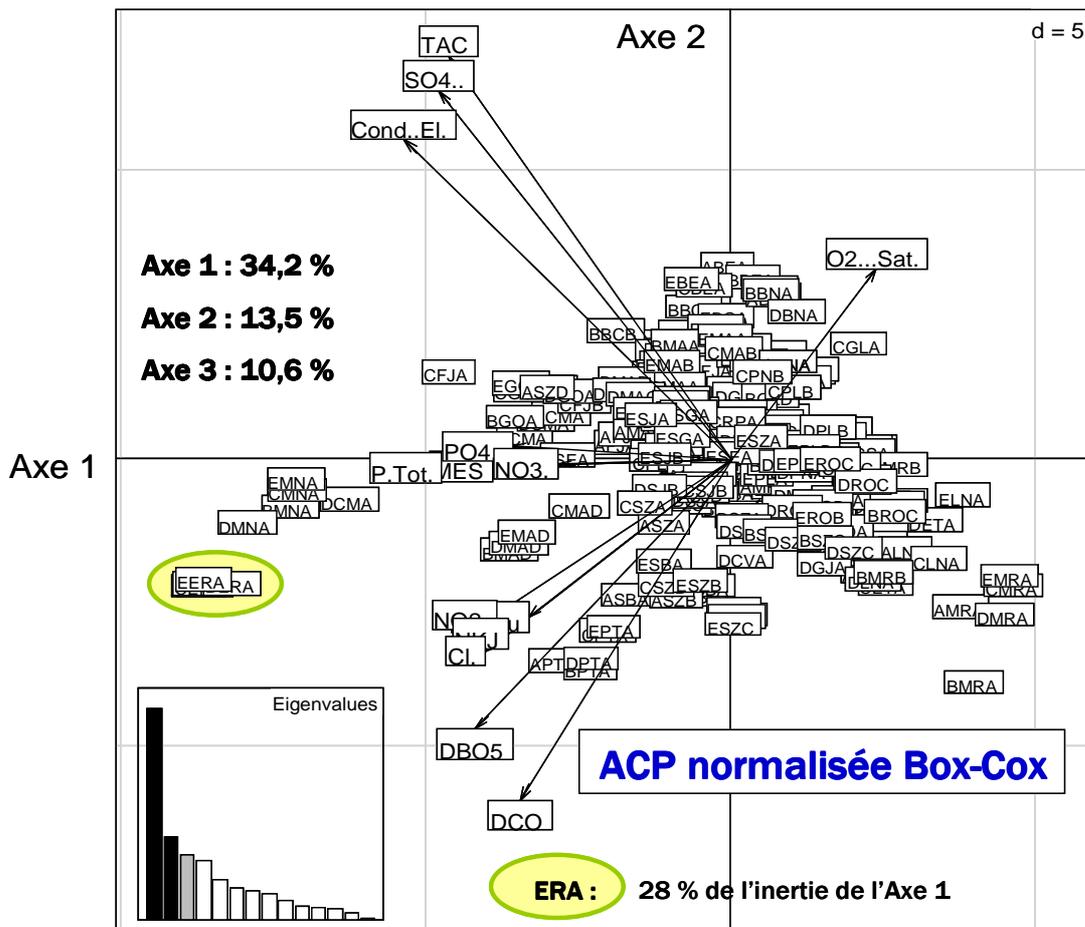
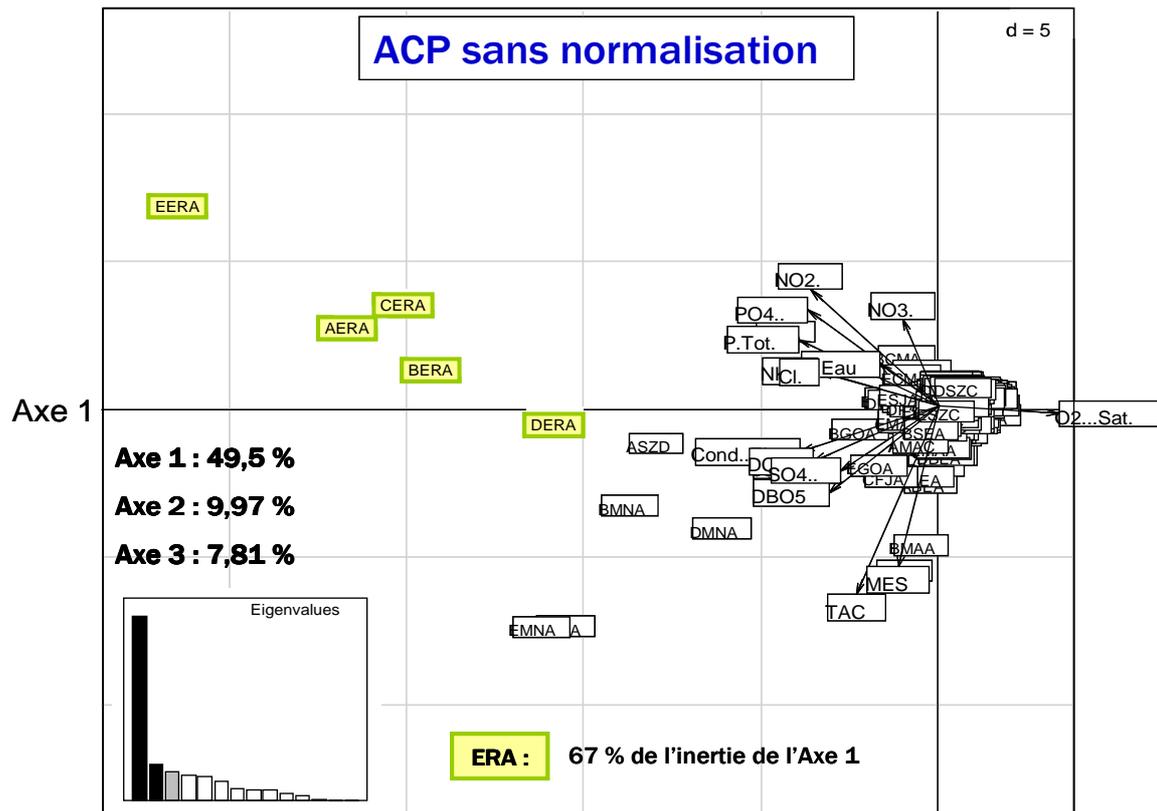


Figure 22 : ACP des variables abiotiques avec projection des sites-campagnes : Variables non transformées (en haut), variables normalisées "Box-Cox" (en bas)

En partie haute de la Figure 22 (page précédente) est présentée la sortie d'analyse ACP avec ses profils de variables déséquilibrés comme illustré en Figure 21 (Box-Plots de gauche, avant réalisation de la transformation Box-Cox). Chaque variable se voit affecter une pondération identique. La projection des sites-campagnes dans l'espace des données abiotiques montre que les 5 campagnes d'échantillonnage d'eau pratiquées sur la stations ERA (Ravine de l'Ermitage, très polluée et sous influence haline naturelle) se situent dans une position très éloignée de l'origine, et dans une proportion démesurée par rapport aux vecteurs de composantes principales des variables. Les vignettes des 5 campagnes correspondant au site ERA ont été surlignées en jaune pour une meilleure visualisation. On peut donc statuer sur le fait que les campagnes menées à ce site étirent très exagérément le nuage au long de l'axe 1 (vers la gauche).

La conséquence opérationnelle gênante est que, malgré son statut atypique mêlant altération périurbaine, rejet de STEP et influence haline naturelle, ce site pèse exagérément sur toute l'analyse, contribuant pour 67 % du poids de l'axe 1, lui-même déjà très dominant (porteur de 49,5 % de l'inertie totale de l'analyse). Deux autres sites tout aussi particuliers arrivent juste derrière, le site Ste Suzanne aval (SZD) lui aussi indéniablement sous impact halin et la Ravine du Maniron (MNA), très polluée et où les influences halines sont possibles sur certains épisodes.

La partie basse de la Figure 22 montre la physionomie globale de la sortie d'ACP après la transformation Box-Cox des variables abiotiques. L'analyse est plus équilibrée, le nuage central plus étiré et le positionnement des sites, y compris ERA, est plus en accord avec le niveau d'inertie porté par les vecteurs de composantes principales. Les 5 sites sont superposés donc seulement partiellement visibles, mais tous inclus dans l'aire de l'ellipse jaune. On voit aussi sur la vignette des Eigenvalues que l'axe 1 est moins dominant que dans l'analyse précédente, les 2 axes suivants dépassant les 10 % de contribution à l'inertie totale de l'analyse. De même, l'influence structurante du site ERA est encore forte mais se cantonne à 28 % du poids porté par l'axe 1 (contre 67 % auparavant), dont la contribution à l'explication totale de l'analyse s'est réduite de 49,5 % à 34,2 %.

L'ACP exploitée dans la suite du rapport est donc cette ACP dont les variables ont au préalable été normalisées Box-Cox.

2) Une deuxième conséquence importante du déséquilibre global du jeu de données, avec beaucoup de sites de très bonne qualité, très peu de valeurs moyennes de pression d'anthropisation et un faible nombre de sites très particuliers où un fort impact d'anthropisation vient se cumuler avec une influence haline naturelle, est que nous n'avons pas la matière suffisante pour représenter un gradient d'anthropisation progressif et distribué sur toute l'échelle des possibles. Un tel référentiel serait indispensable pour pouvoir positionner judicieusement toutes les espèces de l'indice en fonction de leurs préférences déduites du jeu de données et obtenir un système très graduel de notation.

Dans ces conditions, **nous avons donc choisi de travailler sur un jeu d'espèces sentinelles sélectionnées en fonction de leur affinité avec une forte pression d'altération**, dont l'apparition ou la présence installée dans un relevé est synonyme d'alarme sur l'état écologique du milieu.

5-2) Réalisation et interprétation des résultats de l'ACP :

Une sélection préalable ayant été faite en fonction des variables présentant d'importantes redondances, les descripteurs ayant été utilisés dans l'analyse ont été au nombre de 14.

Certains d'entre eux sont des descripteurs plutôt influencés par des conditions environnementales naturelles : **température de l'eau, conductivité électrique, teneur en chlorures, en sulfates, TAC**, qui présente de grosses redondances avec le pH, le calcium, les hydrogénocarbonates et les carbonates. Le TAC a été utilisé dans l'analyse comme variable intégrative de géochimie carbonatée.

En revanche, la relation ne peut pas se lire en sens inverse car avec des mêmes valeurs de TAC et plus encore avec la conductivité électrique, on pourrait avoir des compositions hydrochimiques très sensiblement différentes. Donc les valeurs unitaires de cations et d'anions contribuent à faire monter le TAC et la conductivité selon leur nature et leur concentration, mais les valeurs de conductivité et du TAC ne préjugent pas d'une composition hydrochimique précise de l'eau.

D'autres auto-corrélations, dont l'intensité est matérialisée par le code de couleur indiqué en Figure 23, bien que non négligeables, sont cependant plus faibles et non gênantes pour l'analyse. Certaines d'entre elles ont un sens particulier pour les forçages écologiques dans le contexte de la Réunion et peuvent faire l'objet des quelques commentaires suivants :

- La température est auto-corrélée positivement et fortement avec, par ordre décroissant, les chlorures, la teneur en MES, la conductivité électrique, la DBO5, le NKJ. C'est une réponse indirecte au gradient altitudinal, l'augmentation de température se faisant de l'amont vers l'aval avec une augmentation des pressions anthropiques (surfaces cultivées et érosion, minéralisation croissante de l'eau, notamment en polluants anthropiques, plus forte probabilité de subir des pollutions diffuses ou de STEP avec des rejets occasionnant de la demande en oxygène ou des teneurs en azote organique (NKJ). La relation avec les chlorures vient du fait que les sites sous influence haline littorale sont les plus à l'aval des bassins versants et le plus souvent en côte Ouest dans le cadre de ce réseau de sites, donc avec la température de l'eau statistiquement la plus élevée.

- La conductivité électrique est très influencée par des paramètres minéraux géochimiques (Cl-, SO4--, TAC), par les MES et le P Total (gradient amont-aval, liaison érosion et conductivité électrique de l'eau)

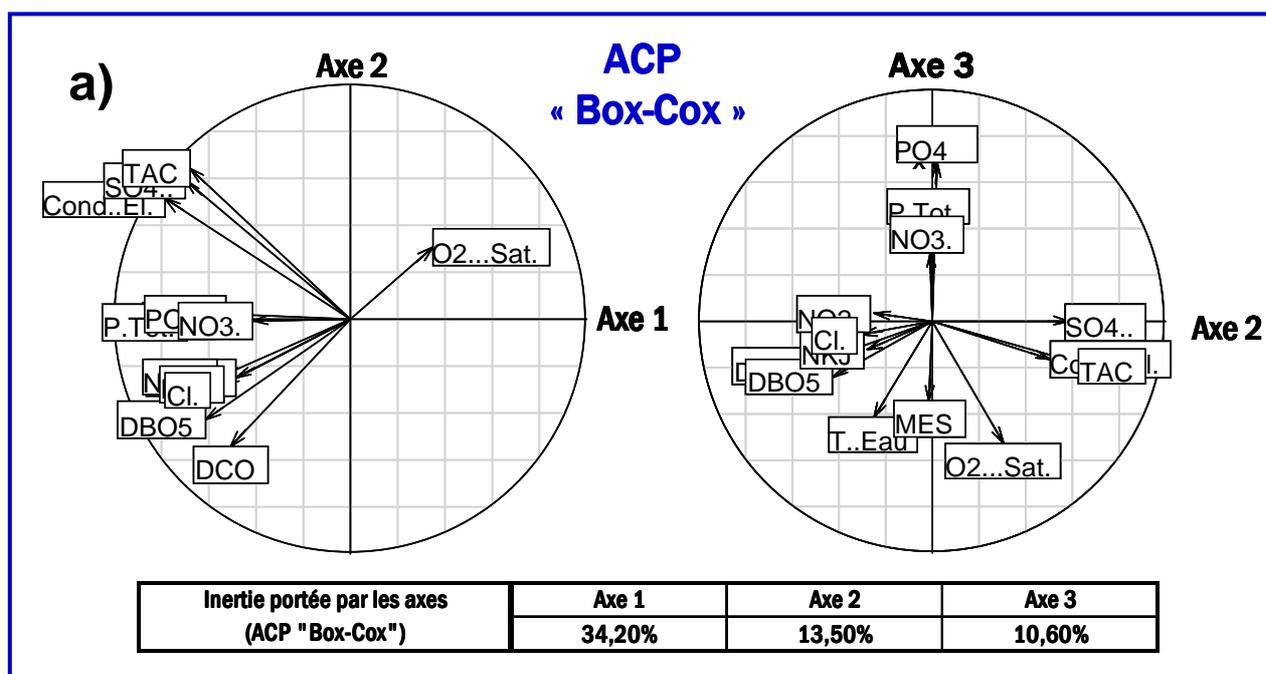
- La saturation en O2 chute avec l'augmentation des descripteurs attachés à des rejets eutrophisants domestiques, de STEP, d'élevages, des pollutions diffuses liées à de l'habitat diffus et aux cultures (P. Tot., PO4...) mais aussi avec les chlorures (les sites halins de ce réseau sont à basse altitude et pratiquement tous sous influence de rejets de STEP)

Il n'est pas utile de commenter plus dans le détail tout ce tableau croisé des corrélations de Pearson, mais il est possible globalement de voir que tous les paramètres en liaison avec l'érosion, les pollutions domestiques, les rejets de STEPs et d'IAA, les pollutions diffuses sont de moyennement (couleur bleue) à fortement autocorrélés (couleur rouge), les altérations anthropiques amenant souvent une élévation de plusieurs de ces descripteurs liés aux rejets et à la matérialisation de l'impact anthropique dans les analyses d'eau (MES, P.TOT, PO4, NKJ, NH4, NO2, DBO5, DCO, nitrates). La relation factuelle mais non déterministe de certains de ces descripteurs avec les chlorures vient du positionnement géographique particulier de 4 sites très pollués dans un voisinage très proche du littoral et sous influence haline.

5-2-2) Etude des composantes principales :

La Figure 24 page suivante permet d'illustrer les principaux résultats de cette ACP. Le croisement de l'Axe 1 et de l'Axe 2, même avec la transformation Box-Cox, illustre que toutes les variables apportent une contribution moyenne à importante sur l'Axe 1, qui porte 34,2 % de l'information structurante de l'analyse.

Ces résultats sont parfaitement clairs et intelligibles. La saturation en O2 varie dans un sens opposé à la température et à toutes les variables d'anthropisation, c'est-à-dire que l'augmentation des valeurs de ces variables (température, MES, DBO5 etc...) coïncide avec une baisse de la saturation en oxygène. Seules exceptions : les variables naturelles synonymes de signature du fonds géochimique (Cond. El., SO4, TAC) dont les vecteurs de composantes principales sont à peu près orthogonaux à ceux de la saturation en O2, donc presque sans effet statistique dessus. Sur le plan des conditions naturelles, la température augmente avec la baisse d'altitude, qui correspond aussi à une augmentation de toutes sortes de pressions anthropiques (de l'érosion à la présence de nutriments et de matière organique dans l'eau par pollutions diffuses agricoles, pollutions domestiques, rejets de STEPs...) Chacune de ces influences contribue à faire baisser la saturation en O2.



b)

	Contrib. variable sur Axe 1	Contrib. variable sur Axe 2	Contrib. variable sur Axe 3
T° Eau	4,97%	3,36%	11,41%
Cond. El.	12,93%	13,74%	1,76%
O2 Sat.	2,55%	4,89%	18,56%
MES	6,87%	0,01%	7,84%
P. Tot.	10,12%	0,01%	11,98%
DCO	5,40%	15,66%	2,49%
DBO5	7,91%	9,83%	3,83%
PO4--	5,76%	0,02%	32,24%
NO3-	3,63%	0,00%	6,28%
NO2-	6,60%	3,26%	0,10%
NKJ	6,01%	4,12%	0,96%
Cl.	7,27%	4,96%	0,19%
SO4--	10,32%	18,28%	0,00%
TAC	9,64%	21,85%	2,37%

Echelle d'interprétation :

	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Forte	$x > 7$	$> 17,7$	$> 22,6$
Moyenne	$7 > x > 5$	$> 12,7$	$> 16,1$
Faible	$x < 5$	$5 < x < 7$	$x > 7$

Figure 24 : a) Cercles des composantes principales de l'ACP (Axe 1 X Axe 2) à gauche, (Axe 2 x Axe 3) à droite. b) Inertie portée par les variables dans l'analyse

La composante vectorielle de pollutions mixtes organiques (type rejets de STEPs, d'IAA) est complètement opposée à celle de la saturation en O₂. C'est normal et logique, les variables abiotiques concernées ciblent les altérations anthropiques amenant de la matière organique plus ou moins fermentescible au milieu et génèrent des conditions de demande en oxygène (vecteurs MES, DCO, DBO₅, NKJ) et de conditions un peu réductrices (NH₄) s'opposant à la saturation en O₂. Un phénomène qui ne doit pas être interprété comme déterministe en termes d'altération anthropique (il n'y pas de liaison de cause à effet, simplement un fait conjoncturel dans le contexte de la Réunion) est la présence du vecteur Cl⁻ dans ce groupe opposé à l'oxygène. Il y a là une signature hydrochimique de l'approche de la bande littorale (effet halin), que l'on trouve dans des avals de réseau hydrographique, en conjonction avec l'augmentation des pollutions diffuses mais aussi, dans le cas de la Réunion, avec la présence d'infrastructures polluantes particulières (STEP à l'Ermitage, à la Ravine St Paul, Usine du Gol) ou de fortes pollutions liées à l'urbanisation et à l'agriculture en amont (pollution de la Ravine du Maniron...).

Le P. Total, les orthophosphates et les nitrates sont parfaitement alignés avec l'Axe 1 et moins directement opposés à l'oxygène dissous que les variables précédentes. C'est logique car la liaison de ces nutriments avec l'oxygène est indirecte. Même si l'eutrophisation, soutenue par ces nutriments, peut à certains moments provoquer des sursaturations (biomasse photosynthétique très abondante et active) et à d'autres moments des déficits liés à une biomasse sénescence siège de phénomènes fermentaires, le message est plus ambigu car pouvant agir dans les 2 sens. Qui plus est, il peut être déporté dans le temps et l'espace par rapport au lieu de rejet. A noter que la composante principale des orthophosphates et des nitrates au long de cet Axe 1 est de poids modeste, et que les orthophosphates sont plus contributifs à l'axe 3 de l'analyse (cf valeur élevée du poids de cette variable dans tableau des contributions de variables par axe en partie b) de la Figure 24).

Enfin, hors chlorures pour lesquels il y a conjonction factuelle de sites pollués et en même temps sous influence haline, les variables plutôt caractéristiques de géochimie naturelle (Cond. El., SO₄, TAC) sont assez bien isolées de ce dipôle variables d'anthropisation-saturation en oxygène.

Le croisement Axe 2 – Axe 3 (25,1 % de variation prise en charge) est porteur de moins d'information structurante que le croisement Axe 1 – Axe 2 (47,7 % de variation expliquée). L'Axe 2 (13,5 % d'inertie) oppose nettement variables du fonds géochimique carbonaté et sulfaté vers la droite d'une part (bassins sur roches carbonatées et sources thermales, comme Rivière du Mât et Bras de Cilaos), et symptômes typiques de pollutions domestiques et de STEPs vers la gauche d'autre part (avec DCO, DBO₅, NKJ, NH₄, NO₂).

Du fait de leur situation amont préservée et/ou d'une hydrochimie carbonatée de l'eau plus favorable aux processus d'assimilation et d'auto-épuration, Il y aurait opposition sur cet axe, donc une certaine exclusion entre rivières calcaires et thermales d'une part et présence dans l'eau de descripteurs typiques de rejets de STEP et domestiques d'autre part.

L'Axe 3 (10,6 % d'inertie) porte plusieurs messages dont certains pourraient apparaître en contradiction apparente. Une première information intelligible est que les 2 principales variables contributives à cet axe et qui logiquement s'opposent sont la teneur en PO₄ (regroupée avec la teneur en P Total et les nitrates) et la saturation en oxygène. Cette information compréhensible signe un gradient amont-aval, et plus précisément l'augmentation des pollutions diffuses vers l'aval (vers le haut de l'axe) allant de pair avec une baisse de la saturation en oxygène). D'autre part, s'il y a un signal intelligible sur l'influence de la température à capter en fonction du poids des variables sur les axes (voir tableau b) en bas de la Figure 23), c'est sur ce 3^{ème} axe qu'il s'exprime le mieux depuis le début de l'analyse. Logiquement, plus on descend dans les BV, plus la T° de l'eau augmente et en même temps, plus on devrait statistiquement avoir d'orthophosphates du fait de l'augmentation de la pollution diffuse et de l'interposition d'infrastructures collectives sur les cours d'eau. On penserait donc a priori que c'est un message de ce type qui devrait dominer dans une analyse globale. Or, sur cet axe, le gradient croissant de la température de l'eau s'oppose au gradient croissant de PO₄, ce qui paraît illogique. L'explication tient dans ce que, dans l'expression de l'influence de la variable température dans ce jeu de données, ce n'est probablement pas le message gradient amont-aval qui prime dans le poids sur l'analyse globale mais le message attaché au contraste d'influence hydrologique saisonnière. Plus il fait frais (saison d'étiage hivernal), plus les débits sont réduits et plus les endroits sous l'influence de pollutions ont des conditions concentrées en PO₄. Plus on approche de l'été (températures plus élevées), plus les pluies se remettent en route, notamment sur la côte Est, dans les zones de transition climatique Nord et Sud et dans les Hauts (avec déjà une influence d'altitude sur les cours d'eau des cirques de l'Ouest) et plus les orthophosphates sont dilués dans les analyses d'eau. A l'échelle d'un jeu de données interannuel, c'est le message un peu inattendu qui prime dans les contextes de pollution diffuse, de niveau en général modérées au niveau de la Réunion mais qui concernent un grand nombre de sites d'altitude moyenne à faible (habitat diffus, pression agricole sur des surfaces conséquentes). Les infos des grosses infrastructures polluantes d'aval et de la côte Ouest peuvent être porteuses ou pas du même type de message selon ré-augmentation ou non des débits de ces cours d'eau sous le vent en Octobre-Novembre, ce qui dépend des caractéristiques hydrologiques de l'année.

Une autre variable vient conforter cette interprétation, derrière l'indication apportée par la température, du rôle important de l'hydrologie saisonnière sur les teneurs en PO4 : Les MES augmentent dans le même sens que la température de l'eau, ce qui est la traduction de la reprise des pluies et de l'érosion avec l'approche de la saison chaude, qui est une évidence sur presque toute l'île, et d'influence climatique annuelle un peu plus incertaine sur la partie médiane de la côte sous le vent (de la ravine du Cimetière à st Paul au Gol).

5-2-3) Poids des contributions de variables dans l'analyse :

Concernant le poids relatif des contributions de variables au premier croisement d'axes (tableau en partie basse de la Figure 24 page 60), il est notable que, dans le contexte de la Réunion, les paramètres géochimiques naturels exercent des gradients très structurants et même dominants par rapport aux variables d'anthropisation. Le seuillage du code de couleur des niveaux d'influence sur l'analyse globale a été pondéré pour tenir compte de l'inertie de chaque axe dans l'analyse totale (se reporter à échelle de couleurs en partie droite, renormée par axe en fonction de la diminution de leur contribution dans la structuration globale de l'espace des données).

Les descripteurs les plus structurants du croisement Axe 1 – Axe 2 sont le TAC (représentatif de la carbonatation et de l'alcalinité de l'eau), les sulfates (influence volcanique thermique) et la conductivité électrique. Viennent ensuite le P. Total (intégration très composite de plusieurs effets d'anthropisation, l'érosion, les pollutions diffuses, les rejets de STEP...). Les nutriments inorganiques et les pollutions organiques arrivent derrière ces facteurs naturels et exercent une influence structurante moindre. C'est probablement dû au contexte particulier de la Réunion, dotée d'un fort gradient géochimique naturel allant d'eaux très peu minéralisées et acides (Bébour) à des eaux très minéralisées thermales, voire saumâtres au littoral. A côté de ces forçages, sauf en certains sites très pollués, le contexte montagneux et très dilutif des rivières de la Réunion rend secondaires les forçages d'anthropisation. Ce qui est vrai sur l'analyse abiotique doit aussi l'être sur le forçage des espèces et des communautés, à savoir que les gradients de forçage naturels doivent être très structurants sur les assemblages et les espèces, et qu'il faut isoler efficacement cet effet pour pouvoir diagnostiquer clairement les effets de l'altération anthropique.

En complément, l'examen de l'information portée par l'Axe 3 apporte aussi son lot d'informations intéressantes : C'est cet axe qui capte le maximum de l'influence structurante du PO4 (couleur rouge) alors que les deux précédents sont dominés par des informations d'origine géochimique, puis par le phosphore total qui représente le cumul de différentes origines possibles d'altération anthropique (érosion, élevages, fertilisation etc...), suivi par la DCO qui exerce une influence moyenne sur l'axe 2. Comme on l'a vu précédemment pour l'explication de l'information portée par l'Axe 3, l'information structurante de 2 autres variables est captée pour la première fois et avec la plus forte intensité par l'Axe 3, la saturation en oxygène d'une part (poids moyen, figurée en bleu), et la température de l'eau d'autre part (figurée en bistre en figure 24 b). La représentation de ces 2 variables sur cet axe laisse à penser qu'il capte une composante environnementale importante des gradients de la Réunion à savoir, outre le gradient altitudinal qui influe sur la température de l'eau, l'influence climatique saisonnière (saison chaude et de débits soutenus *versus* saison fraîche et sèche).

En résumé : Le croisement Axe 1 X Axe 2 renseigne dans un premier temps sur le rôle dominant des variables de forçage naturel (poids des variables les plus influentes sur les axes 1 et 2 de la Figure 24, partie b). Cependant, l'Axe 1 capte de façon relativement satisfaisante des gradients anthropiques, avec l'opposition entre saturation en oxygène et altérations anthropiques organiques d'une part, et une certaine contribution des pollutions à nutriments inorganiques (P tot., PO4, NO3) d'autre part. L'Axe 3 est porteur d'une information intéressante sur le gradient d'orthophosphates, à prendre en compte dans le gradient d'anthropisation, et de certaines infos de variabilités naturelles (saisonnière, altitudinale) intéressantes pour capter l'effet du régime hydrologique saisonnier sur la qualité de l'eau.

De fait, la composante principale des chlorures est groupée avec les descripteurs anthropiques liés aux STEPs et aux rejets plutôt organiques mais c'est une coïncidence, les sites sous influence haline naturelle (en bordure de littoral) étant aussi ceux où les plus fortes pressions d'équipements collectifs s'exercent. Afin d'éviter ce bruitage indésirable pour la séparation claire entre effets naturels (ici, la salinité littorale) et effets anthropiques, même si leurs profils de qualité ont été calculés et sont apparemment défavorables (leur présence coïncide avec des rejets anthropiques importants), les profils de qualité des espèces halines originaires du milieu littoral ont été retirés, ce qui fait que ces espèces ne participeront pas au calcul de l'indice diatomique.

Concernant cette fois le **positionnement des sites** dans l'espace des données abiotiques, les commentaires suivants peuvent être faits :

Il est difficile, vu la densité des sites-dates concernés, d'étudier les points proches du centre de gravité du nuage, qui sont aussi les points les plus nombreux et sans grandes spécificités géochimiques ni de pollutions anthropiques (situations de géochimie à relativement faible minéralisation attachées au substratum géologique de laves basaltiques, conditions les plus communes à la Réunion, sites situés en altitude moyenne à élevée et sous altération anthropique diffuse inexistante à légère).

Les points qui s'isolent plus ou moins du centre du nuage et sont ceux qui sont tirés par des composantes principales particulières, correspondant à des conditions un peu plus spécifiques dans le contexte de la Réunion, et c'est sur ces vignettes un peu excentrées qu'il est possible de faire des commentaires un peu plus spécifiques sur les conditions abiotiques aux sites-dates.

Concernant tout d'abord les conditions de minéralisation naturelle de l'eau, en corrélation négative parfaite avec les vecteurs de composantes principales synonymes de forte minéralisation de l'eau, on retrouve les sites aux eaux les plus faiblement minéralisées de la Réunion dans le secteur en bas et à droite de la Figure 25 (vignettes MRA – Rivière des Marsouins à Bébour, MRB – la même à Takamaka, ETA Ravine de l'Etang à l'amont du grand Etang). Ces eaux très peu minéralisées sont de conductivité inférieure à 50 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et à tendance acide (influence de tourbières et de lixiviats forestiers d'altitude, incluant des forêts de bois de couleur des Hauts et certains massifs plantés de cryptomérias). On trouve aussi dans ce secteur opposé à la conductivité, au TAC et aux sulfates la Rivière des Roches et le Bras des Lianes, eux aussi caractéristiques de cours d'eau peu minéralisés sur substrat rocheux basaltique peu altérable. Les sites arrivant vers l'origine des axes sont les sites aux caractéristiques de minéralisation les plus communes à la Réunion (eaux légèrement à modérément minéralisées, entre 80 et 120 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en moyenne, faible teneur en hydrogénocarbonates et en calcium). A l'opposé du nuage, tiré par les composantes principales géochimiques de forte minéralisation, on trouve un gradient représenté à Cilaos (Bras de Benjoin à Cilaos, un peu moins minéralisé (BNA légèrement en haut à droite de l'axe 2) et surtout Thermes de Cilaos (BEA) et Ilet Furcy (BCB), correspondant aux eaux les plus fortement carbonatées de la Réunion, sous influence de sources thermales. Bien qu'un peu plus difficiles à faire ressortir car noyées dans un nuage plus densifié, des sites de la Rivière du Mât sous une influence identique de roches métamorphiques carbonatées et de thermalisme se positionnent dans le même secteur (MAA, MAB). Un peu plus en bas à gauche, la Rivière Fleurs Jaunes à Salazie correspond aux mêmes types d'influences carbonatées et thermales avec des eaux naturelles probablement un peu plus sodées (positionnement se rapprochant de certaines stations sous influences halines, comme la rivière Ste Suzanne aval (SZD), la ravine du Cimetière (CMA), la ravine du Gol en hiver austral (GOA B et D). L'influence saline du littoral, cette fois mêlée d'une influence anthropique forte, est contributive au positionnement complètement à gauche de l'Axe 1 des sites halins et pollués extrêmes que sont la ravine de l'Ermitage (ERA), la ravine du Maniron (MNA), la ravine du Gol (GOA) et, à certaines dates où se manifeste l'influence haline, la ravine du Cimetière (CMA).

Les pollutions anthropiques plutôt de type organique (DCO, DBO5, NKJ et nitrites) sont principalement prises en charge par l'Axe 2 dans un sens croissant vers la partie en bas à gauche, influence qui tire surtout la ravine de l'Ermitage (ERA), la Ravine du Maniron (MNA), le Bras Pétard à Libéria (PTA), la Rivière du Mât aval (MAD) aussi tirée par les chlorures et ses eaux sodées et dans une moindre mesure certains sites-dates de la Rivière Ste Suzanne (SZB et SZC).

L'axe 1, assez largement bruité par les fortes composantes principales géochimiques (TAC, SO₄, Cond. El) et de pollutions organiques (DBO₅, DCO, N₀₂, NKJ), est directement porteur vers la gauche d'une information plus directement liée aux pollutions diffuses agricoles et domestiques (P. Tot., MES, PO₄, NO₃), ces informations étant cependant dominées même sur cet axe par les variables géochimiques. Les sites les plus tirés sur cet axe sont donc sous influence composite de géochimie naturelle (ici, surtout l'influence haline littorale, dont on s'affranchira en ne prenant pas en compte dans le calcul de l'indice des profils de qualité des taxons dont la présence est liée à des entrées halines naturelles) et d'un mix très composite de pollutions organiques et de nutriments inorganiques typiques de rejets de STEP, d'installations industrielles ou de pollutions domestiques et agricoles diffuses intenses à l'aval de bassin versants. On trouve dans ce secteur les sites les plus minéralisés et pollués de la Réunion (Sites Ravine de l'Ermitage (ERA), Ravine du Maniron (MNA) Ravine du Cimetière (CMA), Ravine du Gol à certaines dates correspondant probablement aux conséquences environnementales de l'exploitation de l'usine (GOA) et, dans une moindre mesure, les sites les plus à l'aval de la Rivière Ste Suzanne (SZD) et de la Rivière du Mât (MAD).

5-4) Détermination du gradient d'anthropisation à partir de l'ACP

L'ACP sur les données environnementales abiotiques a servi de base à l'établissement d'une grille de classes chimiques basée sur le poids dans l'analyse des variables d'anthropisation. On a vu dans les commentaires attachés à la Figure 24 que l'information sur les variables les plus synonymes d'altération anthropique était principalement portée par les Axes 1 et 3 (même si, on vient de le voir à nouveau, l'Axe 1 est assez sensiblement bruité par des variables géochimiques-hydrochimiques naturelles).

L'Axe 2 est pour sa part principalement porteur d'informations sur les caractéristiques géochimiques et hydrochimiques naturelles (message sur conductivité électrique, TAC, SO₄ vers le haut, message chlorures lié aux influences halines vers le bas). Bien que les 2 groupes suivants de composantes principales (descripteurs géochimiques TAC, SO₄, Cond. El. , Chlorures d'une part, descripteurs de pollutions plutôt organiques DCO, DBO₅, NKJ et nitrites d'autre part) aient des projections vectorielles pratiquement orthogonales, donc non corrélées au global dans l'analyse, cet Axe 2 opposerait, en projection orthogonale du poids de variables, ce message de gradient géochimique chimique naturel et celui lié à l'accroissement des variables de pollution organique, ce qui n'a pas de sens particulier pour la compréhension de l'organisation d'un gradient d'anthropisation ni pour le décorréliser de variables naturelles opposées factuellement sur le même axe alors qu'il n'y a pas de vraie relation de causes à effets. S'il y en avait, elles opèreraient d'ailleurs à l'inverse de ce que semble formaliser cet axe : l'augmentation de l'anthropisation s'accompagne toujours d'une augmentation, même éventuellement légère, de la conductivité électrique et de la minéralisation globale de l'eau. Cet axe au message synthétique trop ambigu a donc été mis de côté et son information n'a pas participé à l'établissement de la métrique d'anthropisation.

La métrique composite d'anthropisation a été calculée de la façon suivante :

$$\mathbf{GCA}^* = (\text{Variance Axe 1 projection des sites sur Axe 1}) + (\text{Variance Axe 3 projection des sites sur Axe 3})$$

* ou **GCA = Gradient Composite d'Anthropisation**

Le diagramme de distribution des valeurs de la métrique d'anthropisation GCA est représenté en Figure 26 page suivante.

Sur la base de ce diagramme de distribution des (sites x dates) sur l'échelle du gradient d'anthropisation (normalisé Box-Cox), plusieurs essais d'ajustement de classes chimiques ont été faits. La classification retenue pour la suite de l'analyse a été faite sur une base assez sensible afin de pouvoir repérer les sites avec intensité de pollution même modérée (notamment les altérations diffuses qui seraient dues: 1) à des zones d'habitat mité assez densifié impliquant des rejets domestiques et 2) aux pollutions agricoles), dans le contexte dilutif des cours d'eau de la Réunion. Cette échelle pourra éventuellement être modifiable par la suite.

En pratique, si cette échelle joue pour visualiser le niveau de qualité chimique des sites sur les projections cartographiques, elle contribue peu à modifier la sévérité de l'état biologique indiqué ensuite par les diatomées, qui s'est basé sur un groupe d'espèces de milieux dégradés dont l'apparition est nettement révélatrice de dégradation saprobique, trophique et/ou chimique.

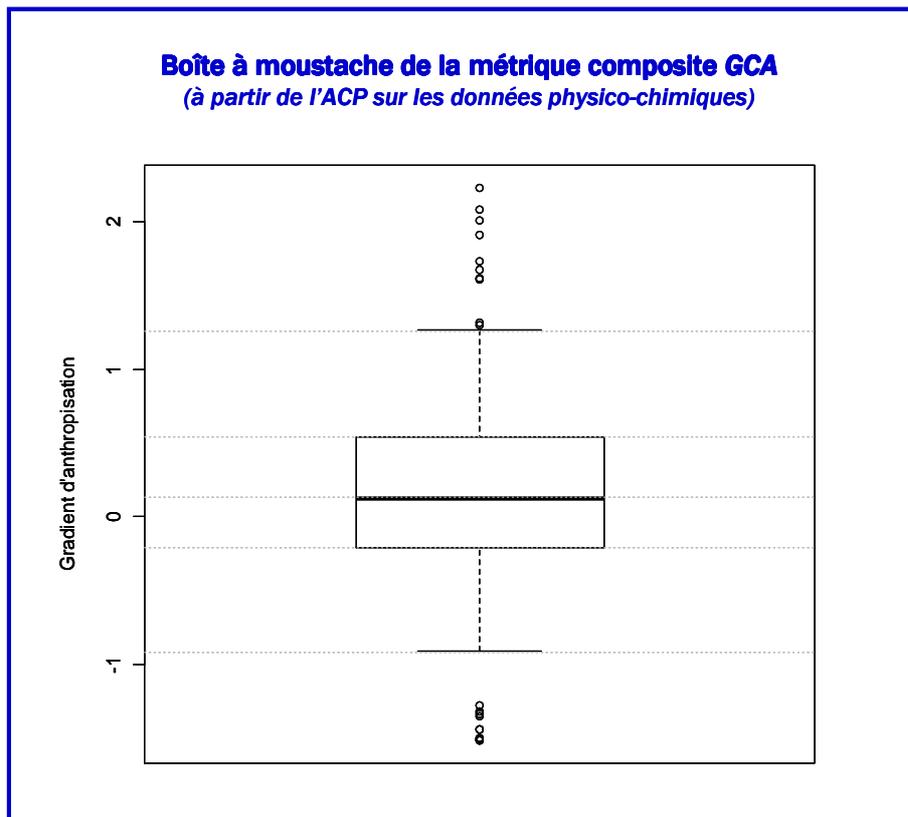


Figure 26 : Diagramme de distribution de la métrique composite GCA

Notre base de travail a été la chimie intégrée d'épisodes d'une durée temporelle de 2 à 3 mois (selon le hasard des dates d'échantillonnage d'eau et selon une fenêtre temporelle maximale de 3 mois) calée sur la date effective d'un échantillonnage diatomique donné. Cette chimie intégrée n'est donc, ni un référentiel de valeurs de chimie de l'eau attachée aux échantillons ponctuels, ni une moyenne annuelle qui n'aurait pas de sens avec ce maillon biologique. En effet, on a vu précédemment que la dimension saisonnière était suffisamment structurante pour faire changer les biotypes diatomiques aux mêmes sites dans plusieurs HER à climat fortement contrasté (le phénomène étant moins perceptible en côte Est au Vent).

Le but ici n'est pas de fixer une grille d'évaluation d'état chimique pour la Réunion (optique DCE) mais simplement, dans le cadre de la mise au point d'un nouvel indice biologique, de positionner les différentes espèces diatomiques devant participer à l'indice au long de gradients chimiques représentant l'altération anthropique afin de pouvoir leur affecter ensuite un profil de qualité mobilisable dans l'indice, en fonction de leur probabilité fréquentielle d'apparition dans les différentes classes de qualité des eaux.

Pour ne pas établir de confusion entre les échelles de cette étude et le concept d'évaluation de l'Etat Chimique demandé par la DCE, les groupes de qualité chimique établis au sein de notre étude, qui serviront ensuite à positionner les profils de qualité des espèces de diatomées de la Réunion, n'ont pas été nommées "classes de qualité chimique" pour ne pas prêter à confusion, mais "**groupes de qualité chimique**", **numérotés de 1 (sites de référence et de très bon état, de couleur violette) à 5 (groupe le plus altéré, de couleur rouge)**. Ces groupes et les codes-couleurs correspondants se calent sur les gradients existants dans notre jeu de données sans que toutes les classes de gradients divers d'anthropisation n'y soient correctement couvertes de façon équilibrée. Aussi, cette échelle ne sera pas nécessairement en correspondance avec les 5 classes de qualité physico-chimique servant pour l'application de la DCE dans les réseaux, et sa grille de couleurs, même si elle se réfère à une compréhension implicite du sens du gradient en fonction d'échelles de couleurs classiquement utilisées, est volontairement différente du fait du non-calage sur des grilles d'évaluation DCE. D'ailleurs, le groupe dans l'état proche de la référence est figuré en violet et le groupe suivant est figuré en bleu, même le seuil inférieur de la classe verte étant certainement d'un niveau de qualité un peu plus élevé que la limite inférieure de Bon Etat tel que perçue dans les référentiels de métropole.

Nous avons voulu cette échelle suffisamment discriminante même en cas de faibles altérations, car le contexte de la Réunion est très dilutif et nécessite des outils de diagnostic sensibles. C'est pourquoi, dans cette étude, les représentations des classes chimiques de haute, bonne et moyenne qualité sont plus resserrées que les suivantes.

Des visualisations cartographiques d'état chimique au (site x date) par campagne ont été produites sur la base de la distribution de la métrique CGA (Figure 26) et des projections des (sites x dates) sur les Axes 1 et 3 de l'ACP. Cependant, le même genre de cartes un peu améliorées ayant été produit plus tard dans la démarche sur la base de la projection des sites sur les axes de la CCA, il n'est pas utile ici de donner des illustrations d'étape désormais caduques (se référer à la Figure 30 page 72 concernant les cartes de qualité chimique par campagne issues de la CCA).

6) ETUDE D'INCIDENCE DES GRADIENTS ANTHROPIQUES SUR LES FLORES (CCA)

Dans l'optique de pouvoir relier état chimique anthropique aux (sites x dates) et le positionnement des assemblages et des espèces diatomiques, il a été procédé à une Analyse Canonique de Correspondances (CCA). Le principe est d'intégrer dans l'analyse et de mettre en correspondance 2 matrices, la matrice des descripteurs abiotiques (idem ACP) et la matrice des assemblages biologiques échantillonnés sur les sites aux 5 campagnes. Le but de cet analyse canonique est de mettre en correspondance les variables abiotiques et les espèces trouvées au site et de définir les profils de qualité de chaque espèce en fonction d'un profil de probabilité de présence dans chaque classe de qualité telle que précédemment définie (Figures 26 et 27). Ces profils de qualité seront ensuite mobilisés pour donner un statut à chaque espèce dans l'indice et en permettre le calcul.

6-1) Spécificités de mise en œuvre de la CCA

La matrice de données abiotiques utilisée dans l'ACP précédente a été épurée au préalable des variables fortement influencées par le contexte naturel, afin de mettre l'accent sur la représentation des relations entre variables abiotiques influencées par l'anthropisation et flores diatomiques. Les variables abiotiques analysées sont toutes influencées positivement par l'anthropisation, à savoir : MES, P. Tot., PO₄, DCO, DBO₅, NKJ, NO₂, NO₃. Une variable d'état d'anthropisation a aussi été conservée, la saturation en O₂, qui varie dans le sens décroissant avec l'augmentation des pressions anthropiques.

Concernant la matrice des assemblages diatomiques, quelques espèces trouvées à la Réunion dominant en occurrences et en abondance relatives, mais de nombreuses espèces de fin de tableau sont peu occurrentes et très faiblement abondantes dans les rares relevés ou elles sont présentes.

L'indice devant se baser sur un profil écologique d'espèce qu'on ne peut formaliser qu'avec un minimum d'occurrences et d'abondances, il a été nécessaire de toiletter la base biologique des espèces dont il n'est pas possible à ce stade de se faire une opinion sur les conditions de vie et les préférences écologiques. La base initiale comprenait 343 taxons. Seules ont été gardées les espèces ayant **3 occurrences ou plus** dans les 269 relevés afin de pouvoir approcher leur environnement-cible et leur affecter un profil, ce qui a ramené le **nombre de taxons avec profil calculé à 175** (dont 172 typiquement d'eau douce servent effectivement au calcul de l'indice, soit seulement la moitié des taxons présents dans le jeu de données de départ).

6-2) Résultats de la CCA :

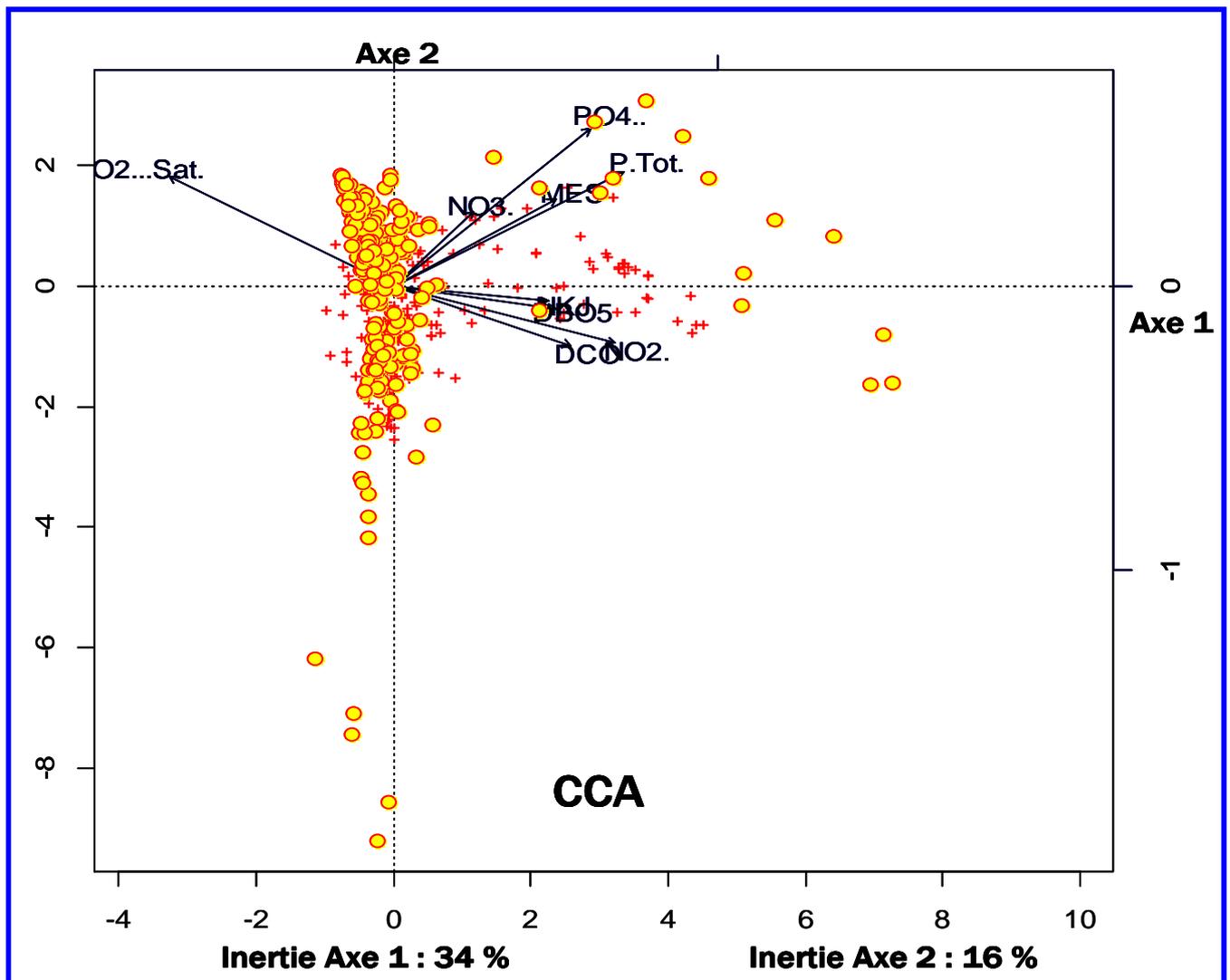


Figure 27: Analyse Canonique des Correspondances : Projection des composantes principales des variables d'anthropisation, des sites (ronds jaunes) et des espèces (croix rouges) dans l'espace des données (croisement Axe 1 * axe 2)

La projection des **variables abiotiques d'anthropisation** dans la CCA (voir Figure 27 ci-dessus) produit pratiquement la même structuration des composantes principales que dans l'ACP précédente, avec une augmentation de contribution de ce croisement d'axes du fait d'un accroissement de l'inertie portée par l'Axe 2 (inertie de l'Axe 1 = idem ACP précédente).

Il faut simplement remarquer que, avec le lancement de l'analyse mobilisant aussi la matrice de données biologiques, est intervenu un simple phénomène d'inversion-miroir des composantes vectorielles (composante saturation en O₂ vers la gauche, variables d'anthropisation vers la droite) par rapport aux repères de l'ACP de la Figure 24 commentée précédemment, la structuration relative des composantes principales restant identique. C'est un fait classique et ça n'affecte en rien les résultats ni leur interprétation.

L'Axe 1 est porteur de beaucoup d'information relative aux variables d'anthropisation. Cette fois, la composante PO₄ est pratiquement aussi bien prise en charge sur l'Axe 1 que la composante P Total. Comme souvent, l'altération par les nitrates ne produit pas un gradient net (faible composante principale) et n'obéit pas à la même typologie et aux mêmes co-évolutions que les variables d'anthropisation attachées aux rejets domestiques et de STEPs qui, elles, sont sensiblement autocorrélées (pollutions souvent composites).

Les **espèces** sont positionnées dans un nuage restant proche de l'Axe 1, ce qui indique que ce qui structure les composantes principales surtout prises en charge par l'Axe 1 structure d'une façon proche le positionnement des espèces. Par contre, pour le positionnement des (sites x dates), on peut faire 2 observations importantes :

- En ce qui concerne la projection des **sites x dates**, mis à part quelques sites très pollués aval qui répondent aux composantes principales d'altération en étirant le nuage vers la droite (16 points concernant 4 à 5 sites très particuliers échantillonnés chacun sur 4 à 5 campagnes selon le cas), la physionomie étroite du reste du nuage matérialise le déficit précédemment indiqué en sites sous pression d'altération moyenne. Dans ce nuage, les sites de la meilleure qualité doivent être à gauche de l'Axe 2 (du côté de la saturation en O₂), les sites faiblement altérés proches de l'origine mais du côté droit de l'Axe 2. On peut constater le déficit important de sites intermédiaires au long de l'Axe 1 et, comme souvent lorsqu'il y a des valeurs extrêmes issues de contextes particuliers, les sites très pollués prennent une importance excessive pour tirer et donner du poids aux composantes principales des variables d'anthropisation.
- Le nuage des projections de sites (ronds jaunes) est étroit et très étiré verticalement au voisinage de l'Axe 2, orthogonalement à l'Axe 1 qui porte le message des pressions anthropiques. Cela montre que le positionnement des sites dans l'espace des données obéit aussi à un forçage très important qui n'est pas pris en compte par les variables de cette analyse. Ce type de forçage n'est pas du tout corrélé aux gradients d'anthropisation (il est complètement orthogonal) et est probablement d'origine naturelle. Il pourrait s'agir, comme on a pu l'analyser dans l'ACP complète précédente, non pas du gradient d'altitude (il aurait une co-évolution négative avec les variables d'anthropisation, les forçages anthropiques augmentant statistiquement lorsque l'altitude baisse), mais probablement de l'effet saisonnier (température, régime de pluies) qu'on avait repéré associé à la température dans l'eau dans l'ACP précédente.

6-3) Vérification et visualisation du gradient d'anthropisation sur la base des groupes de qualité chimique définis :

En projetant les sites sur les 2 axes de la CCA et en exploitant leurs coordonnées, il a été possible d'établir des diagrammes de répartition fréquentielle des valeurs physico-chimiques des sites par groupe de qualité selon l'échelle de qualité fixée précédemment. Ces diagrammes fréquents sont présentés en Figures 28 et 29 pages suivantes). On peut y voir que les groupes sont globalement fidèles au gradient d'anthropisation concernant les 2 descripteurs présentés, à savoir le P. Total (qui inclut à la fois des aspects de pression agricole et d'érosion, des rejets domestiques et d'infrastructures d'épuration) et le descripteur orthophosphates qui ne rend pas compte de l'apport de particules terrigènes par l'érosion mais qui représente la fraction de phosphore soluble la plus biodisponible pour la vie aquatique (fraction la plus eutrophisante).

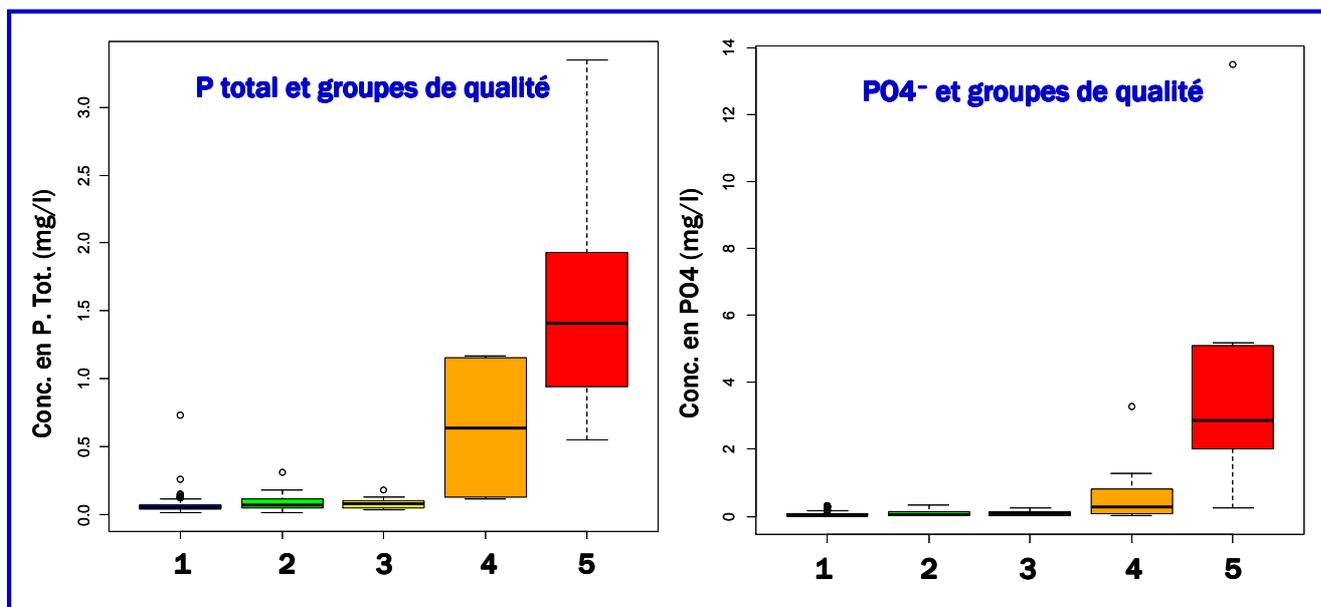


Figure 28 : Gradient de qualité des eaux représenté par les 5 groupes de qualité :
a) Phosphore total (à gauche) ; b) Orthophosphates (à droite)

Outre le fait que certaines valeurs très fortes de pollution étirent l'échelle, permettant mal la visualisation graphique des valeurs les plus fréquentes dans les groupes représentatifs de bonne qualité (groupes 1 à 3), ces supports permettent d'illustrer une difficulté déjà signalée qu'il a fallu contourner, à savoir une lacune presque complète de sites avec des niveaux de pollution entre faibles et moyens.

De ce fait, si un petit gradient existe sur les moyennes par Box-Plot, l'image donnée est bruitée par la largeur des moustaches et le positionnement de certaines valeurs exceptionnelles, dites outliers. Il faut rappeler que ces illustrations donnent une image des groupes au travers du seul paramètre présenté alors que la classification des groupes à l'aide de la métrique GCA (gradient Composite d'Anthropisation) s'appuie aussi sur tous les autres descripteurs de pression anthropique (NH₄, NO₂, NO₃, DBO₅ etc...)

Il a aussi été vérifié cette image du référentiel de valeurs par groupe sur d'autres descripteurs d'anthropisation qui, pour la plupart, donnent une représentation du gradient à peu près similaire à ce qui est montré en Figure 28.

La Figure 29 page suivante illustre à titre indicatif la distribution des sites dans les groupes de qualité en fonction de 2 facteurs de forçage :

- la conductivité électrique qui, à la Réunion, est surtout représentative de gradients naturels importants, comme le taux de carbonatation des roches et de minéralisation de l'eau sous des contextes géochimiques très différents, allant de la tourbière acide aux eaux de sources thermales et aux eaux proches du littoral avec intrusions halines (représentées par les conductivités avoisinant ou dépassant les 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$)
- les concentrations en PO₄, qui représentent la fraction de phosphore la plus eutrophisante car immédiatement et complètement biodisponible.

Cette figure nous renseigne à nouveau sur le fait que le gradient chimique anthropique est faible et peu lisible variable par variable sur les trois premiers groupes de qualité (ici, faibles valeurs en PO₄). C'est l'effet cumulé de plusieurs descripteurs abiotiques d'anthropisation qui arrive à matérialiser ce début de gradient anthropique entre les classes.

On peut noter que, dans les gammes de conductivités naturelles représentées dans ces 3 groupes et le début du 4^{ème} (jusqu'à environ 600 à 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui peut correspondre à un forçage géochimique-hydrochimique totalement naturel du type épisode d'influence maximale d'une source thermique sur le cours d'eau et le site concernés), il n'y a aucun lien déterministe entre conductivité électrique et manifestations chimiques d'altération anthropique. C'est pourquoi nous n'avons pas considéré cette variable pour rendre compte d'un effet direct d'altération anthropique. D'ailleurs, les fortes conductivités ($> 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$) observées dans les groupes 4 et 5 ne sont pas non plus provoquées par un effet d'altération anthropique car elles sont dues aux entrées halines sur 4 ou 5 sites situés à proximité du littoral.

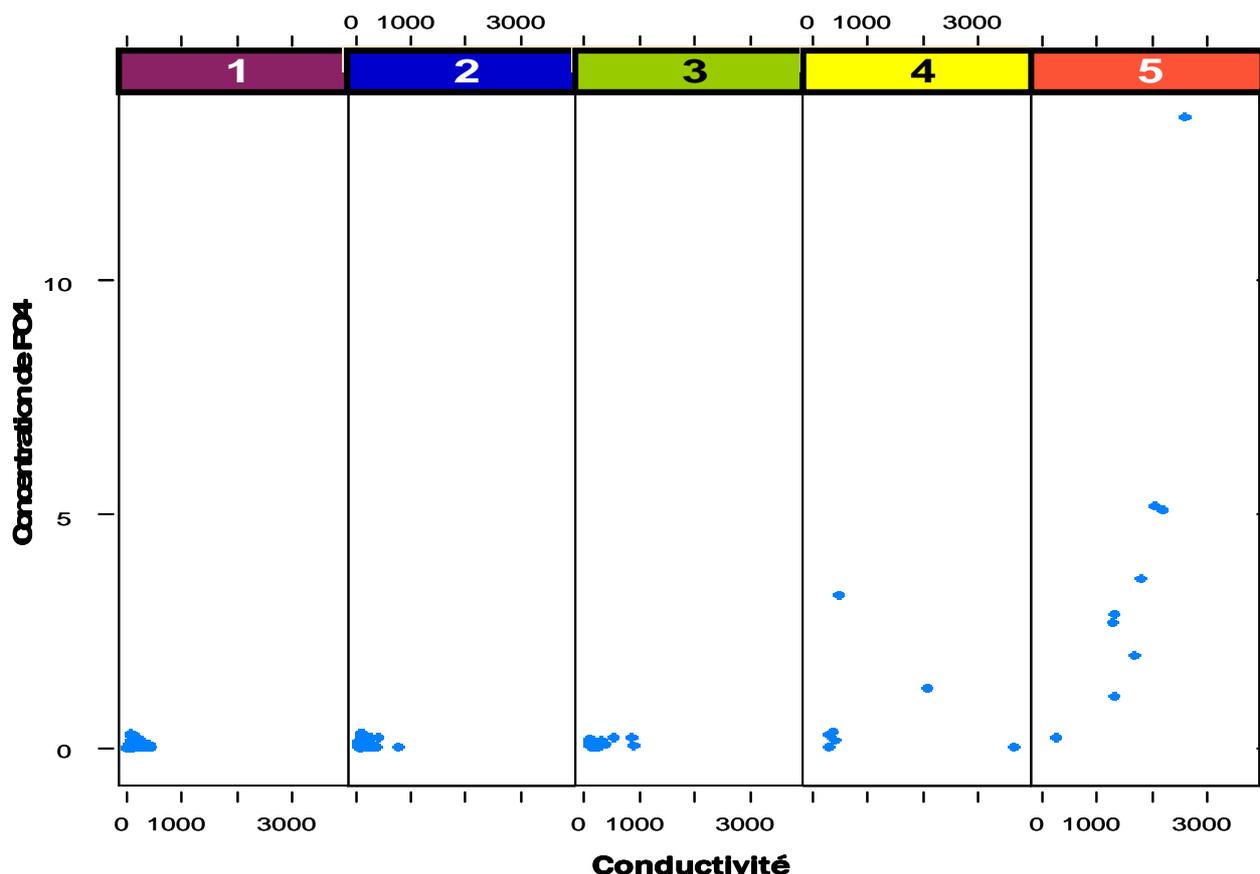


Figure 29 : Relations entre conductivité électrique et concentration de PO4 dans chaque groupe de qualité chimique des eaux

Il se trouve que ces sites sous influence haline sont aussi situés très à l'aval de bassins versants parfois fortement anthropisés (Ravine du Maniron, Ravine de l'Ermitage) et que des infrastructures collectives sont disposées vers l'aval de ces bassins versants particuliers (STEPS de la Ravine de l'Ermitage, de la Ravine du Cimetière, usine sucrière du Gol)...

Ce sont ces facteurs de pression anthropique qui sont dans ce cas responsables du classement dans les Groupes 4 et 5, la conductivité électrique étant provoquée de façon dominante par des forçages naturels comme l'influence haline littorale.

6-4) Production de cartes d'Etat Chimique par campagne de prélèvement:

En fonction de la grille de classes de qualité adoptée, issue de l'ACP normalisée et de la métrique GCA, la projection des (sites X campagnes) sur les Axes 1 et 2 de cette CCA a été projetée sur un fond de carte pour chaque campagne. Les 5 illustrations cartographiques de la projection des classes chimiques sont présentées à la Figure 30 page suivante :

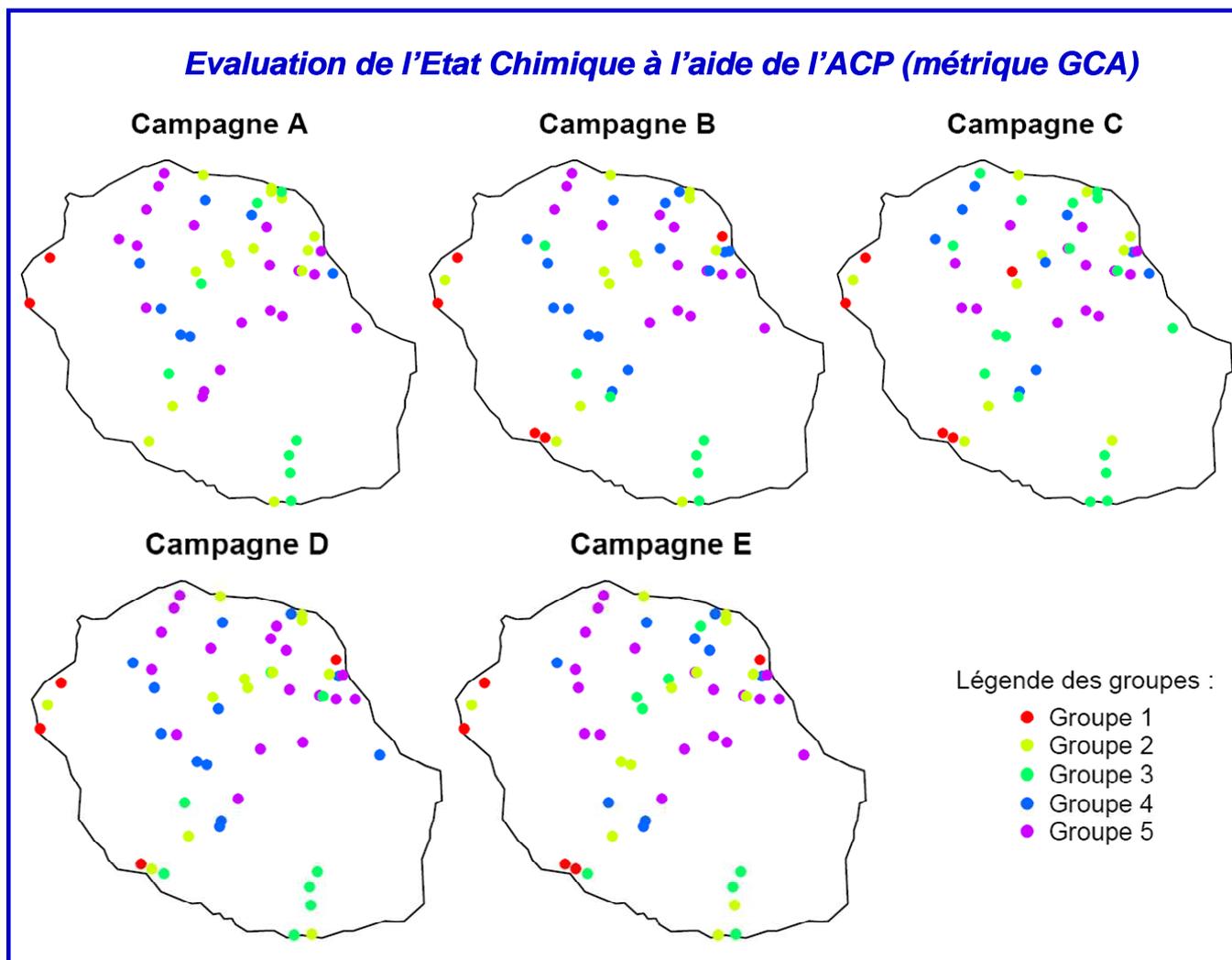


Figure 30 : Cartographies d'Etat Chimique par campagne basées sur la grille de qualité adoptée pour l'étude et sur les positionnements des sites dans la CCA

Ces photographies des groupes d'état chimique donnent un inter-classement des (sites x dates) relativement logique. Les points de grosses altérations (Ravine du Gol, Ravine Maniron, Ravine de l'Ermitage, Ravine du Cimetière) ressortent bien, les hydrosystèmes en très bon état aussi. Cependant, nous avons cherché à donner du contraste entre sites de référence et sites faiblement à modestement altérés afin d'avoir une grille de lecture plus fine de l'état biologique donné ensuite par les notes d'indice, et notamment de l'évaluation des sites modérément altérés.

Du fait du déficit ce jeu de données en altérations moyennes, il est possible que cette grille, à interpréter en relatif dans le contexte de bonne qualité dominante des eaux à la Réunion, donne une vision un peu pessimiste de l'état chimique des eaux en-dessous du groupe 4 (qui reste de bonne à très bonne qualité). On peut notamment remarquer que les rivières carbonatées sont peut-être classées de façon un peu sévère, ainsi que la Rivière Langevin. Cette grille pourra être réadaptée ensuite si nécessaire par rapport à la qualité des eaux en France, la limite bon Etat-Etat moyen se situerait en gros entre le Groupe 3 (vert) et le Groupe 2 (jaune) voire selon influence saisonnière, peut-être aux environs au percentile 75 du groupe jaune (certains sites x dates apparaissant de qualité plus altérée qu'ils ne le sont, peut-être à cause de perturbations naturelles du type étiage trop sévère et élévation thermique ou au contraire, grosse contrainte physique récente avec peuplements non encore à l'équilibre (espèces pionnières très dominantes). C'est par exemple le cas du site LGA, non pollué mais sous contraintes d'étiage sévère à certaines campagnes (site tout à l'amont du réseau hydrographique de la rivière Langevin, situé en amont de la cascade dans un secteur pratiquement sans pression.

Quoi qu'il en soit, si ces visualisations ont pour but de résumer la chimie en détaillant suffisamment le début du gradient d'altération, cette figuration d'état chimique n'a pas de conséquences sur l'évaluation actuelle d'Etat Ecologique puisqu'il a été fait le choix, dans ce contexte particulier très dilutif et avec manque relatif d'altérations modérées à moyennes, de faire primer le message des espèces rattachées exclusivement aux Groupes 1 et 2, indiscutablement pollués (concept basé sur la présence et la proportion d'espèces indicatrices de sites ou micro-sites amont sous conditions de pollution sévère).

6-5) Affectation de profils de qualité aux espèces de l'Indice :

Suite aux seuillages des taxons insuffisamment présents pour intervenir dans l'indice (moins de 3 occurrences cumulées dans le jeu de données de l'étude, voir Chapitre 7-1), **175 taxons** ont été sélectionnés pour intervenir dans l'assise du nouvel indice.

Pour pouvoir s'appuyer sur ces taxons pour le calcul d'indice, il convient à ce stade d'associer à chacun d'entre eux un **profil de qualité**. Cela a été fait sur la base de la statistique du positionnement des (sites x dates) auxquels ils appartiennent sur les axes de la CCA résumant le gradient d'anthropisation. En fonction du positionnement d'un relevé (site-date) dans l'espace des données d'anthropisation et sur la base de ses propres descripteurs de chimie de l'eau synonymes d'anthropisation, le (site X date) se voit affecté dans une **classe de qualité physico-chimique** numérotée de 1 à 5 selon positionnement vis-à-vis de la métrique d'anthropisation CGA (voir Figure 26). Le résultat de classement des sites par campagne est tel que visualisé dans les cartes de qualité chimique par campagne (Figure 30 page précédente)

La détermination des **profils d'espèces** à partir des classes physico-chimiques a été calculée selon le même principe que celui qui avait servi au calcul des profils des espèces dans l'IBD 2007 au niveau national il y a quelques années.

Les données mobilisées pour le calcul du profil de qualité du taxon dans l'indice, ainsi qu'un exemple de calcul de ce profil par classe, sont illustrés dans le Tableau 6 page suivante, sur l'exemple de l'espèce *Ulnaria ulna* (UULN). Son profil de probabilité d'abondance relative par classe de qualité est présenté en partie gauche de la Figure 31.

Sur la base du jeu de données complet (269 relevés complets (sites x dates) mobilisés), il est tiré parti :

- de l'**occurrence du taxon dans une classe donnée de qualité** (Ligne 1 "occurrence taxon") qui, divisée par **le nombre de (sites X dates) total de cette classe** (Ligne 2 "Nb relevés/classe"), peut donner une probabilité d'occurrence du taxon par classe (Ligne 3 "Occ./Nb sites")
- de l'**abondance relative cumulée du taxon dans une classe de qualité donnée** (Ligne 4 "Ab. Rel. Cumulée")

La **probabilité d'abondance relative du taxon par classe** (Ligne 5 : "Proba Ab. Rel. / CI") est calculée selon la formule suivante :

$$P_{(\text{Ab. Rel} / \text{CI})}^{(5)} = \frac{\text{Occurrence Taxon}^{(1)} * \text{Ab. Rel. Cumulée du taxon sur la classe}^{(4)}}{\text{Nb relevés} / \text{Classe}^{(2)}}$$

Le profil de qualité attaché à une espèce donnée pour entrer dans le nouvel indice IDR est donc le profil des probabilités d'abondance relative du taxon attachées à chacune des 5 classes, calculées selon la formule ci-dessus.

Le détail du calcul statistique qui a été utilisé est décliné, sur l'exemple de l'espèce *Ulnaria ulna*, dans le Tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6: Calcul du profil de qualité des espèces de l'IDR en probabilité d'abondance relative par classe (exemple de l'espèce *Ulnaria ulna* UULN)

ligne	Classes de qualité chimique	1	2	3	4	5	Total
1	Occurrence taxon	1	4	4	5	3	17
2	Nb relevés / classe	10	57	68	66	67	268
3	Occ. / Nb sites	0,1	0,07	0,06	0,08	0,04	—
4	Ab. Rel. cumulée	1,0	4,6	7,4	16,0	1,4	29,4
5	Proba. Ab. Rel. / Cl.	0,05	0,15	0,20	0,57	0,03	1

Deux profils-types de qualité caractéristiques d'espèces entrant dans l'indice sont illustrés à titre d'exemples dans la Figure 31 ci-dessous :

- L'espèce de gauche, *Ulnaria ulna*, est celle dont le calcul de profil a été traité en exemple. C'est une espèce illustrative d'assez bonnes qualités mais elle n'est pas typique de conditions de référence.
- En revanche, *Achnantheidium exiguum* a un profil d'espèce de mauvaise à très mauvaise qualité (profil de droite) avec une probabilité de présence presque exclusive dans la Classe 1, la plus polluée.

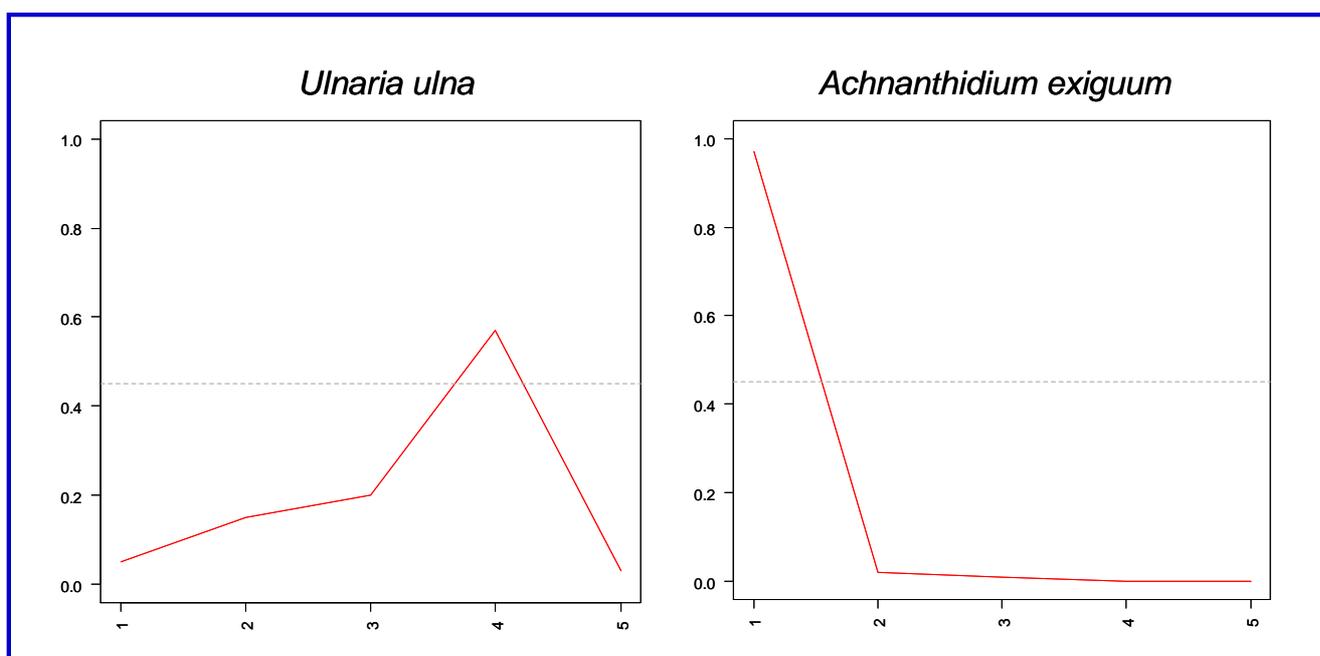


Figure 31 : Représentation des profils de qualité calculés pour 2 espèces diatomiques de l'IDR

7) LE NOUVEL INDICE DIATOMIQUE REUNION

7-1) Méthodologie de mobilisation des profils de qualité pour le nouvel indice :

Compte-tenu du fort déficit du jeu de données actuel en situations d'altérations moyennes, le gradient de qualité des espèces n'est probablement pas restitué de façon linéaire et on est loin d'avoir une pondération égale des effectifs par classe. On a vu aussi précédemment que les classes de qualité chimique ont elles-mêmes été étirées sur la zone du gradient entre les sites non altérés et ceux à altération modérée pour obtenir des représentations cartographiques plus graduelles de l'apparition de la pression anthropique.

Aussi, dans ce contexte de représentation déséquilibrée du gradient d'altération et de distorsions d'échelles, nous avons pris le parti de travailler sur un jeu d'**espèces-sentinelles** qui doivent fonctionner comme un **signal d'alarme** sur la présence en amont du site de zones de pollution assez intense, même si éventuellement très localisées à l'aval de rejets ponctuels. En effet, ces espèces n'ont rien à faire dans les milieux aquatiques sans existence d'altérations sérieuses, même très locales. Après plusieurs essais exploratoires, il a donc été décidé de sélectionner les espèces et d'exploiter leurs profils de qualité de la façon la plus simple possible pour le calcul de l'indice en s'appuyant sur un classement binaire (espèces "+" versus "espèces "-").

Une première catégorie est qualifiée de **Taxons indicateurs "-"** et fonctionne comme un signal d'alarme sur la présence d'altérations sérieuses à l'amont, même si éventuellement très localisées. Nous avons cherché à y faire figurer des espèces tolérantes synonymes à coup sûr de déclassement de qualité, qu'il ne serait pas possible de retrouver dans les milieux aquatiques en l'absence d'altérations fortes, même ponctuelles. Pour ce faire, vu le faible raffinement de la classification rendu possible sur la gamme d'altérations de faibles à moyennes dans le contexte du jeu de données de l'étude, nous avons cherché à sélectionner des taxons au positionnement écologique presque exclusif dans les Classes 1 et 2, les plus dégradées. Pour ce faire, un seuil à plusieurs détentes a été adopté, garantissant le rattachement de ces taxons à des conditions sérieusement dégradées :

- probabilité d'abondance relative sur la classe 1 supérieure ou égale à 45%,
- ou probabilité d'abondance relative sur la Classe 1 supérieure ou égale à 25 %, et cumul de probabilité d'abondance relative sur la Classe 1 et la Classe 2 supérieure ou égale à 80 %,
- ou pas de seuillage minimal sur la Classe 1, mais cumul de probabilité d'abondance relative sur la Classe 1 et la Classe 2 supérieure ou égale à 95 %.

Ce cumul de seuillages correspond en pratique à un positionnement écologique presque exclusif de ces taxons sur les Classes 1 + 2, les plus dégradées pour la Réunion, et garantit qu'on ne peut pas les trouver de façon plus qu'anecdotique sur des sites sans altérations notables. Ce système de seuillage permet d'éviter le rattachement de taxons ubiquistes, opportunistes et aux préférences écologiques peu marquées, dans cette catégorie des taxons déclassants.

Tous les autres taxons, considérés comme des taxons non synonymes d'altération anthropique caractérisée, ont été exploités dans un groupe unique de bonne qualité (**Taxons indicateurs "+"**).

Nota :

Les **175** profils de qualité calculés pour le nouvel indice IDR ont été joints in extenso dans l'**Annexe 4**. Les profils des 48 **Taxons indicateurs "-"** y ont été figurés en couleur orange, les profils de 124 **Taxons indicateurs "+"** y sont figurés en gris (soit **172 taxons participant effectivement au calcul de l'indice**). Sont reportés **en jaune** les profils de qualité trouvés pour **3 espèces typiquement halines** trouvées dans au moins 3 relevés (site X date) de l'étude (critère de seuillage minimal retenu pour établir les profils de qualité des espèces). Ces 3 profils figurés en jaune, sont donnés à titre indicatif (ils correspondent à des conditions de sites ou se produisent des entrées halines, qui s'avèrent pollués dans ce cas). Ces 3 espèces d'origine littorale n'entrent pas en compte dans l'assise-taxons servant au calcul de l'indice.

La Figure 32 ci-dessous illustre, par quelques exemples représentatifs, un assortiment de profils de qualité d'espèces incluses dans le nouvel IDR et l'utilisation qui a été faite des profils.

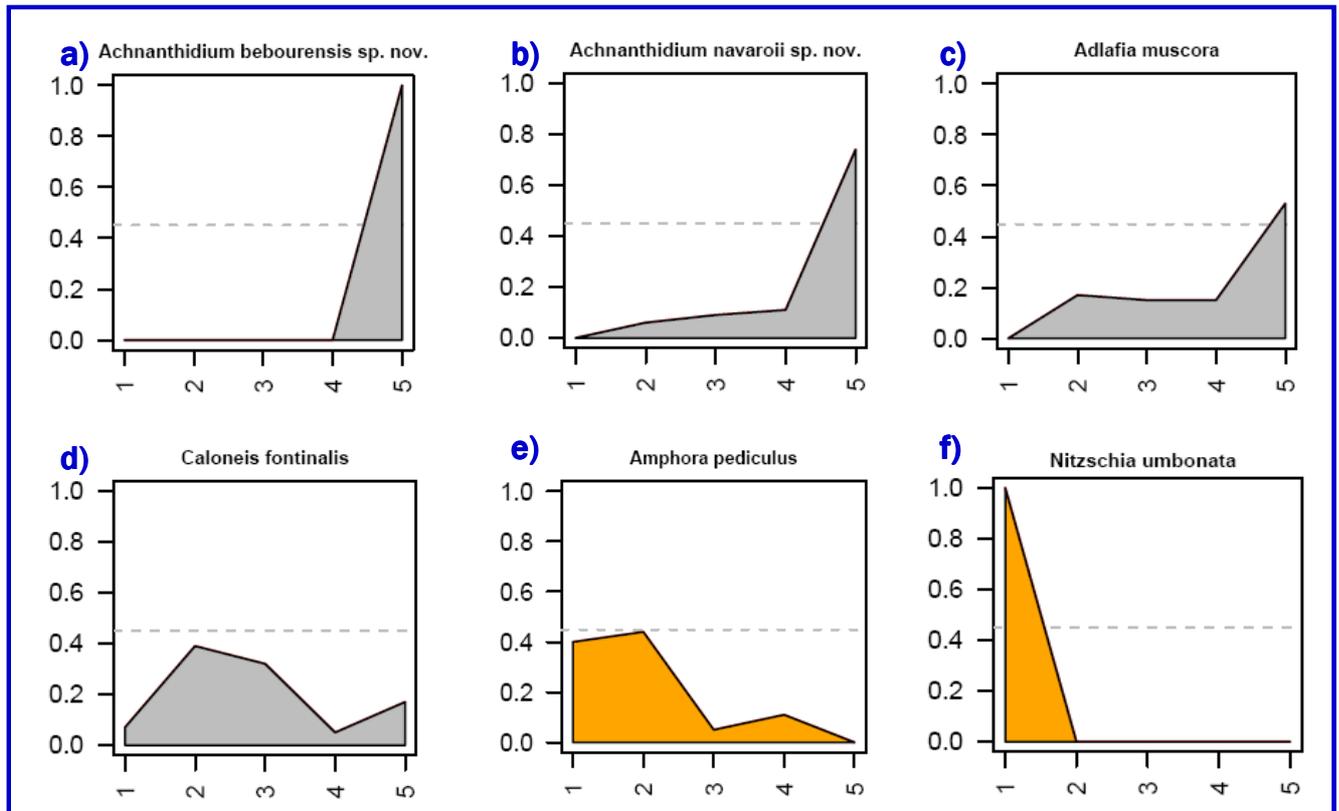


Figure 32 : Quelques exemples variés de profils de qualité d'espèces incluses dans l'IDR

Un premier groupe d'espèces assez nombreuses à la Réunion dans les habitats préservés d'altitude forte ou moyenne, typiques de sites de référence ou de très bonne qualité, présentent un profil identique à celui de l'espèce a) *Achnanthydium bebourensis* avec une probabilité de présence de 100 % dans la classe 5 (très bonne qualité).

En b) et c) sont présentés des profils d'espèces devenant progressivement de moins bonne qualité (altérations diffuses modérées comme on en rencontre beaucoup à la Réunion).

L'espèce d) *Caloneis fontinalis* est typique de milieux déjà sous altération anthropique et signe assez nettement un enrichissement trophique. Cependant, elle n'atteint ni le premier seuil indiqué (seuil supérieur ou égal à 45 % de probabilité d'abondance relative dans la Classe 1), ni aucun des 2 autres (elle n'atteint pas 95 % sur le cumul des Classes 1 + 2). On peut d'ailleurs noter qu'elle est encore fortement présente en Classe 3 (35 %) et de façon non négligeable en Classe 5 (20 %), ce qui dénote une espèce un peu ubiquiste et rendrait délicate son interprétation comme synonyme à coup sûr d'altération anthropique sérieuse dans les milieux amont. Elle n'a donc pas été retenue dans les espèces indicatrices "-".

Le cas de l'espèce e) *Amphora pediculus* est intéressant à présenter pour illustrer le fonctionnement successif des seuils proposés. Elle n'est pas sélectionnée sur le 1^{er} seuil, n'atteignant pas 45 % de probabilité d'abondance dans la Classe 1 (voir trait horizontal pointillé). Elle se situe juste en-dessous de ce seuil, mais a par contre été sélectionnée Taxon "-" sur la base du deuxième : elle dépasse 25 % dans la Classe 1 et dépasse les 80 % de probabilité d'abondance cumulée dans les Classes (1+2), d'où sa figuration de profil de couleur orange.

Le profil f) (*Nitzschia umbonata*) est typique des espèces les plus polluo-résistantes (affectation majoritaire nette dans la Classe 1), que l'on ne peut trouver dans les milieux aquatiques qu'en aval de points de pollution intense, même si éventuellement très localisés. Toutes les espèces ayant un profil de qualité proche de celui présenté sont classées en taxons Indicateurs "-" et leur profil est coloré en orange (cf Annexe 4).

7-2) Liste des taxons entrant dans l'assise de l'indice :

Au bilan, 175 taxons à occurrence supérieure ou égale à 3 (présence dans au moins 3 relevés du jeu de données) ont pu se voir affecter un profil de qualité (les profils des 175 espèces sont exhaustivement présentés en **Annexe 3**), dont 172 typiquement d'eaux douces participent au calcul de l'indice. Naturellement, les profils sont plus solides et représentatifs pour les espèces courantes et présentes en abondances relatives non négligeables, et sont probablement beaucoup moins robustes pour des espèces peu courantes et / ou peu abondantes dans les relevés ou elles sont recensées.

Cette connaissance écologique pourra progresser et être consolidée lorsque des relevés en nombre sensiblement plus important seront devenus disponibles dans le cadre des réseaux et d'autres études.

Toutefois, en l'état, la méthode sera peu bruitée malgré cette connaissance approximative de l'écologie des taxons un peu marginaux, car elle s'appuie seulement sur les taxons à profils typiques d'environnements fortement dégradés (seuillages pré-évoqués pour garantir une nette dominance d'abondance en classes 1 et 2, les plus altérées). Cette façon de faire laisse peu de place à l'erreur d'appréciation, d'autant que des relevés (sites x dates) fortement dégradés existent en plusieurs stations échantillonnées chacune à 4 ou 5 dates.

La liste détaillée des taxons retenus dans l'IDR est présentée en Tableau 7 pages suivantes (nom du taxon, profil de probabilité par classe de qualité, Valeur Indicatrice du taxon (colonne de droite **V.I.**), indiquant à quel groupe indicateur il est rattaché pour le calcul de l'Indice.

Les taxons considérés comme indicateurs d'altérations, dits **Taxons Indicateurs "-"**, sont présentés en début de tableau et sont au nombre de 48. Les cellules correspondantes sont figurées en orange et ils se voient affecter un signe "-" en colonne de droite.

Les **Taxons Indicateurs "+"** sont présentés ensuite. Ils sont au nombre de 124 et sont figurés par une croix bleue dans la colonne **V.I.**

Les 3 taxons figurés en jaune sont liés à des entrées halines. Si on a pu leur calculer un profil de qualité en fonction de la chimie des sites où on les a trouvés, leur présence est essentiellement sous l'influence naturelle des entrées salées et ils ne participent pas au calcul de l'indice.

Tableau 7 : Liste des taxons retenus dans l'IDR (profil de qualité par espèce et valeur indicatrice)

Codes	Taxons diatomiques (1)	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	V. I.
ADEG	Achnanthidium exiguum	0,98	0,01	0,01	0	0	←
ACOP	Amphora cf. copulata	0,97	0,02	0,01	0	0	←
APED	Amphora pediculus	0,40	0,44	0,05	0,11	0	←
COC2	Cocconeis sp. n° 2	0,91	0,09	0	0	0	←
CATO	Cyclotella atomus	1	0	0	0	0	←
CMEN	Cyclotella meneghiniana	0,84	0,05	0,07	0,04	0	←
DCOF	Diadesmis confervacea	0,36	0,45	0,14	0,04	0,01	←
DPUE	Diploneis puella	1	0	0	0	0	←
ENS2	Encyonema sp. n° 2	0,46	0,12	0	0,05	0,37	←
ESBM	Eolimna subminuscula	0,86	0,11	0,03	0	0	←
FPYG	Fallacia pygmaea	1	0	0	0	0	←
FSAP	Fistulifera saprophila	0,54	0,37	0,02	0,06	0,01	←
GSC2	Gomphonema aff. subclavatum 2	0,78	0	0,05	0,09	0,08	←
GPAS	Gomphonema parvulum f. saprophilum	0,95	0,05	0	0	0	←
GOM4	Gomphonema sp. n° 4	0,50	0,15	0	0,34	0,01	←
HLAC	Halamphora acustuciula	1	0	0	0	0	←
HGHA	Halamphora ghanensis	0,95	0,05	0	0	0	←
HLMO	Halamphora montana	0,54	0,46	0	0	0	←
HVEN	Halamphora veneta	0,99	0,01	0	0	0	←
KAAM	Karayevia aff. amoena	1	0	0	0	0	←
LHUN	Lemnicola hungarica	0,79	0,1	0	0,11	0	←
MAPE	Mayamaea permitis	0,74	0,12	0,05	0,09	0	←
NERI	Navicula erifuga	0,48	0,14	0	0,38	0	←
NRIE	Navicula riediana	1	0	0	0	0	←
NSLC	Navicula salinicola	1	0	0	0	0	←
NAS3	Navicula sp. n° 03	1	0	0	0	0	←
NAS4	Navicula sp. n° 04	0,54	0,15	0	0	0,32	←
NAS7	Navicula sp. n° 07	0,48	0	0,01	0	0,51	←
NAS8	Navicula sp. n° 08	0,95	0,01	0	0,04	0	←
NXX1	Navicula sp. n° 11	0,66	0,34	0	0	0	←
NVEN	Navicula veneta	1	0	0	0	0	←
NAFR	Nitzschia amphibia f. frauenfeldii	0,50	0,30	0,14	0	0,05	←
NFIC	Nitzschia conferta	1	0	0	0	0	←
NGRT	Nitzschia granulata	1	0	0	0	0	←
NINC	Nitzschia inconspicua	0,97	0,03	0	0	0	←
NMIC	Nitzschia microcephala	1	0	0	0	0	←
NNYS	Nitzschia nyassensis	1	0	0	0	0	←
NZS2	Nitzschia sp. n° 02	0,83	0	0	0,16	0,01	←
NZS7	Nitzschia sp. n° 07	0,74	0	0,13	0,12	0,01	←
NZX0	Nitzschia sp. n° 30	1	0	0	0	0	←
NSN1	Nitzschia sp. nov. n° 1	1	0	0	0	0	←
NZSU	Nitzschia supralittorea	1	0	0	0	0	←
NUMB	Nitzschia umbonata	1	0	0	0	0	←

Codes	Taxons diatomiques (2)	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	V. I.
RHOS	Rhopalodia sp. n° 1	0,84	0	0	0,1	0,06	←
SMN1	Seminavis sp. n° 1	0,92	0,07	0	0	0	←
SPIN	Staurosirella aff. pinnata	0,84	0,01	0,02	0,01	0,12	←
TDEB	Tryblionella debilis	0,8	0,19	0	0,02	0	←
UACU	Ulnaria acus	0,01	0,93	0	0,01	0,04	←
AINF	Achnanthes inflata	0,03	0,03	0,01	0,43	0,5	+
ARPT	Achnanthes rupestoides	0,02	0,26	0,16	0,07	0,49	+
ADBE	Achnantheidium bebourensis sp. nov.	0	0	0	0	1	+
ADCT	Achnantheidium catenatum	0,02	0,26	0,03	0,18	0,5	+
ADNA	Achnantheidium navaroi sp. nov.	0	0,06	0,09	0,11	0,74	+
ADPN	Achnantheidium panonensis sp. nov.	0	0,39	0,01	0,54	0,05	+
ADC2	Achnantheidium sp. n° 2	0	0	0,14	0	0,86	+
ADSH	Achnantheidium subhudsonis	0	0,06	0,12	0,14	0,68	+
AMUS	Adlafia muscora	0	0,17	0,15	0,15	0,53	+
BBRE	Brachysira brebissonii	0	0	0	0	1	+
CFON	Caloneis fontinalis	0,07	0,39	0,32	0,05	0,17	+
CHS1	Chamaepinnularia sp. n° 1	0	0	0	0	1	+
CEUG	Cocconeis euglypta	0	0,33	0,21	0,2	0,26	+
CPED	Cocconeis pediculus	0,02	0,71	0,17	0,09	0,01	+
COC1	Cocconeis sp. n° 1	0	0,31	0	0,04	0,65	+
CRCD	Crucicostulifera delauneyi sp. nov.	0	0	0	0	1	+
CDMN	Cymbella aff. diminuta	0	0,23	0,23	0,01	0,53	+
CBGF	Cymbella bengaliformis	0,11	0,43	0,13	0,3	0,02	+
CAEX	Cymbella excisa	0,08	0,43	0,44	0,06	0	+
CTRO	Cymbella tropica	0	0,31	0,01	0,5	0,17	+
DDSC	Diadesmis aff. discordabilis	0	0,47	0,09	0	0,44	+
DCOT	Diadesmis contenta	0,01	0,16	0,04	0,38	0,41	+
DVUL	Diatoma vulgare	0,03	0,86	0,09	0,02	0	+
DPST	Discostella pseudostelligera	0	0,66	0,26	0,04	0,03	+
ESLE	Encyonema silesiacum	0	0,55	0,25	0,18	0,01	+
ESTI	Encyonema stigmoideum	0	0	0	0	1	+
ECIL	Encyonopsis cilaosensis sp. nov.	0	0,37	0,08	0,55	0	+
ECP1	Encyonopsis sp. n° 1 sp. nov.	0	0	0	0	1	+
EOMI	Eolimna minima	0,06	0,35	0,11	0,17	0,3	+
EORU	Eolimna ruttneri	0,01	0,3	0,19	0,09	0,41	+
EADN	Epithemia adnata	0	0,01	0,19	0,03	0,78	+
EBI1	Eunotia bilunaris form. 1	0	0,11	0	0,02	0,88	+
EBI2	Eunotia bilunaris form. 2	0	0	0	0	1	+
EBOT	Eunotia botuliformis	0	0	0	0	1	+
EEXI	Eunotia exigua	0	0	0	0	1	+
EMIN	Eunotia minor	0	0	0	0	1	+
FACS	Fallacia aff. crassicostata	0	0,02	0,98	0	0,01	+
FMER	Fallacia meridionalis	0,15	0,82	0	0,03	0	Hal.
FGOU	Fragilaria aff. goulardii	0	0,23	0	0,67	0,1	+
FRA1	Fragilaria sp. n° 1	0	0,31	0,11	0,12	0,46	+

Codes	Taxons diatomiques (3)	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	V. I.
FRA2	<i>Fragilaria</i> sp. n° 2	0,01	0,09	0,02	0,12	0,77	+
FRA3	<i>Fragilaria</i> sp. n° 3	0	0,01	0,03	0,34	0,63	+
FRA8	<i>Fragilaria</i> sp. n° 8	0,16	0,17	0,23	0	0,44	+
FVAU	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	0,01	0,24	0,25	0,19	0,31	+
FCRS	<i>Frustulia crassinervia</i>	0	0	0	0	1	+
FRU4	<i>Frustulia</i> sp. n° 4	0	0	0	0	1	+
GBBO	<i>Geissleria bourbonensis</i>	0	0,05	0,31	0,19	0,45	+
GDEC	<i>Geissleria decussis</i>	0	0,17	0,25	0,17	0,41	+
GMAF	<i>Geissleria mafatensis</i>	0	0	0	0,58	0,42	+
GMAS	<i>Geissleria mascarenensis</i>	0	0,04	0,19	0,3	0,46	+
GMMI	<i>Gomphonéis minuta</i>	0	0,01	0,37	0,22	0,41	+
GADC	<i>Gomphonema</i> aff. <i>acidoclinatum</i>	0,03	0,01	0	0	0,96	+
GDES	<i>Gomphonema</i> aff. <i>designatum</i>	0,03	0,31	0,54	0,01	0,11	+
GSCL	<i>Gomphonema</i> aff. <i>subclavatum</i>	0,01	0,32	0,16	0,04	0,47	+
GARB	<i>Gomphonema afrhombicum</i>	0	0,04	0,05	0,01	0,91	+
GAGV	<i>Gomphonema angustivalva</i>	0	0,09	0	0	0,91	+
GBOB	<i>Gomphonema bourbonense</i>	0,03	0,42	0,14	0,16	0,25	+
GBRA	<i>Gomphonema brasiliense</i> subsp. <i>pacificum</i>	0	0,03	0,04	0,21	0,73	+
GCLE	<i>Gomphonema clevei</i>	0,01	0,3	0,15	0,33	0,22	+
GCUV	<i>Gomphonema curvipedatum</i>	0	0	0,46	0,14	0,4	+
GLGN	<i>Gomphonema lagenula</i>	0,06	0,69	0	0,19	0,06	+
GLTC	<i>Gomphonema laticollum</i>	0	0,32	0,17	0,33	0,18	+
GMIN	<i>Gomphonema minutum</i>	0,01	0,45	0,1	0,08	0,36	+
GPAR	<i>Gomphonema parvulum</i>	0,04	0,83	0,01	0,07	0,05	+
GPRI	<i>Gomphonema pumilum</i> var <i>rigidum</i>	0,03	0,4	0,21	0,21	0,16	+
GOM3	<i>Gomphonema</i> sp. n° 3	0,13	0,36	0,16	0,08	0,26	+
GOM7	<i>Gomphonema</i> sp. n° 7	0	0,06	0,94	0	0	+
GOM8	<i>Gomphonema</i> sp. n° 8	0,22	0,08	0,09	0,61	0	+
GOM9	<i>Gomphonema</i> sp. n° 9	0	0,07	0,31	0,62	0	+
GYAC	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	0	0,04	0,01	0,94	0	+
KBEB	<i>Kobayasiella bebourensis</i> sp. nov.	0	0	0	0	1	+
LGOE	<i>Luticola goeppertiana</i>	0,42	0,03	0,04	0,04	0,46	+
MVAR	<i>Melosira varians</i>	0	0,2	0,07	0,25	0,48	+
NCRX	<i>Navicula</i> aff. <i>crassuliexigua</i>	0	0,25	0,06	0,1	0,59	+
NCRY	<i>Navicula</i> aff. <i>cryptocephala</i>	0,01	0,37	0,06	0,16	0,39	+
NCPR	<i>Navicula capitatoradiata</i>	0,03	0,36	0,11	0,22	0,29	+
NCTE	<i>Navicula cryptotenella</i>	0	0,11	0,24	0,23	0,42	+
NESC	<i>Navicula escambia</i>	0,09	0,61	0,04	0,15	0,11	+
NGRE	<i>Navicula gregaria</i>	0,02	0,56	0,15	0,22	0,05	+
NNOT	<i>Navicula notha</i>	0	0,3	0,26	0,07	0,37	+
NQDJ	<i>Navicula quasidisjuncta</i>	0,01	0,8	0,18	0	0,01	+
NRAN	<i>Navicula ranomafanensis</i>	0	0,03	0,01	0,8	0,16	+
NROS	<i>Navicula rostellata</i>	0,04	0,33	0,01	0,62	0	+
NAS1	<i>Navicula</i> sp. n° 01	0	0,11	0	0,82	0,07	+
NAS2	<i>Navicula</i> sp. n° 02	0	0,44	0,08	0,18	0,3	+

Codes	Taxons diatomiques (4)	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	V. I.
NXX5	Navicula sp. n° 15	0	0	0	0,78	0,22	+
NTPT	Navicula tripunctata	0	0,38	0,07	0,5	0,04	+
NVDA	Navicula vandamii	0	0,73	0,01	0,25	0,01	+
NZAB	Nitzschia abbreviata	0,02	0,29	0,25	0,32	0,13	+
NAGN	Nitzschia agnita	0	0,15	0,15	0,7	0	+
NAMP	Nitzschia amphibia	0,07	0,3	0,19	0,11	0,34	+
NZBO	Nitzschia bourbonensis sp. nov.	0,13	0,23	0,15	0,13	0,35	+
NCLA	Nitzschia clausii	0,39	0,14	0	0,47	0	+
NDIS	Nitzschia dissipata	0,1	0,65	0,08	0,17	0	+
NEPD	Nitzschia epiphyticoides	0	0	0,87	0	0,13	+
NFIL	Nitzschia filiformis	0,03	0,91	0	0,06	0	Hal.
NFON	Nitzschia fonticola	0,13	0,39	0,22	0,12	0,15	+
NLAL	Nitzschia labella	0,01	0,21	0,16	0,21	0,41	+
NLIN	Nitzschia linearis	0,37	0,28	0,15	0,1	0,1	+
NPAL	Nitzschia palea	0,19	0,59	0,04	0,18	0,01	+
NIPF	Nitzschia paleaeformis	0	0	0,39	0	0,61	+
NSOL	Nitzschia solgensis	0,01	0,46	0,26	0,06	0,2	+
NZS1	Nitzschia sp. n° 01	0	0,09	0,77	0,14	0	+
NZS8	Nitzschia sp. n° 08	0	0,1	0,85	0,02	0,03	+
NZS9	Nitzschia sp. n° 09	0	0,27	0,01	0,01	0,71	+
NZZ1	Nitzschia sp. n° 11	0	0	0,02	0	0,98	+
NZY1	Nitzschia sp. n° 21	0	0	1	0	0	+
NZY7	Nitzschia sp. n° 27	0,36	0,59	0	0,05	0	Hal.
NSN2	Nitzschia sp. nov. n° 2	0	0,23	0,31	0,38	0,08	+
NTRO	Nitzschia tropica	0	0,18	0,27	0,2	0,34	+
PMIC	Pinnularia microstauron	0	0,06	0,08	0,87	0	+
PLBI	Planothidium biporumum	0	0,02	0,92	0,06	0	+
PLFR	Planothidium frequentissimum	0,04	0,28	0,03	0,55	0,1	+
PTLA	Planothidium lanceolatum	0	0,08	0,61	0,19	0,12	+
PRBU	Planothidium robustius	0	0,25	0,08	0,26	0,41	+
PRS1	Planothidium rostratum form. 1	0,01	0,11	0,05	0,1	0,73	+
PRS2	Planothidium rostratum form. 2	0,09	0,08	0,72	0	0,11	+
PTD2	Planothidium sp. n° 2	0	0	0,99	0	0,01	+
RABB	Rhoicosphenia abbreviata	0,01	0,23	0,51	0,17	0,08	+
RGIB	Rhopalodia gibba	0,18	0,01	0,16	0,26	0,39	+
RHIR	Rhopalodia hirundiniformis	0	0,31	0,19	0,16	0,34	+
SSEM	Sellaphora seminulum	0,12	0,12	0,26	0,07	0,44	+
STB1	Stenopterobia sp. n° 1	0	0	0	0	1	+
SANG	Surirella angusta	0	0,68	0	0,32	0	+
UBIC	Ulnaria biceps	0,02	0,31	0,07	0,21	0,39	+
ULAN	Ulnaria lanceolata	0	0,21	0,23	0,32	0,24	+
UULN	Ulnaria ulna	0,02	0,14	0,15	0,61	0,08	+

7-3) Formulation de l'Indice Diatomique Réunion (IDR) :

Après repérage et enlèvement des profils de 3 taxons typiquement halophiles, la formule de l'IDR s'appuie sur les **172 espèces d'eau douce** auxquelles il a été possible d'affecter un profil de qualité, réparties en **48 Taxons Indicateurs "-"**, espèces synonymes d'altérations, et **124 Taxons Indicateurs "+"**.

Sont mobilisées :

- la **somme des abondances relatives des espèces "+"** (Somme Ab "+") et la **somme des abondances relatives des espèces "-"** (Somme Ab "-"),
- la **somme des abondances des espèces du relevé ayant un profil dans l'indice** (Tot.)
- le **nombre d'espèces "+"** (Nb Espèces "+"), le **nombre d'espèces "-"** (Nb Espèces "-"),
- la **richesse spécifique du relevé** (RS), soit le nombre de taxons différents présents dans le relevé et faisant partie de l'assise de l'indice (parmi les 172 taxons présélectionnés)

⇒ Calcul de la note d'IDR pour un relevé :

$$\text{IDR}_{(-100,100)} = \frac{[\text{Somme Ab "+"} * (\text{Nb Espèces "+"} / \text{RS})] - [\text{Somme Ab "-" } * (\text{Nb Espèces "-" } / \text{RS})]}{\text{Tot}/100}$$

Cette échelle (-100, 100) couvre une étendue de 200 unités.

⇒ Pour convertir cette note en note sur 20, Il suffit de :

- réaliser une translation $(-100, 100) \Rightarrow (0,200)$ en ajoutant 100 au numérateur
- diviser par 10 pour réduire l'échelle de 200 à 20 unités

⇒ Soit :

$$\text{IDR}_{(0-20)} = \frac{100 + [\text{note IDR}_{(-100,100)}]}{10}$$

⇒ Valeurs-seuils de classes :

(*valeur ≥ au seuil = seuil de déclassement non atteint*)

[-100]	rouge	[-38]	orange	[25]	jaune	[87]	vert	[95]	bleu	[100]
										
[0]		[6,5]		[12,5]		[18,7]		[19,5]		[20]

Il est tout-à-fait possible de ré-examiner et adapter par la suite cette proposition de limites de classes au contexte de la Réunion en tenant compte de ses spécificités et d'objectifs de gestion.

Tableau 8 : Notes indicielles obtenues sur les 267 inventaires biologiques exploitables

N°	Code (site X date)	Station	Campagne	Date prélèvement	Code OLE	Indice (-100_100)	Indice (0_20)	couleur	classe
1	BCAA	Grand Bras de Cilaos - Le Pavillon	A	20/11/2008	34077	91,4	19,1	green	G
51	BCAB	Grand Bras de Cilaos - Le Pavillon	B	24/04/2009	34077	63,0	16,3	yellow	M
104	BCAC	Grand Bras de Cilaos - Le Pavillon	C	27/10/2009	34077	89,4	18,9	green	G
159	BCAD	Grand Bras de Cilaos - Le Pavillon	D	24/04/2010	34077	79,0	17,9	yellow	M
213	BCAE	Grand Bras de Cilaos - Le Pavillon	E	19/10/2010	34077	89,0	18,9	green	G
2	BCBA	Bras de Cilaos - Ilet Furcy	A	20/11/2008	34079	90,6	19,1	green	G
52	BCBB	Bras de Cilaos - Ilet Furcy	B	24/04/2009	34079	14,2	11,4	orange	P
105	BCBC	Bras de Cilaos - Ilet Furcy	C	27/10/2009	34079	90,2	19,0	green	G
160	BCBD	Bras de Cilaos - Ilet Furcy	D	24/04/2010	34079	83,2	18,3	green	G
214	BCBE	Bras de Cilaos - Ilet Furcy	E	19/10/2010	34079	68,2	16,8	yellow	M
3	BEAA	Bras des Etangs - Anciens Thermes	A	20/11/2008	18800	53,0	15,3	yellow	M
53	BEAB	Bras des Etangs - Anciens Thermes	B	24/04/2009	18800	83,4	18,3	green	G
106	BEAC	Bras des Etangs - Anciens Thermes	C	27/10/2009	18800	84,6	18,5	green	G
161	BEAD	Bras des Etangs - Anciens Thermes	D	24/04/2010	18800	69,8	17,0	yellow	M
215	BEAE	Bras des Etangs - Anciens Thermes	E	19/10/2010	18800	60,2	16,0	yellow	M
4	BNAA	Bras de Benjoin - Sentier 3 Mares-Bras Sec	A	20/11/2008	18121	93,6	19,4	green	G
54	BNAB	Bras de Benjoin - Sentier 3 Mares-Bras Sec	B	24/04/2009	18121	86,0	18,6	green	G
107	BNAC	Bras de Benjoin - Sentier 3 Mares-Bras Sec	C	27/10/2009	18121	94,4	19,4	blue	HG
162	BNAD	Bras de Benjoin - Sentier 3 Mares-Bras Sec	D	24/04/2010	18121	93,6	19,4	green	G
216	BNAE	Bras de Benjoin - Sentier 3 Mares-Bras Sec	E	19/10/2010	18121	91,2	19,1	green	G
55	BPAB	Le Bras Panon aux Avocats	B	28/04/2009	23008	85,6	18,6	green	G
108	BPAC	Le Bras Panon aux Avocats	C	28/10/2009	23008	96,8	19,7	blue	HG
163	BPAD	Le Bras Panon aux Avocats	D	28/04/2010	23008	95,8	19,6	blue	HG
217	BPAE	Le Bras Panon aux Avocats	E	12/10/2010	23008	95,6	19,6	blue	HG
5	BSAA	Bras de Ste-Suzanne à Mafate - Amt captage ILO	A	27/11/2008	14286	100,0	20,0	blue	HG
56	BSAB	Bras de Ste-Suzanne à Mafate - Amt captage ILO	B	20/05/2009	14286	100,0	20,0	blue	HG
109	BSAC	Bras de Ste-Suzanne à Mafate - Amt captage ILO	C	04/11/2009	14286	100,0	20,0	blue	HG
164	BSAD	Bras de Ste-Suzanne à Mafate - Amt captage ILO	D	27/04/2010	14286	89,6	19,0	green	G
218	BSAE	Bras de Ste-Suzanne à Mafate - Amt captage ILO	E	27/10/2010	14286	100,0	20,0	blue	HG
6	CMAA	Ravine du Cimetière - St-Paul	A	26/11/2008	16800	41,5	14,2	yellow	M
57	CMAB	Ravine du Cimetière - St-Paul	B	11/05/2009	16800	-16,7	8,3	orange	P
110	CMAC	Ravine du Cimetière - St-Paul	C	02/11/2009	16800	-72,2	2,8	red	B
165	CMAD	Ravine du Cimetière - St-Paul	D	03/05/2010	16800	-24,4	7,6	orange	P
219	CMAE	Ravine du Cimetière - St-Paul	E	25/10/2010	16800	-27,4	7,3	orange	P
111	CVAC	Bras de Caverne - Amt confluence Rre du Mât	C	21/10/2009	22079	95,6	19,6	blue	HG
166	CVAD	Bras de Caverne - Amt confluence Rre du Mât	D	01/05/2010	22079	96,8	19,7	blue	HG
220	CVAE	Bras de Caverne - Amt confluence Rre du Mât	E	20/10/2010	22079	100,0	20,0	blue	HG
7	DNAA	Rivière St-Denis - Amt Captage AEP	A	13/11/2008	14015	93,8	19,4	green	G
58	DNAB	Rivière St-Denis - Amt Captage AEP	B	28/04/2009	14015	89,4	18,9	green	G
112	DNAC	Rivière St-Denis - Amt Captage AEP	C	20/10/2009	14015	100,0	20,0	blue	HG
167	DNAD	Rivière St-Denis - Amt Captage AEP	D	04/05/2010	14015	95,6	19,6	blue	HG
221	DNAE	Rivière St-Denis - Amt Captage AEP	E	21/10/2010	14015	93,8	19,4	green	G
8	DNBA	Rivière St-Denis - Aplomb d'Ilet à Guillaume	A	24/11/2008	14800	92,6	19,3	green	G
59	DNBB	Rivière St-Denis - Aplomb d'Ilet à Guillaume	B	07/05/2009	14800	95,8	19,6	blue	HG
113	DNBC	Rivière St-Denis - Aplomb d'Ilet à Guillaume	C	23/10/2009	14800	90,8	19,1	green	G
168	DNBD	Rivière St-Denis - Aplomb d'Ilet à Guillaume	D	04/05/2010	14800	100,0	20,0	blue	HG
222	DNBE	Rivière St-Denis - Aplomb d'Ilet à Guillaume	E	21/10/2010	14800	90,6	19,1	green	G
9	DNCA	Rivière St-Denis - Pont Vinh San	A	24/11/2008	14362	84,0	18,4	green	G
60	DNCB	Rivière St-Denis - Pont Vinh San	B	28/04/2009	14362	80,0	18,0	yellow	M
114	DNCC	Rivière St-Denis - Pont Vinh San	C	20/10/2009	14362	96,8	19,7	blue	HG
169	DNCD	Rivière St-Denis - Pont Vinh San	D	04/05/2010	14362	100,0	20,0	blue	HG
223	DNCE	Rivière St-Denis - Pont Vinh San	E	21/10/2010	14362	94,4	19,4	blue	HG
10	ERAA	Ravine de l'Ermitage - l'Ermitage	A	26/11/2008	15109	-78,6	2,1	red	B
61	ERAB	Ravine de l'Ermitage - l'Ermitage	B	11/05/2009	15109	-47,2	5,3	red	B
115	ERAC	Ravine de l'Ermitage - l'Ermitage	C	02/11/2009	15109	-82,5	1,7	red	B
170	ERAD	Ravine de l'Ermitage - l'Ermitage	D	03/05/2010	15109	-91,8	0,8	red	B
224	ERAE	Ravine de l'Ermitage - l'Ermitage	E	11/10/2010	15109	-91,0	0,9	red	B
11	ESAA	Rivière de l'Est aval	A	01/12/2008	28019	100,0	20,0	blue	HG
62	ESAB	Rivière de l'Est aval	B	27/04/2009	28019	75,8	17,6	yellow	M
116	ESAC	Rivière de l'Est aval	C	02/11/2009	28019	90,4	19,0	green	G
171	ESAD	Rivière de l'Est aval	D	29/04/2010	28019	100,0	20,0	blue	HG
225	ESAE	Rivière de l'Est aval	E	18/10/2010	28019	100,0	20,0	blue	HG

N°	Code (site X date)	Station	Campagne	Date prélèvement	Code OLE	Indice (-100_100)	Indice (0_20)	couleur	classe
12	ETAA	Ravine de l'Etang - Amt Grand Etang	A	01/12/2008	26083	100,0	20,0	blue	HG
63	ETAB	Ravine de l'Etang - Amt Grand Etang	B	27/04/2009	26083	100,0	20,0	blue	HG
117	ETAC	Ravine de l'Etang - Amt Grand Etang	C	26/10/2009	26083	100,0	20,0	blue	HG
172	ETAD	Ravine de l'Etang - Amt Grand Etang	D	05/05/2010	26083	92,6	19,3	green	G
226	ETAE	Ravine de l'Etang - Amt Grand Etang	E	13/10/2010	26083	92,8	19,3	green	G
13	FJAA	Rivière Fleurs Jaunes - CD 52	A	28/11/2008	25027	87,2	18,7	green	G
64	FJAB	Rivière Fleurs Jaunes - CD 52	B	01/05/2009	25027	75,0	17,5	yellow	M
118	FJAC	Rivière Fleurs Jaunes - CD 52	C	30/10/2009	25027	88,2	18,8	green	G
173	FJAD	Rivière Fleurs Jaunes - CD 52	D	05/05/2010	25027	100,0	20,0	blue	HG
227	FJAE	Rivière Fleurs Jaunes - CD 52	E	15/10/2010	25027	91,4	19,1	green	G
14	FJBA	Rivière Fleurs Jaunes - Amt Barrage ILO Salazie	A	19/11/2008	25031	100,0	20,0	blue	HG
65	FJBB	Rivière Fleurs Jaunes - Amt Barrage ILO Salazie	B	13/05/2009	25031	89,4	18,9	green	G
119	FJBC	Rivière Fleurs Jaunes - Amt Barrage ILO Salazie	C	21/10/2009	25031	95,2	19,5	blue	HG
174	FJBD	Rivière Fleurs Jaunes - Amt Barrage ILO Salazie	D	14/04/2010	25031	82,6	18,3	green	G
228	FJBE	Rivière Fleurs Jaunes - Amt Barrage ILO Salazie	E	20/10/2010	25031	86,8	18,7	green	G
15	GJAA	Gd Bras de la Gde Rivière St-Jean - Captage AEP	A	24/11/2008	22011	100,0	20,0	blue	HG
66	GJAB	Gd Bras de la Gde Rivière St-Jean - Captage AEP	B	04/05/2009	22011	100,0	20,0	blue	HG
120	GJAC	Gd Bras de la Gde Rivière St-Jean - Captage AEP	C	19/10/2009	22011	100,0	20,0	blue	HG
175	GJAD	Gd Bras de la Gde Rivière St-Jean - Captage AEP	D	22/04/2010	22011	100,0	20,0	blue	HG
229	GJAE	Gd Bras de la Gde Rivière St-Jean - Captage AEP	E	12/10/2010	22011	93,8	19,4	green	G
16	GLAA	Rivière des Galets - Marla	A	28/11/2008	18801	100,0	20,0	blue	HG
67	GLAB	Rivière des Galets - Marla	B	30/04/2009	18801	86,6	18,7	green	G
121	GLAC	Rivière des Galets - Marla	C	29/10/2009	18801	100,0	20,0	blue	HG
176	GLAD	Rivière des Galets - Marla	D	04/05/2010	18801	92,8	19,3	green	G
230	GLAE	Rivière des Galets - Marla	E	14/10/2010	18801	100,0	20,0	blue	HG
17	GLBA	Rivière des Galets - Trois Roches	A	28/11/2008	18105	100,0	20,0	blue	HG
68	GLBB	Rivière des Galets - Trois Roches	B	30/04/2009	18105	100,0	20,0	blue	HG
122	GLBC	Rivière des Galets - Trois Roches	C	29/10/2009	18105	100,0	20,0	blue	HG
177	GLBD	Rivière des Galets - Trois Roches	D	05/05/2010	18105	93,8	19,4	green	G
231	GLBE	Rivière des Galets - Trois Roches	E	14/10/2010	18105	100,0	20,0	blue	HG
18	GLCA	Rivière des Galets Mafate - Amt captage ILO	A	27/11/2008	17055	100,0	20,0	blue	HG
69	GLCB	Rivière des Galets Mafate - Amt captage ILO	B	29/04/2009	17055	87,4	18,7	green	G
123	GLCC	Rivière des Galets Mafate - Amt captage ILO	C	04/11/2009	17055	89,4	18,9	green	G
178	GLCD	Rivière des Galets Mafate - Amt captage ILO	D	27/04/2010	17055	100,0	20,0	blue	HG
232	GLCE	Rivière des Galets Mafate - Amt captage ILO	E	27/10/2010	17055	88,4	18,8	green	G
19	GLDA	Rivière des Galets - Ilet Malldé	A	27/11/2008	13093	100,0	20,0	blue	HG
70	GLDB	Rivière des Galets - Ilet Malldé	B	29/04/2009	13093	82,8	18,3	green	G
124	GLDC	Rivière des Galets - Ilet Malldé	C	04/11/2009	13093	100,0	20,0	blue	HG
179	GLDD	Rivière des Galets - Ilet Malldé	D	27/04/2010	13093	100,0	20,0	blue	HG
233	GLDE	Rivière des Galets - Ilet Malldé	E	27/10/2010	13093	100,0	20,0	blue	HG
71	GOAB	Ravine du Gol - Bel Air	B	11/05/2009	37101	68,4	16,8	yellow	M
125	GOAC	Ravine du Gol - Bel Air	C	02/11/2009	37101	51,8	15,2	yellow	M
180	GOAD	Ravine du Gol - Bel Air	D	03/05/2010	37101	10,0	11,0	orange	P
234	GOAE	Ravine du Gol - Bel Air	E	25/10/2010	37101	60,4	16,0	yellow	M
20	GSAA	Bras de Ste-Suzanne - Gd Bassin (600 m amt cascade)	A	04/12/2008	41016	100,0	20,0	blue	HG
72	GSAB	Bras de Ste-Suzanne - Gd Bassin (600 m amt cascade)	B	05/05/2009	41016	88,4	18,8	green	G
126	GSAC	Bras de Ste-Suzanne - Gd Bassin (600 m amt cascade)	C	03/11/2009	41016	100,0	20,0	blue	HG
181	GSAD	Bras de Ste-Suzanne - Gd Bassin (600 m amt cascade)	D	30/04/2010	41016	87,4	18,7	green	G
235	GSAE	Bras de Ste-Suzanne - Gd Bassin (600 m amt cascade)	E	26/10/2010	41016	100,0	20,0	blue	HG
21	LGAA	Ravine des Sept Bras - Cap Blanc	A	18/11/2008	46138	92,4	19,2	green	G
73	LGAB	Ravine des Sept Bras - Cap Blanc	B	25/04/2009	46138	89,4	18,9	green	G
127	LGAC	Ravine des Sept Bras - Cap Blanc	C	22/10/2009	46138	95,6	19,6	blue	HG
182	LGAD	Ravine des Sept Bras - Cap Blanc	D	23/04/2010	46138	100,0	20,0	blue	HG
236	LGAE	Ravine des Sept Bras - Cap Blanc	E	22/10/2010	46138	88,6	18,9	green	G
22	LGBA	Rivière Langevin - Cascade Grand Galet	A	18/11/2008	46078	93,6	19,4	green	G
74	LGBB	Rivière Langevin - Cascade Grand Galet	B	25/04/2009	46078	100,0	20,0	blue	HG
128	LGBC	Rivière Langevin - Cascade Grand Galet	C	22/10/2009	46078	100,0	20,0	blue	HG
183	LGBD	Rivière Langevin - Cascade Grand Galet	D	23/04/2010	46078	94,6	19,5	blue	HG
237	LGBE	Rivière Langevin - Cascade Grand Galet	E	22/10/2010	46078	92,2	19,2	green	G
23	LGCA	Rivière Langevin - la Passerelle	A	18/11/2008	46050	92,2	19,2	green	G
75	LGCB	Rivière Langevin - la Passerelle	B	25/04/2009	46050	91,2	19,1	green	G
129	LGCC	Rivière Langevin - la Passerelle	C	22/10/2009	46050	93,8	19,4	green	G
184	LGCD	Rivière Langevin - la Passerelle	D	23/04/2010	46050	95,4	19,5	blue	HG
238	LGCE	Rivière Langevin - la Passerelle	E	22/10/2010	46050	100,0	20,0	blue	HG
24	LGDA	Rivière Langevin - Bassin Tamarin à Langevin	A	18/11/2008	46090	100,0	20,0	blue	HG
76	LGDB	Rivière Langevin - Bassin Tamarin à Langevin	B	25/04/2009	46090	88,0	18,8	green	G
130	LGDC	Rivière Langevin - Bassin Tamarin à Langevin	C	22/10/2009	46090	89,4	18,9	green	G
185	LGDD	Rivière Langevin - Bassin Tamarin à Langevin	D	23/04/2010	46090	90,2	19,0	green	G
239	LGDE	Rivière Langevin - Bassin Tamarin à Langevin	E	22/10/2010	46090	95,6	19,6	blue	HG

N°	Code (site X date)	Station	Campagne	Date prélèvement	Code OLE	Indice (-100_100)	Indice (0_20)	couleur	classe
25	LNAA	Bras des Lianes - Bellevue les Hauts	A	25/11/2008	26008	95,8	19,6	blue	HG
77	LNAB	Bras des Lianes - Bellevue les Hauts	B	04/05/2009	26008	100,0	20,0	blue	HG
131	LNAC	Bras des Lianes - Bellevue les Hauts	C	23/10/2009	26008	91,0	19,1	green	G
186	LNAD	Bras des Lianes - Bellevue les Hauts	D	25/04/2010	26008	93,2	19,3	green	G
240	LNAE	Bras des Lianes - Bellevue les Hauts	E	11/10/2010	26008	100,0	20,0	blue	HG
26	MAAA	Rivière du Mât - Ilet à Vidot	A	19/11/2008	25026	100,0	20,0	blue	HG
78	MAAB	Rivière du Mât - Ilet à Vidot	B	13/05/2009	25026	88,4	18,8	green	G
132	MAAC	Rivière du Mât - Ilet à Vidot	C	21/10/2009	25026	71,6	17,2	yellow	M
187	MAAD	Rivière du Mât - Ilet à Vidot	D	01/05/2010	25026	92,4	19,2	green	G
241	MAAE	Rivière du Mât - Ilet à Vidot	E	15/10/2010	25026	94,8	19,5	blue	HG
27	MABA	Rivière du Mât à Salazie - Amt barrage ILO	A	19/11/2008	25032	87,8	18,8	green	G
79	MABB	Rivière du Mât à Salazie - Amt barrage ILO	B	13/05/2009	25032	88,8	18,9	green	G
133	MABC	Rivière du Mât à Salazie - Amt barrage ILO	C	21/10/2009	25032	80,6	18,1	green	G
188	MABD	Rivière du Mât à Salazie - Amt barrage ILO	D	14/04/2010	25032	50,8	15,1	yellow	M
242	MABE	Rivière du Mât à Salazie - Amt barrage ILO	E	20/10/2010	25032	88,6	18,9	green	G
28	MACA	Rivière du Mât - l'Escaller	A	19/11/2008	22078	93,4	19,3	green	G
134	MACC	Rivière du Mât - l'Escaller	C	21/10/2009	22078	90,6	19,1	green	G
189	MACD	Rivière du Mât - l'Escaller	D	01/05/2010	22078	79,0	17,9	yellow	M
243	MACE	Rivière du Mât - l'Escaller	E	20/10/2010	22078	80,8	18,1	green	G
29	MADA	Rivière du Mât à l'embouchure - Bras de Pierre	A	01/12/2008	23060	86,4	18,6	green	G
80	MADB	Rivière du Mât à l'embouchure - Bras de Pierre	B	29/04/2009	23060	70,4	17,0	yellow	M
135	MADC	Rivière du Mât à l'embouchure - Bras de Pierre	C	19/10/2009	23060	93,8	19,4	green	G
190	MADD	Rivière du Mât à l'embouchure - Bras de Pierre	D	22/04/2010	23060	45,5	14,6	yellow	M
244	MAD E	Rivière du Mât à l'embouchure - Bras de Pierre	E	16/10/2010	23060	93,0	19,3	green	G
81	MNAB	Ravine du Maniron - Plateau du Gol	B	11/05/2009	37800	-84,0	1,6	red	B
136	MNAC	Ravine du Maniron - Plateau du Gol	C	02/11/2009	37800	-42,6	5,7	red	B
191	MNAD	Ravine du Maniron - Plateau du Gol	D	03/05/2010	37800	-75,1	2,5	red	B
245	MNAE	Ravine du Maniron - Plateau du Gol	E	25/10/2010	37800	-76,8	2,3	red	B
30	MRAA	Rivière des Marsouins - Plaine Palmistes - Bébou	A	17/11/2008	25058	100,0	20,0	blue	HG
82	MRAB	Rivière des Marsouins - Plaine Palmistes - Bébou	B	27/04/2009	25058	100,0	20,0	blue	HG
137	MRAC	Rivière des Marsouins - Plaine Palmistes - Bébou	C	28/10/2009	25058	100,0	20,0	blue	HG
192	MRAD	Rivière des Marsouins - Plaine Palmistes - Bébou	D	25/04/2010	25058	100,0	20,0	blue	HG
246	MRAE	Rivière des Marsouins - Plaine Palmistes - Bébou	E	18/10/2010	25058	100,0	20,0	blue	HG
31	MRBA	Rivière des Marsouins - Takamaka 1	A	17/11/2008	26800	94,8	19,5	blue	HG
83	MRBB	Rivière des Marsouins - Takamaka 1	B	02/05/2009	26800	96,8	19,7	blue	HG
138	MRBC	Rivière des Marsouins - Takamaka 1	C	26/10/2009	26800	100,0	20,0	blue	HG
247	MRBE	Rivière des Marsouins - Takamaka 1	E	12/10/2010	26800	100,0	20,0	blue	HG
32	MRCA	Rivière des Marsouins - Bethléem	A	25/11/2008	27054	94,8	19,5	blue	HG
84	MRCB	Rivière des Marsouins - Bethléem	B	27/04/2009	27054	100,0	20,0	blue	HG
139	MRC C	Rivière des Marsouins - Bethléem	C	28/10/2009	27054	100,0	20,0	blue	HG
193	MRC D	Rivière des Marsouins - Bethléem	D	25/04/2010	27054	100,0	20,0	blue	HG
248	MRC E	Rivière des Marsouins - Bethléem	E	12/10/2010	27054	92,6	19,3	green	G
33	MRDA	Rivière des Marsouins - 50 m aval RN2	A	01/12/2008	27107	95,4	19,5	blue	HG
85	MRDB	Rivière des Marsouins - 50 m aval RN2	B	27/04/2009	27107	94,8	19,5	blue	HG
140	MRDC	Rivière des Marsouins - 50 m aval RN2	C	28/10/2009	27107	93,6	19,4	green	G
194	MRDE	Rivière des Marsouins - 50 m aval RN2	D	28/04/2010	27107	100,0	20,0	blue	HG
249	MRDE	Rivière des Marsouins - 50 m aval RN2	E	12/10/2010	27107	100,0	20,0	blue	HG
34	PLAA	Rivière des Pluies Ilet Quinquina - Amt Canal la Mare	A	02/12/2008	21018	92,0	19,2	green	G
86	PLAB	Rivière des Pluies Ilet Quinquina - Amt Canal la Mare	B	28/04/2009	21018	84,9	18,5	green	G
141	PLAC	Rivière des Pluies Ilet Quinquina - Amt Canal la Mare	C	20/10/2009	21018	100,0	20,0	blue	HG
195	PLAD	Rivière des Pluies Ilet Quinquina - Amt Canal la Mare	D	20/04/2010	21018	72,2	17,2	yellow	M
250	PLAE	Rivière des Pluies Ilet Quinquina - Amt Canal la Mare	E	13/10/2010	21018	100,0	20,0	blue	HG
35	PLBA	Rivière des Pluies Aplomb Piton Tanan -Avl Rav Diable	A	02/12/2008	14287	100,0	20,0	blue	HG
87	PLBB	Rivière des Pluies Aplomb Piton Tanan -Avl Rav Diable	B	28/04/2009	14287	100,0	20,0	blue	HG
142	PLBC	Rivière des Pluies Aplomb Piton Tanan -Avl Rav Diable	C	20/10/2009	14287	100,0	20,0	blue	HG
196	PLBD	Rivière des Pluies Aplomb Piton Tanan -Avl Rav Diable	D	20/04/2010	14287	74,4	17,4	yellow	M
251	PLBE	Rivière des Pluies Aplomb Piton Tanan -Avl Rav Diable	E	13/10/2010	14287	100,0	20,0	blue	HG
36	PLCA	Rivière des Pluies - Embouchure	A	02/12/2008	21128	87,0	18,7	green	G
88	PLCB	Rivière des Pluies - Embouchure	B	02/05/2009	21128	78,8	17,9	yellow	M
143	PLCC	Rivière des Pluies - Embouchure	C	20/10/2009	21128	88,6	18,9	green	G
197	PLCD	Rivière des Pluies - Embouchure	D	03/05/2010	21128	91,6	19,2	green	G
252	PLCE	Rivière des Pluies - Embouchure	E	11/10/2010	21128	95,0	19,5	blue	HG
37	PNA A	Bras de la Plaine - Amt Captage SAPHIR	A	05/12/2008	41012	100,0	20,0	blue	HG
89	PNA B	Bras de la Plaine - Amt Captage SAPHIR	B	06/05/2009	41012	79,6	18,0	yellow	M
144	PNA C	Bras de la Plaine - Amt Captage SAPHIR	C	03/11/2009	41012	100,0	20,0	blue	HG
198	PNA D	Bras de la Plaine - Amt Captage SAPHIR	D	26/04/2010	41012	72,4	17,2	yellow	M
253	PNA E	Bras de la Plaine - Amt Captage SAPHIR	E	23/10/2010	41012	92,8	19,3	green	G

N°	Code (site X date)	Station	Campagne	Date prélèvement	Code OLE	Indice (-100_100)	Indice (0_20)	couleur	classe
38	PNBA	Bras de la Plaine à l'ilet du Bras Sec - Aval puits AEP	A	05/12/2008	41030	100,0	20,0	blue	HG
90	PNBB	Bras de la Plaine à l'ilet du Bras Sec - Aval puits AEP	B	06/05/2009	41030	95,8	19,6	blue	HG
145	PNBC	Bras de la Plaine à l'ilet du Bras Sec - Aval puits AEP	C	03/11/2009	41030	92,8	19,3	green	G
199	PNBD	Bras de la Plaine à l'ilet du Bras Sec - Aval puits AEP	D	26/04/2010	41030	83,6	18,4	green	G
254	PNBE	Bras de la Plaine à l'ilet du Bras Sec - Aval puits AEP	E	23/10/2010	41030	100,0	20,0	blue	HG
39	PTAA	Bras Pétard - Libéria	A	25/11/2008	23034	100,0	20,0	blue	HG
91	PTAB	Bras Pétard - Libéria	B	28/04/2009	23034	64,7	16,5	yellow	M
146	PTAC	Bras Pétard - Libéria	C	28/10/2009	23034	86,6	18,7	green	G
200	PTAD	Bras Pétard - Libéria	D	28/04/2010	23034	87,8	18,8	green	G
255	PTAE	Bras Pétard - Libéria	E	12/10/2010	23034	93,6	19,4	green	G
40	ROAA	Rivière des Roches - Mon Désir	A	25/11/2008	27104	96,6	19,7	blue	HG
92	ROAB	Rivière des Roches - Mon Désir	B	04/05/2009	27104	95,4	19,5	blue	HG
147	ROAC	Rivière des Roches - Mon Désir	C	28/10/2009	27104	100,0	20,0	blue	HG
201	ROAD	Rivière des Roches - Mon Désir	D	25/04/2010	27104	100,0	20,0	blue	HG
256	ROAE	Rivière des Roches - Mon Désir	E	12/10/2010	27104	96,6	19,7	blue	HG
93	ROBB	Rivière des Roches - Beauvallon Amt radier	B	04/05/2009	23063	95,8	19,6	blue	HG
148	ROBC	Rivière des Roches - Beauvallon Amt radier	C	28/10/2009	23063	96,8	19,7	blue	HG
202	ROBD	Rivière des Roches - Beauvallon Amt radier	D	25/04/2010	23063	100,0	20,0	blue	HG
257	ROBE	Rivière des Roches - Beauvallon Amt radier	E	12/10/2010	23063	100,0	20,0	blue	HG
94	ROCB	Rivière des Roches - Abondance	B	04/05/2009	27044	91,2	19,1	green	G
149	ROCC	Rivière des Roches - Abondance	C	28/10/2009	27044	100,0	20,0	blue	HG
203	ROCD	Rivière des Roches - Abondance	D	25/04/2010	27044	100,0	20,0	blue	HG
258	ROCE	Rivière des Roches - Abondance	E	13/10/2010	27044	95,6	19,6	blue	HG
41	RPAA	Rivière des Remparts - Le Butor	A	18/11/2008	46102	87,4	18,7	green	G
95	RPAB	Rivière des Remparts - Le Butor	B	25/04/2009	46102	74,2	17,4	yellow	M
150	RPAC	Rivière des Remparts - Le Butor	C	22/10/2009	46102	100,0	20,0	blue	HG
204	RPAD	Rivière des Remparts - Le Butor	D	23/04/2010	46102	93,6	19,4	green	G
259	RPAE	Rivière des Remparts - Le Butor	E	22/10/2010	46102	100,0	20,0	blue	HG
42	SBAA	Grand Bras à l'Olympe - Amt confluence Rre Roches	A	25/11/2008	27046	100,0	20,0	blue	HG
96	SBAB	Grand Bras à l'Olympe - Amt confluence Rre Roches	B	04/05/2009	27046	100,0	20,0	blue	HG
151	SBAC	Grand Bras à l'Olympe - Amt confluence Rre Roches	C	26/10/2009	27046	100,0	20,0	blue	HG
205	SBAD	Grand Bras à l'Olympe - Amt confluence Rre Roches	D	25/04/2010	27046	100,0	20,0	blue	HG
260	SBAE	Grand Bras à l'Olympe - Amt confluence Rre Roches	E	13/10/2010	27046	100,0	20,0	blue	HG
43	SEAA	Rivière Saint-Etienne - La Chapelle	A	20/11/2008	38147	87,2	18,7	green	G
97	SEAB	Rivière Saint-Etienne - La Chapelle	B	11/05/2009	38147	82,2	18,2	green	G
152	SEAC	Rivière Saint-Etienne - La Chapelle	C	22/10/2009	38147	90,2	19,0	green	G
206	SEAD	Rivière Saint-Etienne - La Chapelle	D	03/05/2010	38147	91,8	19,2	green	G
261	SEAE	Rivière Saint-Etienne - La Chapelle	E	11/10/2010	38147	83,8	18,4	green	G
44	SGAA	Ravine Saint Gilles - Captage du Verrou	A	21/11/2008	15057	72,0	17,2	yellow	M
98	SGAB	Ravine Saint Gilles - Captage du Verrou	B	15/04/2009	15057	73,1	17,3	yellow	M
153	SGAC	Ravine Saint Gilles - Captage du Verrou	C	09/11/2009	15057	74,9	17,5	yellow	M
207	SGAD	Ravine Saint Gilles - Captage du Verrou	D	06/05/2010	15057	89,6	19,0	green	G
262	SGAE	Ravine Saint Gilles - Captage du Verrou	E	18/10/2010	15057	80,7	18,1	green	G
45	SJAA	Gde Rivière St-Jean - Aval Quartier Français	A	24/11/2008	22174	86,8	18,7	green	G
99	SJAB	Gde Rivière St-Jean - Aval Quartier Français	B	04/05/2009	22174	85,8	18,6	green	G
154	SJAC	Gde Rivière St-Jean - Aval Quartier Français	C	19/10/2009	22174	76,3	17,6	yellow	M
208	SJAD	Gde Rivière St-Jean - Aval Quartier Français	D	22/04/2010	22174	86,0	18,6	green	G
263	SJAE	Gde Rivière St-Jean - Aval Quartier Français	E	16/10/2010	22174	78,4	17,8	yellow	M
46	SJBA	Gde Rivière St-Jean - Bois Rouge	A	26/11/2008	22136	81,7	18,2	green	G
100	SJBB	Gde Rivière St-Jean - Bois Rouge	B	11/05/2009	22136	81,2	18,1	green	G
155	SJBC	Gde Rivière St-Jean - Bois Rouge	C	02/11/2009	22136	75,7	17,6	yellow	M
209	SJBD	Gde Rivière St-Jean - Bois Rouge	D	03/05/2010	22136	80,4	18,0	green	G
264	SJBE	Gde Rivière St-Jean - Bois Rouge	E	25/10/2010	22136	80,3	18,0	green	G
47	SZAA	Rivière Ste-Suzanne aux Cascades - Radler Niagara	A	24/11/2008	22057	92,6	19,3	green	G
101	SZAB	Rivière Ste-Suzanne aux Cascades - Radler Niagara	B	28/04/2009	22057	82,0	18,2	green	G
156	SZAC	Rivière Ste-Suzanne aux Cascades - Radler Niagara	C	19/10/2009	22057	81,0	18,1	green	G
210	SZAD	Rivière Ste-Suzanne aux Cascades - Radler Niagara	D	28/04/2010	22057	83,1	18,3	green	G
265	SZAE	Rivière Ste-Suzanne aux Cascades - Radler Niagara	E	16/10/2010	22057	91,2	19,1	green	G
48	SZBA	Rivière Ste-Suzanne - Amt Cascade Niagara	A	24/11/2008	22180	100,0	20,0	blue	HG
102	SZBB	Rivière Ste-Suzanne - Amt Cascade Niagara	B	19/05/2009	22180	93,2	19,3	green	G
157	SZBC	Rivière Ste-Suzanne - Amt Cascade Niagara	C	19/10/2009	22180	96,4	19,6	blue	HG
211	SZBD	Rivière Ste-Suzanne - Amt Cascade Niagara	D	29/04/2010	22180	100,0	20,0	blue	HG
266	SZBE	Rivière Ste-Suzanne - Amt Cascade Niagara	E	16/10/2010	22180	93,4	19,3	green	G
49	SZCA	Rivière Ste-Suzanne - Bassin Grondin	A	24/11/2008	22144	100,0	20,0	blue	HG
103	SZCB	Rivière Ste-Suzanne - Bassin Grondin	B	19/05/2009	22144	100,0	20,0	blue	HG
158	SZCC	Rivière Ste-Suzanne - Bassin Grondin	C	19/10/2009	22144	100,0	20,0	blue	HG
212	SZCD	Rivière Ste-Suzanne - Bassin Grondin	D	28/04/2010	22144	100,0	20,0	blue	HG
267	SZCE	Rivière Ste-Suzanne - Bassin Grondin	E	16/10/2010	22144	100,0	20,0	blue	HG
50	SZDA	Rivière Ste-Suzanne - Village Desprez	A	26/11/2008	22800	8,2	10,8	orange	P

7-4) Résultats de l'Indice Diatomique Réunion (IDR) : exploitation cartographique :

Sur 269 relevés biologiques (site x date) ayant fait l'objet de préparation - comptage, le calcul de l'IDR a été possible sur 267 relevés. Les résultats sont reportés exhaustivement dans le Tableau 8 p 83 à 86, qui rappelle les informations sur le numéro d'échantillon, le code en 4 lettres de chaque relevé (site x date), les informations succinctes sur la rivière et le lieu de la station, la campagne de prélèvement, la date de l'échantillonnage biologique de terrain sur lequel a porté l'inventaire diatomique. Les notes calculées avec l'indice sont données sous leur forme naturelle (échelle -100 / 100) et dans la colonne à droite (couleur bleue), transformées sous la forme de notes sur 20 qui seront probablement plus faciles à manipuler, au prix de la conversion indiquée en bas de page 82.

Les 2 colonnes les plus à droite du tableau résumant la couleur de qualité et la classe de qualité découlant de cette note indicelle dans le cadre de la proposition actuelle de grille d'interprétation. Celle-ci sera peut-être à réadapter à l'usage par une discussion étroite entre scientifiques et gestionnaires, avec un peu de prise de recul et en fonction des objectifs de qualité visés.

Les résultats cartographiques illustrés de la restitution de l'état des sites par les flores via le calcul d'indice sont donnés en Figure 27 ci-dessous.

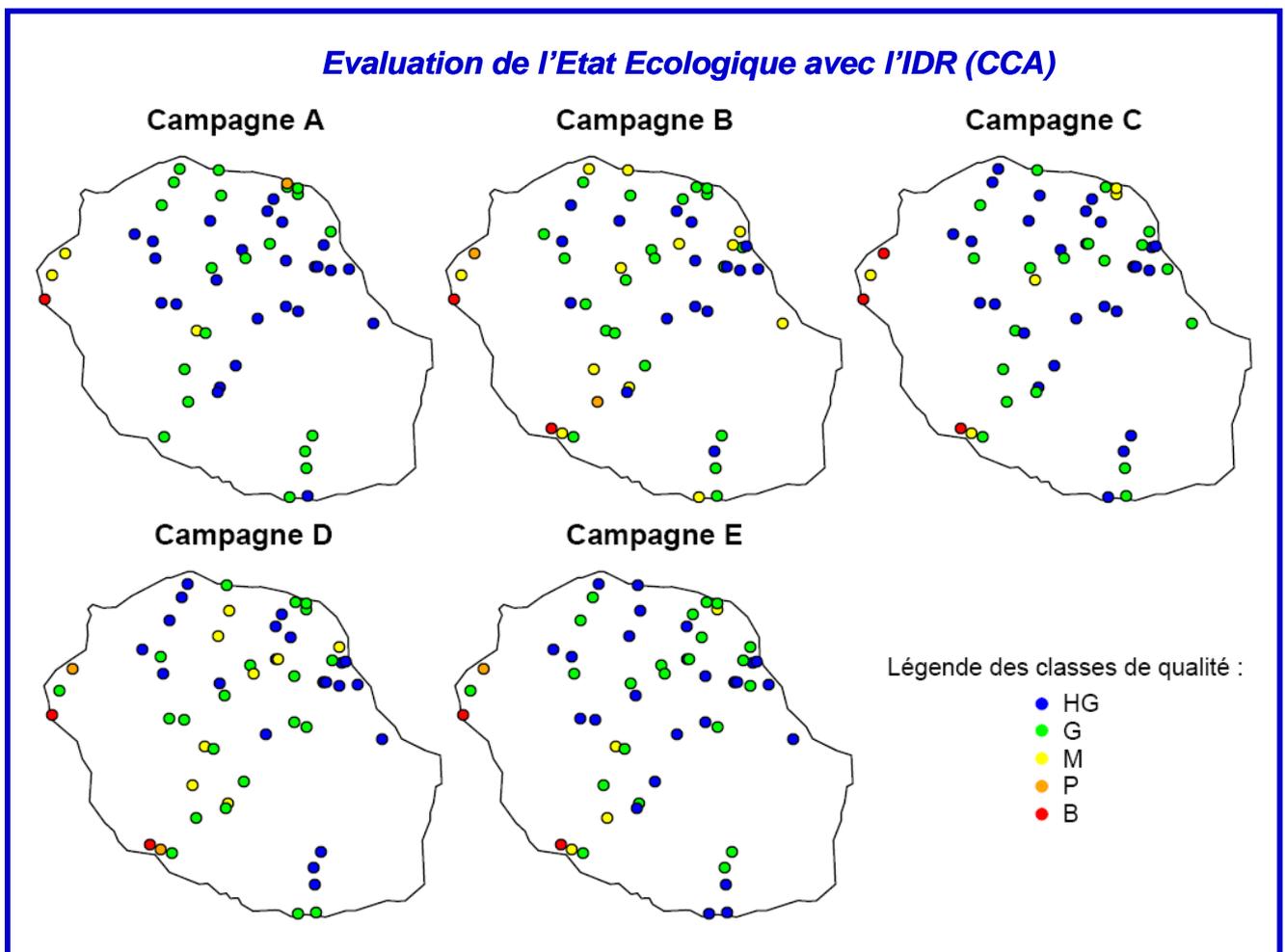


Figure 33 : Etat Ecologique par relevé (site x date) et par campagne en fonction de la note d'IDR

Ces cartes procurent une image assez fidèle et réaliste par rapport à l'image des pollutions connues des acteurs gravitant autour des milieux aquatiques de la Réunion. Comme cela a déjà été dit, il ne faut pas trop s'attacher à ce stade à la nuance entre bleu et vert, cette limite ayant été ajustée pour diagnostiquer le tout début du gradient d'altération.

Par contre, à partir de la couleur jaune, les sites subissent distinctement des altérations, au moins à certaines périodes de l'année. Il s'agit souvent de stations à l'aval de bassins versants, Ravine du Gol, Bras de Cilaos à Ilet Furcy, sites aval de la Rivière Ste Suzanne, Rivière des Roches à Beauvallon, Bras Pétard, la plupart de ces sites étant selon le cas sous le coup de pollutions domestiques, d'altérations agricoles diffuses et/ou d'influences périurbaines. Des sites de la Côte Est en zone d'altitude moyenne sont également dans ce cas, subissant à la fois l'influence de pollutions domestiques diffuses (habitat mité mais assez densifié) et agricoles (notamment dans les zones cannières).

Les sites oranges et rouges correspondent aux stations un peu spéciales sous forte pression anthropique, qu'il s'agisse de pollutions domestiques (Ravine du Maniron, Ravine de l'Ermitage pour une part) ou de grosses infrastructures collectives (STEPs) ou privées (usine sucrière...), comme c'est le cas au Gol, à la Ravine de l'Ermitage, à la ravine du Cimetière sur la commune de St Paul.

On peut noter une image de l'état des eaux restituée de façon assez reproductible plusieurs années de suite à la même saison (campagnes A, C, E à l'approche de l'été Austral en contexte d'eaux plus chaudes d'une part, campagnes B et D à l'approche de l'hiver austral et dans un contexte hydrologique moins soutenu d'autre part. L'état observé à l'abord de l'hiver austral donne des résultats visiblement un peu plus altérés. Il se trouve qu'à partir d'Avril-Mai, époque de ces relevés, bien que la température moyenne de l'eau ait tendance à devenir plus fraîche, les débits se réduisent sensiblement (saison sèche), permettant une concentration plus importante de la colonne d'eau avec les pollutions qui arrivent dans les cours d'eau. A l'inverse, à l'approche de la saison chaude, les pluies ont commencé de reprendre sur la majeure partie de l'île hors plein Ouest et les conditions dans les cours d'eau et le chevelu de fossés deviennent un peu plus dilutives. Ce qui est donc observé ici est la résultante d'une acceptabilité un peu moins bonne d'un même niveau de rejet dans les cours d'eau en période de faibles niveaux d'eau par rapport à des conditions estivales plus dilutives, hors problème d'usage anthropique saisonnier qui peut aussi être en cause sur certains sites.

7-5) Classes d'état à partir de l'IDR : statistiques fréquentielles :

Sur 269 relevés biologiques (site x date) ayant fait l'objet de préparation - comptage, le calcul de l'IDR a été possible sur 267 relevés. Les résultats sont reportés exhaustivement dans le Tableau 8 p 83 à 86, qui rappelle les informations sur le numéro d'échantillon. Après ces figurations d'Etat Ecologique sur les cartes de campagnes qui donnent une photographie comparative d'état pour les différentes campagnes, il convient aussi d'examiner plus en détail les statistiques d'état par campagne et au global (voir Tableau 9 ci-dessous).

Sur 269 relevés biologiques (site x date) ayant fait l'objet de préparation - comptage, le calcul de l'IDR a été possible sur 267 relevés. Les résultats sont reportés exhaustivement dans le Tableau 8 p 83 à 86, qui rappelle les informations sur le numéro d'échantillon.

Tableau 9 : Statistique d'Etat Ecologique obtenue avec l'IDR par campagne

campagne	Bleu		Vert		Jaune		Orange		Rouge		Total	
	effectif	%	effectif	%	effectif	%	effectif	%	effectif	%	effectif	%
A	25	50,0%	20	40,0%	3	6,0%	1	2,0%	1	2,0%	50	100,0%
B	17	32,1%	21	39,6%	11	20,8%	2	3,8%	2	3,8%	53	100,0%
C	28	50,9%	19	34,5%	5	9,1%	0	0,0%	3	5,5%	55	100,0%
D	22	40,7%	20	37,0%	8	14,8%	2	3,7%	2	3,7%	54	100,0%
E	26	47,3%	22	40,0%	4	7,3%	1	1,8%	2	3,6%	55	100,0%
Total Classe	118	44,2%	102	38,2%	31	11,6%	6	2,2%	10	3,7%	267	100,0%

Il est possible de noter que le cumul des sites bleus et verts dépasse les 80% (relativement bon état moyen des masses d'eau), la statistique pouvant même s'approcher voire atteindre les 90 % (campagne A) lors des 3 campagnes à l'approche de l'été austral, avec un contexte plus dilutif en liaison avec des débits plus soutenus (campagnes A, C et E). Le cumul des sites jaunes, oranges, rouges s'établit à ces campagnes entre 8% et maximum 15 %, avec systématiquement la moitié ou plus de sites gratifiés d'une couleur jaune. Il faudra prendre un peu plus de recul et décider avec les services gestionnaires si cette limite vert-jaune peut correspondre à la limite Bon Etat-Etat Moyen ou si la limite actuelle a été fixée de façon un peu trop sévère, ce qui semble le cas.

Pendant les campagnes de terrain à l'approche de la saison hivernale (campagnes B et D), le diagnostic d'Etat Ecologique apparaît plus altéré, une des raisons déjà présentée étant l'affaiblissement des débits qui entraîne probablement un renforcement des effets de la pression anthropique, à supposer qu'elle reste constante.

En effet, la saison sèche entraîne des débits moins soutenus et probablement une concentration des polluants dans les rivières (contexte moins dilutif qu'en été austral). Il est aussi possible que des usages anthropiques saisonniers à préciser (pratiques culturelles particulières, périodes d'utilisation d'usines cannières etc...) soient en partie responsables de cet état de fait, mais celui-ci est d'ores et déjà explicable par un accroissement relatif des effets des pollutions agricoles et domestiques diffuses, notamment dans les zones très agricoles d'altitude faible à moyenne occupées notamment par la canne et de l'habitat mité relativement densifié aux alentours des ravines et cours d'eau.

Le Tableau 10 ci-dessous illustre le constat statistique différent entre été et approche de l'hiver austral. Il vaut mieux ne pas se référer aux effectifs, différents d'environ 1/3 (il y a eu 3 campagnes estivales contre 2 hivernales), mais au pourcentage de sites classés dans l'une ou l'autre classe de qualité. On trouve 13 % de moins de sites évalués en très bonne qualité l'hiver (36,4 % contre 49,4 %), les différences de proportions s'équilibrant plus pour les autres classes sauf pour la jaune (7,5 % en été contre 17,8 % en hiver). Cela signifie donc qu'il n'y a pas de changement radical de la pression anthropique, mais des effets un peu renforcés dans les rivières en condition de plus faible soutien de débits (des sites bleus l'été passent verts l'hiver, et quelques sites verts l'été passent au jaune l'hiver).

Tableau 10 : Statistique saisonnière d'Etat Ecologique obtenue avec l'IDR
(A+D+E) = Eté austral ; (B+D) = Hiver austral

campagne	Bleu		Vert		Jaune		Orange		Rouge		Total	
	effectif	%	effectif	%	effectif	%	effectif	%	effectif	%	effectif	%
A+C+E	79	49,4%	61	38,1%	12	7,5%	2	1,3%	6	3,8%	160	100,0%
B+D	39	36,4%	41	38,3%	19	17,8%	4	3,7%	4	3,7%	107	100,0%
Total Classe	118	44,2%	102	38,2%	31	11,6%	6	2,2%	10	3,7%	267	100,0%

Ces éléments de variation saisonnière des effets des altérations seront à prendre en compte, ainsi que l'éventuelle saisonnalité de certains usages anthropiques et des altérations correspondantes, pour la définition ou un ajustement plus pertinent de la stratégie de surveillance par les réseaux.

Il apparaît déjà notable que les sites de référence ou en très bonne qualité, du fait de la faible à très faible pression anthropique qu'ils subissent, sont plus stables que les sites subissant des altérations variables en nature et en intensité. Il serait donc probablement pertinent, pendant quelques années, de suivre 2 fois par an tous les sites sous altération anthropique confirmée, même si modérée, quitte à suivre moins souvent les sites non altérés (rotation sur 2 ans ?).

7-6) Analyse de la relation pression-impact sur la base des notes d'IDR :

Le fait d'utiliser des Taxons "-", seuls taxons contributifs à la baisse des notes d'indice, dont l'abondance relative moyenne est très dominante par définition dans les classes de qualité d'eau les plus altérées (Classes 1 et 2) introduit une discontinuité entre la répartition de profil fréquentiel des espèces au long du Gradient Composite d'Anthropisation et les notes d'indice.

Il est donc important de vérifier au final la consistance entre le positionnement des valeurs de CGA restituées par les analyses d'eau et la note d'indice biologique obtenue pour chaque relevé (site-date), afin de s'assurer de la qualité de la réponse de l'indice au gradient anthropique.

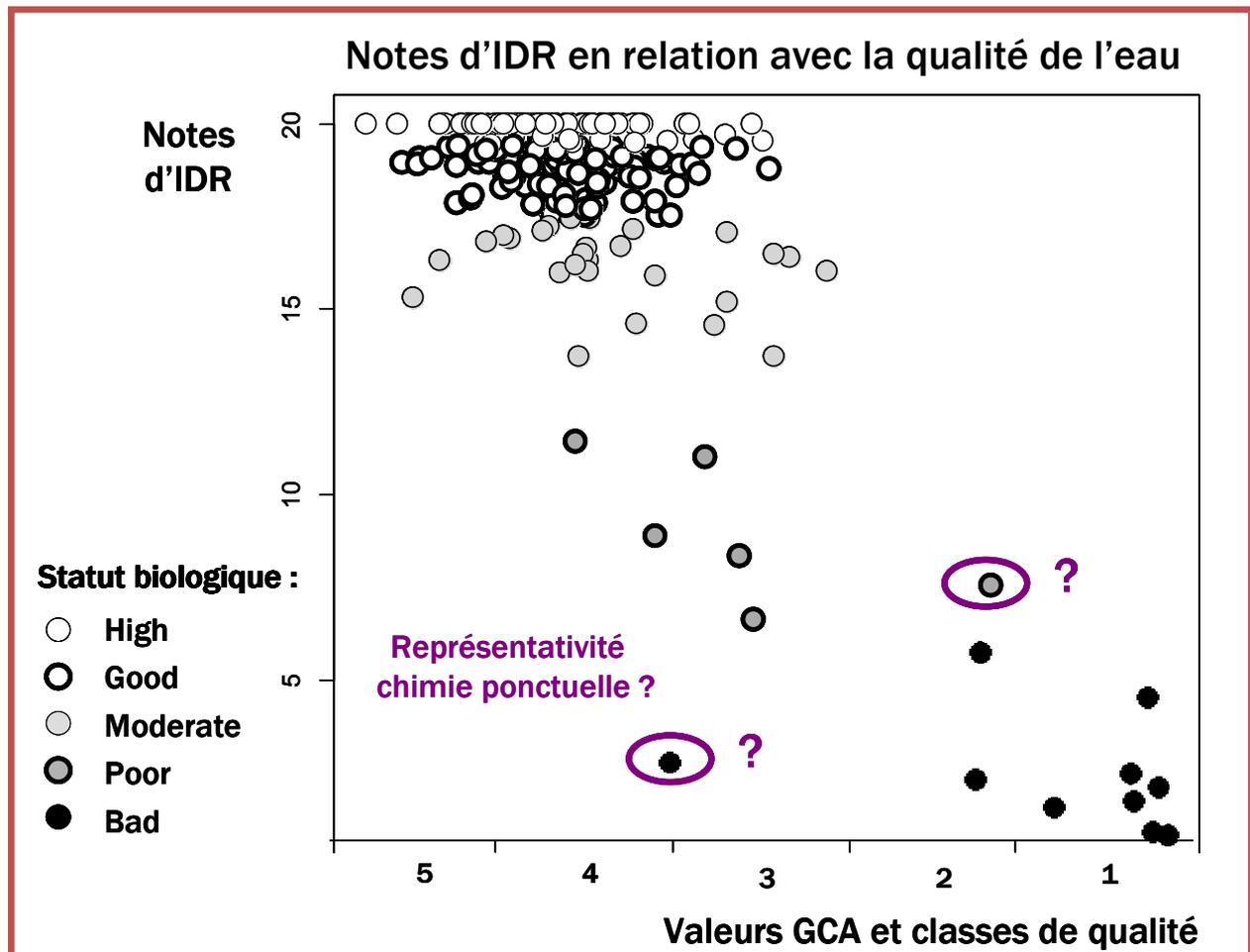


Figure 34 : Relation entre pression anthropique (valeurs du Gradient Composite d'Anthropisation GCA) et statut biologique par relevé (site x date) estimé par la note d'indice IDR

La physionomie globale de la relation entre descripteur composite d'anthropisation et réponse de l'indice est satisfaisante, ce qui conforte les choix méthodologiques réalisés pour la conception de l'indice.

Cependant, la Figure 34 ci-dessus illustre assez clairement les limites actuelles posées par le jeu de données final de l'étude, avec une représentation très déséquilibrée du gradient d'anthropisation. Il est aisé de voir qu'une très grande majorité de sites se situent dans un statut **de référence ou très modérément altéré** (sur 267 relevés ayant permis le calcul d'une note d'indice, cela représente environ 235 à 240 relevés à notes actuelles au-dessus de 16 qui empiètent déjà un peu artificiellement sur la classe Moderate, soit près de 90 % des relevés (sites X dates) sans gradient d'altération sensible.

Si cet état de fait a permis de bien connaître les flores naturelles de milieux non impactés ou très peu impactés de la Réunion, l'information sur les espèces indicatrices des différentes altérations anthropiques qui peuvent être rencontrées à la Réunion est beaucoup plus pauvre et peu illustrative de l'évolution de la distribution des espèces au long d'un gradient progressif.

C'est une des raisons pour laquelle il a été choisi de baser le diagnostic de l'altération sur une liste de "Taxons -", synonymes de la présence claire d'une altération en amont. Au final, le gradient réel d'anthropisation est donc illustré par guère plus d'une trentaine de relevés (site X date), soit seulement 11 à 12 % du jeu de données global, avec **quelques relevés très altérés** (figurés ici en noir) qui ont fortement tiré les composantes principales des analyses multivariées mais ne sont pas forcément les plus représentatifs du contexte de pollution diffuse de la Réunion (il s'agit ici de sites directement et fortement influencés par des équipements lourds de type STEPs ou industrie sucrière), et enfin **la rareté des situations représentatives de pollutions de modérées à moyennes** (de l'ordre d'une douzaine de relevés seulement, à cheval sur la classe "moderate" (notes inférieures à 16) et "Poor" (6 relevés)).

Ce constat global est **statistiquement normal** dans les conditions de pression anthropique de la Réunion, où les reliefs et zones d'altitude subissent une pression de population relativement faible par unité de surface (hors cas particulier des agglomérations s'étendant entre le Tampon et la Plaine des Palmistes), et avec le contexte climatique fortement dilutif sur les Hauts et la moitié Est de l'île et qui se renforce encore à la saison des pluies.

Par contre, cet état de fait pose un problème pour générer un **outil d'évaluation réellement discriminant et sensible dans les situations de pollution de modérées à moyennes**, faute de suffisamment de données pour illustrer cette partie du gradient. C'est dans ce sens qu'il est souligné à plusieurs reprises, y compris dans le chapitre "Perspectives", qu'il serait utile par la suite de **compléter les données des réseaux de surveillance par quelques points additionnels judicieusement choisis**, non pour leur représentativité de l'Etat Ecologique de la Réunion, mais pour compléter l'illustration des gradients anthropiques typiques de la Réunion et en particulier en matière de pollutions diffuses mal maîtrisées (agricoles et domestiques) en liaison avec un habitat très disséminé et mité.

A ce stade d'élaboration d'un nouvel indice et avec ce jeu de données déséquilibré, nous avons tenté de mettre un accent spécifique sur la **discrimination des situations de début de gradient d'anthropisation**, ce qui a probablement conduit à une proposition actuelle de grille d'évaluation de qualité **un peu trop discriminante et sévère sur le haut de l'échelle** (secteur des faibles altérations). Ce fait peut se remarquer dans le haut de la Figure 34 où, si un glissement statistique des valeurs de GCA est malgré tout perceptible vers de moins bonnes qualités entre la partie droite des classes H, G et M, ces classes se recouvrent assez largement en valeurs de GCA sur le reste de leur domaine (partie gauche).

La représentation donnée par le GCA, qui fait intervenir une dizaine de descripteurs d'anthropisation choisis *a priori* (à dire d'expert) en fonction de leur poids dans l'Analyse Canonique des Correspondances (ACC restreinte), est bien sûr un résumé assez sommaire traduisant en une métrique composite unique des grandeurs pouvant recouvrir des réalités écologiques ou d'altération assez différentes (les variables contributives pouvant être aussi bien P total que DBO5, NKJ ou nitrates...). C'est probablement aussi une des raisons de ce recouvrement assez fort des 3 premières classes sur les mêmes référentiels de valeurs du GCA.

Mais il est à souligner que, par construction, l'apparition de la dégradation des notes d>IDR est liée à coup sûr à l'apparition objective de Taxons "-" dans les relevés. Il est donc possible aussi que ce recouvrement de classes sur la 1^{ère} moitié du référentiel GCA soit en partie lié à une représentativité temporelle un peu défectueuse des mesures et échantillonnages abiotiques ponctuels pratiqués sur la colonne d'eau à 2 ou 3 reprises pour rendre compte des conditions abiotiques *in situ* intégrées sur 2 à 3 mois (temps caractéristique de l'intégration réalisée par les relevés diatomiques). Les défauts de cette représentativité peuvent trouver leur origine dans plusieurs types de raisons. Certaines pollutions peuvent être chroniques, d'autres plus ponctuelles ou accidentelles, donc plus difficiles à détecter par un échantillonnage ponctuel, qui représente une seconde de qualité d'eau au milieu du cours d'eau. D'autre part, l'hydrologie peut véhiculer fortement ou moins fortement une pollution du milieu terrestre vers le milieu aquatique, en fonction des caractéristiques climatiques de l'épisode temporel rattaché à un échantillonnage diatomique. Il est donc fort probable que le référentiel abiotique collecté soit moins intégrateur de la dimension temporelle et moins robuste au final que les réponses biologiques, qu'elles soient considérées au niveau de la composition spécifique des communautés ou des notes d'indice.

La Figure 34 page 90 offre aussi l'opportunité d'illustrer deux cas assez évidents de distorsion entre la description de l'ambiance abiotique, rendue par les mesures et échantillonnages chimiques, et le niveau de la réponse biocénotique :

- l'un d'entre eux a probablement sous-estimé la chimie intégrée réelle ayant provoqué un très fort effet biologique (point de gauche cerclé de violet, avec un statut biologique Bad en correspondance avec des valeurs de CGA modérées qui pourraient aussi concerner certains sites de référence. Il y a très probablement eu des moments de forte élévation des concentrations de certains descripteurs d'anthropisation influents, mal captés par la stratégie d'échantillonnages ponctuels en faible nombre ;
- le second, au contraire (relevé de droite cerclé de violet), avec des valeurs indicielles plutôt moins pénalisantes que ne le laisserait penser la valeur élevée de GCA.

Ces 2 exemples sont des illustrations claires d'un phénomène assez général, à savoir que la réponse biologique est plus robuste et intégrative de l'exposition réelle *in situ* à des pollutions anthropiques qu'une stratégie de représentation de l'ambiance abiotique basée sur des prélèvements ponctuels. C'est d'ailleurs en fonction de cet argumentaire souvent vérifié que la DCE a préconisé l'intervention des maillons biologiques-clés pour une évaluation plus robuste et intégrée de la qualité des milieux aquatiques.

Si l'on considère l'ensemble du gradient et malgré les limites de représentativité des échantillonnages chimiques ponctuels, **l'indice fonctionne plutôt bien et donne une appréciation d'effet biologique globalement en bon accord avec le gradient d'anthropisation**. La mise en relation entre début du gradient abiotique et réponse biologique reste néanmoins perfectible et la grille actuelle d'interprétation des notes est visiblement trop étirée à ce stade. La réflexion méthodologique n'est donc pas close sur ce point qui reste visiblement à affiner. Cependant le principal aspect limitant actuel reste l'insuffisante représentation des effets d'altérations modérées à moyennes (partie intermédiaire du gradient) dans le jeu de données.

Après la prise de recul nécessaire, un calage plus adéquat de la grille d'interprétation des notes d'indice sera discuté et adopté à échéance mi-2013, en concertation étroite entre scientifiques et les décideurs et gestionnaires locaux qui ont une parfaite connaissance du contexte local et des enjeux de gestion. De même, la stratégie la plus opportune pour caler un système d'EQR permettant de dériver l'état écologique par rapport à la situation de référence adéquate sera discutée et décidée avec les intervenants locaux. En effet, le contexte Réunionnais présente certaines spécificités (notamment importance de la variation saisonnière des flores) bien mises en évidence dans ce rapport. Ce contexte local particulier rend peu opérante une maîtrise des variations naturelles sur une base d'HERs basées sur un découpage uniquement géographique et climatique.

8) CONCLUSIONS

Cette étude d'une durée de 3 ans, mise en place par l'Office de l'Eau de la Réunion sous la maîtrise d'œuvre efficace d'Asconit et avec une co-traitance Cemagref (devenu Irstea depuis Novembre 2011) visait à mettre en place un nouvel indice diatomique adapté au contexte biogéographique particulier de la Réunion, objectif qui a été atteint avec la mise au point de l'IDR.

Cette étude mêlant travail de terrain, travail d'inventaire taxinomique et travail de recherche et transfert sur l'hydroécologie des diatomées des cours d'eau a représenté un effort très substantiel en termes de moyens et de travail, qu'il faut ici saluer et qui n'a été rendu possible que par la mobilisation forte d'acteurs locaux (notamment l'Office de l'Eau de la Réunion, soutenu dans ses efforts de structuration par divers bailleurs de fonds des Services déconcentrés de l'Etat, des collectivités territoriales, de l'ONEMA et de l'Europe (fonds FEDER), et qui a lui-même co-financé une partie de l'étude. L'optimisation des moyens de surveillance (enveloppes destinées au fonctionnement des réseaux) et de moyens additionnels destinés à soutenir l'effort de recherche-développement a permis de dégager le volant financier minimal nécessaire pour fonder un nouvel outil de bio-indication.

A noter également l'utilité dans ce contexte des bases de données de réseaux tenues depuis plus d'une décennie par l'Office de l'eau de la Réunion, notamment pour l'archivage des analyses physico-chimiques et chimiques, qui ont constitué un recours précieux, notamment quand les données sur le fonds géochimique-hydrochimique manquaient.

Il a ainsi été possible, avec les nombreuses données acquises dans le cadre de l'étude et la disponibilité ce référentiel de fond, de compléter utilement les points ou aspects incomplets de la base de données mobilisée pour l'étude. 269 (sites X dates) ont ainsi fait l'objet d'échantillonnages et d'analyses à l'occasion de 5 campagnes saisonnières de terrain réparties sur 3 années civiles et réalisées sur 56 sites de terrain différents. Parmi les sites de l'étude, 17 stations, échantillonnées 4 à 5 fois selon le cas, n'appartenaient pas au dispositif des réseaux de surveillance. Sur les 82 (sites x dates) concernés, seuls ont été acquis les échantillonnages diatomiques et les mesures de données physico-chimiques de terrain, ce qui a rendu nécessaire une complétion des données de chimie sur la base du fonds de connaissance existant et d'un travail minutieux d'expertise géochimique-hydrochimique. En fin d'étude, 267 relevés comportant suffisamment de matériel biologique ont pu faire l'objet du calcul indiciel de l'IDR, ce qui constitue un excellent taux de réussite et de valorisation de l'existant au service de l'étude. Deux relevés diatomiques issus de milieux pauvres et sous forte contrainte hydrodynamique, peu pourvus en matériel biologique, n'ont pu être exploités que dans un but essentiellement floristique. (effectifs comptés trop faibles pour un calcul fiable de l'indice).

Une vingtaine de descripteurs abiotiques, en grande majorité physico-chimiques et chimiques, ont pu être complétés pour chaque relevé site x date, avec l'intervention lorsque nécessaire de l'expertise hydrochimique précitée et, le plus souvent, en établissant une consolidation sur la base des 2 ou 3 résultats d'analyses pouvant être rapportés à l'épisode de croissance des biofilms diatomiques échantillonnés (fenêtre temporelle de 2 à 3 mois).

Concernant les flores diatomiques, un travail considérable de détermination et de comptage, en grande partie réalisé dans le cadre du travail de thèse de Gilles GASSIOLE, a été conduit sur des flores spécifiques et encore peu connues. Deux experts taxinomistes sont intervenus en appui sur les taxons plus difficiles à caractériser et à identifier (Michel COSTE, IRSTEA Bordeaux, René LE COHU, UPS Toulouse / UMR ECOLAB). Cet acquis taxinomique appuyé sur une recherche bibliographique et iconographique de niveau mondial est un point très important à mettre à l'actif de l'étude. **343 taxons ont pu être déterminés**. 162 ont été identifiés de façon assez certaine au genre et à l'espèce. 28 sont proches d'espèces connues sans qu'il ait encore été possible de se référer au matériel –type archivé en muséum pour confirmer qu'il s'agit bien de l'une d'entre elles (déterminations cf, ou Aff. d'un taxon trouvé dans la bibliographie). 153 sont pour l'instant identifiées au genre et sous numéro concernant le nom d'espèce, ce qui représente presque la moitié des taxons identifiés et montre l'aspect complexe d'un tel travail de débroussaillage scientifique en terrain peu connu (il n'existe pas de scientifique référent spécialiste de ces flores sur place). Une bonne dizaine de taxons sont probablement endémiques de la Réunion ou du moins de cette zone géographique de l'Océan Indien et sont nouveaux pour la science. Ils sont en cours de publication.

Parmi ces 343 taxons différents contenus dans les inventaires, qu'il était utile de répertorier et de décrire (ils peuvent à un moment ou un autre devenir suffisamment abondants sur des sites pour devoir être pris en compte en bio-indication), 175 présentant au minimum 3 occurrences dans le jeu de données de l'étude (présence dans au moins 3 inventaires) se sont vus affecter des profils écologiques. Parmi eux, **172 typiquement d'eau douce participent au calcul du nouvel indice diatomique** (l'IDR). Un guide taxinomique mobilisant la plupart de la connaissance taxonomique et hydroécologique acquise est fourni comme livrable de l'étude, en parallèle du présent rapport sur le nouvel indice IDR. Il contient 90 fiches-taxons détaillées (taxons trouvés à au moins 5 % dans au moins un relevé) et répertorie l'information sur les autres taxons dans des planches photographiques lorsque l'iconographie constituée pendant l'étude le permet.

Sur la base des déterminations taxonomiques réalisées sur les inventaires collectés, il a été réalisé une étude biotypologique des assemblages diatomiques de la Réunion, afin de repérer les assemblages naturels représentatifs de différents substrats géologiques et de différentes conditions climatiques.

Huit groupes diatomiques distincts ont ainsi été caractérisés, les uns présentant des différences sur le plan de leurs préférences hydrochimiques, d'autres se différenciant éventuellement aux mêmes sites en fonction de l'influence climatique saisonnière. Compte-tenu des résultats de l'étude biotypologique et des variations saisonnières d'assemblages, il semble que la trame HER, utilisée en métropole, ne soit pas d'une grande aide à la Réunion pour fixer une grille d'évaluation basée sur des équivalents de qualité écologique (EQR). En effet, à hydrochimie relativement comparable, des assemblages naturels typiques d'une HER toute l'année peuvent devenir des assemblages saisonniers d'une autre HER, principalement sous l'effet de forçages climatiques saisonniers. Il faudra donc imaginer une autre base d'établissement des grilles d'EQR pour un calcul adéquat de l'état écologique. Ce travail sera réalisé dans l'année 2013, en étroite concertation avec les gestionnaires et décideurs locaux.

Une telle étude des communautés permet aussi habituellement de déterminer des assemblages-types correspondant à des altérations anthropiques particulières. Cela a notamment été le cas avec la détermination de 2 assemblages d'aval de bassins versants caractéristiques de 2 types et 2 intensités d'altérations (Groupe 1 et Groupe 2).

Il est à déplorer la lacune relative en données sur des sites à pollutions moyennes, peu nombreux à la Réunion, ce qui a constitué une difficulté spécifique dans l'exploitation des résultats (faibles gradients en général, et présence de quelques sites très pollués par des infrastructures lourdes, tirant les résultats de l'analyse dans une direction pas forcément représentative des types de pressions anthropiques diffuses dominants sur la plus grande partie du territoire).

D'autre part, il aurait été utile de pouvoir réaliser quelques échantillonnages couplés d'eau et de matériel biologique hors quota sur des sites présentant une nature ou une intensité de pollution particulière et trouvés au hasard des prospections. Il aurait ainsi été particulièrement intéressant, afin que les espèces typiques de ces pollutions soient mieux représentées dans l'indice, de pouvoir réaliser une série de prélèvements représentatifs d'une concentration moyenne différente du milieu permettant de mieux étudier la relation gradients abiotiques – flores. Il aurait par exemple été possible et utile de faire des profils en long plus détaillés sur quelques sites pollués justifiant cet effort, par exemple un amont-rejet (flore de la rivière avant une altération connue ou repérée), dans le rejet, dans le rejet un peu dilué, puis à l'aval dans la rivière après dilution, afin de mieux décrire et repérer la relation pressions - liste d'espèces présentes - évolution des abondances relatives.

Les remarques précédentes reviennent à dire qu'il y aurait besoin, dans la phase de mise au point du thermomètre, de données plus détaillées permettant l'étude des relations "intensité des pollutions – flores" que les seules données de surveillance des réseaux que ce thermomètre est destiné ensuite à évaluer. Au sortir de l'étude, il subsiste encore un besoin complémentaire relativement modeste de données à acquérir spécifiquement afin de couvrir l'étendue la plus complète possible de gradients et d'améliorer l'IDR actuel, au bénéfice d'un diagnostic plus sensible et performant des sites classiques de réseaux. Cet effort spécifique qu'il serait souhaitable de réaliser n'est pas très conséquent vu l'enjeu (ordre de grandeur : volant libre d'une trentaine à une quarantaine d'analyses couplant chimie et échantillonnages biologiques mobilisables sur des cas de pollutions spécifiques, afin de mieux détailler le gradient anthropique et la réponse des espèces en fonction de la concentration du milieu).

Il n'a malheureusement pas été possible de réaliser cet effort additionnel dans le cadre de l'étude vu les contraintes sur les marchés de chimie, mais il resterait utile de le réaliser à l'avenir pour combler quelques défauts de fabrication de ce premier outil.

Au bilan, le jeu de données collecté était très fourni en sites de bonne à très bonne qualité et a bien permis d'appréhender les flores naturelles de la Réunion et leurs variabilités spatio-temporelles (avec l'influence notable des saisons, des bassins –isolement par des reliefs marqués-, de la géologie, de l'altitude et du climat, qui structurent une trame naturelle complexe). Cette acquisition de connaissance taxonomique et sur l'écologie des taxons est un acquis très important dans le contexte où l'étude a débuté il y a 4 ans seulement, dans un contexte floristique naturel très peu décrit et presque complètement à débroussailler, ce qui était une difficulté et un risque initial du programme que cette réalisation collective a permis de surmonter.

Quelques sites fortement à très fortement pollués selon les dates ont aussi été suivis (4 à 5 sites avec des pollutions spécifiques liées à des genres d'activités ou d'équipements, qui ont généré une vingtaine de données). Mais, outre que ces gradients d'anthropisation liés à des équipements collectifs ne donnent pas une vision forcément représentative des pollutions les plus répandues sur le territoire Réunionnais (pollutions diffuses agricoles d'une part, pollutions domestiques liées à un habitat mité et à un contexte de topographie pentue d'autre part), la totalité d'intensité des gradients anthropiques n'est pas représentée et il y a une lacune relative importante en sites moyennement pollués (qui se positionneraient à la jonction entre couleur jaune et orange dans la classification actuellement proposée).

Dans ce contexte qui ne permettait pas d'apprécier aussi précisément que possible le positionnement écologique des taxons de l'étude sur la base de profils détaillés de probabilités de présence dans chaque classe de chacune des espèces, ce qui aurait été le plus souhaitable, il a été fait le choix de construire l'Indice Diatomique Réunion (IDR) sur la base d'une liste assez restreinte d'espèces assez fortement tolérantes aux pollutions, et de les utiliser comme "taxons d'alarme" synonymes d'altération indiscutable. Ce sont des espèces qu'on ne trouve qu'à l'aval de sites sérieusement pollués, et dont la présence dans un milieu aquatique témoigne de la présence à l'amont de sites ou de microsites présentant une pression de pollution conséquente.

L'indice bâti de cette façon donne une évaluation assez sensible et réaliste de l'état écologique des cours d'eau. Des différences saisonnières assez nettes sont cependant visibles, les basses-eaux à l'approche de l'hiver étant favorables à l'expression d'effets plus intenses de pollutions anthropiques que la saison estivale, plus arrosée et générant un contexte plus dilutif. La stratégie de surveillance sera à adapter en fonction de cette connaissance générale et des enjeux plus spécifiques d'altérations et de gestion des milieux aquatiques, en prenant en compte autant que nécessaire la saisonnalité de certains usages afin de réaliser les diagnostics au moment où les impacts sont susceptibles de se produire.

9) PERSPECTIVES

Pour l'avenir, il reste intéressant de pouvoir coupler chimie de l'eau et prélèvements biologiques sur des cas particuliers d'étude destinés à compléter la connaissance des flores et de leur pouvoir bio-intégrateur (possibilité d'un volant d'analyses chimiques – analyses biologiques mobilisable à façon), en marge et en plus des opérations de suivi de réseaux classiques.

L'échelle d'interprétation brute des notes du nouvel indice IDR mérite d'être encore testée et éventuellement adaptée en fonction du contexte spécifique de la Réunion et d'échanges avec les gestionnaires et responsables bien au fait des contextes et impacts locaux. Il est important que la dégradation des notes de l'indice soit un reflet assez exact de l'effet du gradient composite d'altération anthropique qu'on veut lui faire représenter. Le jeu de données actuellement disponible présentant les limites montrées dans ce rapport, ce recours à l'expertise locale peut aider à améliorer le calage de la grille d'interprétation.

Ensuite se pose la problématique DCE d'évaluation de la **déviaton d'état écologique** provoquée par l'altération anthropique par rapport à la **référence adéquate**. La trame naturelle la plus pertinente pour associer les bonnes références et dériver les équivalents de qualité écologique (EQR) reste à discuter et à caler sur une base scientifique, en concertation étroite avec ces mêmes intervenants locaux (décideurs, gestionnaires). Il faudra notamment examiner comment intégrer et maîtriser la variation saisonnière, qui peut exercer un effet sensible sur la structuration des communautés dans un même bassin versant (cf communautés des Hauts de l'Ouest), en tenant compte de la stratégie temporelle de surveillance adoptée. Le contexte de la Réunion présente des spécificités inédites par rapport à l'expérience capitalisée en métropole (forte influence saisonnière sur la répartition des flores dans les réseaux hydrographiques, la grille HER ne permettant pas de stabiliser des biotypes permanents de référence en fonction de la saison sur une même entité géographique).

Des travaux complémentaires visant à la stabilisation d'une grille d'EQR adaptée au contexte spécifique local seront réalisés dans le courant de l'année à venir par Irstea avec l'appui financier de l'ONEMA (inscription de cette action dans la programmation 2013 de la convention-cadre ONEMA-Irstea), dans l'optique d'une évaluation fiable et DCE-compatible de la déviation d'état écologique par rapport au niveau de référence adéquat.

Enfin, dans le cadre de la validation de cette nouvelle méthode biocénotique (démarche-qualité, compatibilité européenne, appréciation de ses marges de variabilité, normalisation éventuelle), il sera important de prévoir d'ici quelques années une validation-comparaison de résultats sur un jeu de données indépendant de celui qui a servi à réaliser l'étude, afin de vérifier si l'indice est stable, robuste et s'il donne des résultats comparables ou non dans le cadre de ces deux jeux de données indépendants. Cette pratique de validation, classique dans le processus d'entrée dans la pratique opérationnelle de toute méthode biologique nouvelle, sera à programmer dès que la disponibilité suffisante de nouvelles données le rendra possible.

Comme l'IBD utilisé en métropole, le nouvel IDR est un indice de bio-indication construit pour permettre **l'évaluation des effets de la pollution générale de l'eau** (pollution trophique, organique, physico-chimique et chimique classique). Outre l'amélioration progressive de ce nouvel indice si l'acquisition de connaissances nouvelles le permet, il pourrait être utile à la Réunion de tenter de développer à l'avenir un indice plus orienté vers le **diagnostic de pollutions toxiques** (pesticides, métaux, substances émergentes...). En effet, de telles pollutions existent en divers endroits de l'Île et représentent un enjeu important sur le plan des atteintes environnementales. Elles peuvent faire encourir aussi, par différentes voies d'exposition, des risques à la fois aux êtres vivants qui fréquentent ces cours d'eau et à l'homme. Les bases de données de l'Office de l'Eau capitalisent régulièrement des informations de surveillance sur diverses substances toxiques. Dans la mesure où des échantillonnages biologiques pourraient être acquis en bonne correspondance avec ces données de surveillance abiotique, un travail exploratoire de moyen terme deviendrait possible dans ce domaine, avec la perspective de mise au point de métriques spécifiques pour la révélation d'effets toxiques et à terme, à l'élaboration d'un indice plus performant sur les pollutions toxiques.

10) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) AFNOR, 2007. Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD). Norme NF T: 90–354.
- 2) BOURRELLY P, COUTE A, 1986 - Algues d'eau douce de l'île de la Réunion (Diatomées exclues) - *Cryptogamie, algologie* 7(2) 87-121.
- 3) COSTE M., BOUTRY, S., TISON-ROSEBERY, J., DELMAS, F. (2009) Improvements of the Biological Diatom Index (BDI): Description and efficiency of the new version (BDI-2006). *Ecological Indicators*, 9, 621-650
- 4) COSTE M. in CEMAGREF, 1982. Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. CEMAGREF rapport Q.E. Lyon A.F. Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 218 pp (IPS Coste).
- 5) DUFRENE M. and LEGENDRE, P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-66 (Indval)
- 6) GOSSELAIN V., CAMPEAU S., GEVREY M., COSTE M., ECTOR L., RIMET F., TISON J., DELMAS F., PARK Y.-S., LEK S., DESCY J.-P. – 2005. Diatom typology of low-impacted conditions at a multi-regional scale: combined results of multivariate analyses and SOM. In S. LEK, M. SCARDI, P. F. M. VERDONSCHOT, J.-P. DESCY & Y. S. PARK, *Modelling Community structure in freshwater ecosystems.*, Springer, 5.6.: 317-342
- 7) J.O.C.E.09/2000 - European Parliament and Council 2000 Water Framework Directive 2000/60/EC establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities* L327, 1–73.
- 8) KELLY, M.G., BENNETT, C., COSTE, M., DELMAS, F., DENYS, L., ECTOR, L., FAUVILLE, C., FERREOL M., GOLUB, M., JARLMANN, A., KAHLERT, M., LUCEY, J., NI CHATAIN, B., PARDO, I., PFISTER, P., PINCISKA-FALTYNOWICZ, J., SCHRANZ, C., TISON, J., VAN DAM H. & VILBASTE, S., 2007. Central/Baltic GIG Phytobenthos Intercalibration Exercise.
http://circa.europa.eu/Public/irc/jrc/jrc_eewai/library?l=/intercalibration_2/lastest_committee/rivers/phytobenthosdoc/_EN_1.0_&a=d
- 9) KELLY, M. G. & WHITTON, B.A., 1995. The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* 7: 433–444. (TDI Whitton & Kelly).
- 10) LENOIR, A. & COSTE, M., 1996. Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French National Water Board network. In Whitton, B. A. & E. Rott (eds), *Use of Algae for Monitoring Rivers II*. Institut für Botanik. Universität Innsbruck: 29–43. (IBD Lenoir & Coste)
- 11) MALAVOI, J.R. (1998). Typologie et sectorisation des cours d'eau de la Réunion. Rapport DIREN Réunion, 22 p.
- 12) MALAVOI, J.R. (1999). Typologie et sectorisation des petits cours d'eau de la Réunion. Rapport DIREN Réunion, 42 p.
- 13) - PARK Y.-S., TISON J., LEK S., GIRAUDEL J.-L., COSTE M., DELMAS F., 2006 Application of a self-organizing map to select representative species in multivariate analysis: A case study determining diatom distribution patterns across France. *Ecological Informatics*, 1, 247-257.
- 14) ROTT, E., HOFMANN G., PALL, K., PFISTER P. & PIPP, E., 1997. Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 1: Saprobielle Indikation. Publ. Wasserwirtschaftskataster, BMFLF: 1–73. (SI Rott)
- 15) ROTT, E., VAN DAM, H., PFISTER, P., PIPP, E., PALL, K., BINDER N., & ORTLER, K., 1999. Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 2: Trophieindikation, geochemische Reaktion, toxikologische und taxonomische Anmerkungen. Publ. Wasserwirtschaftskataster, BMFLF: 1–248. (TI Rott)

- 16) TISON, J., GIRAUDEL, J.L., COSTE, M., PARK Y. S. & DELMAS F. (2004) - Use of unsupervised neural networks for eco-regional zonation of hydrosystems through diatom communities : case study of Adour-Garonne watershed (France). *Arch. Hydrobiol.* **159** (3): 409-422.
- 17) TISON, J., GIRAUDEL, J. L., PARK, Y.-S., COSTE, M. & DELMAS, F. (2005) - Classification of stream diatom communities using a self-organizing map. In S. LEK, M. SCARDI, P. F. M. VERDONSCHOT, J.-P. DESCY & Y. S. PARK, *Modelling Community structure in freshwater ecosystems.*, Springer, **5.5.**: 304-316.
- 18) TISON, J., PARK, Y.S., COSTE, M., WASSON, J.G., ECTOR, L., RIMET, F., DELMAS, F. - 2005. Typology of diatom communities and the influence of hydro-ecoregions: A study on the French hydrosystem scale. *Water Research*, vol. 39, p. 3177 – 3188.
- 19) TISON J., PARK Y S., COSTE M., WASSON J-G., RIMET F., ECTOR L., DELMAS F., 2007, Predicting diatom reference communities at the French hydrosystem scale: a first step towards the definition of the good ecological status, *Ecological Modelling*, Vol. 203, 1-2.: 99-108.
- 20) WASSON, J.G., CHANDESRI, A., PELLA, H. & BLANC, L. (2002). Définition des Hydro-écorégions françaises métropolitaines. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. Rapport, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Cemagref Lyon BEA/LHQ. 190 p.
- 21) WASSON, J.G., CHANDESRI, A., PELLA, H. (2004). Hydro-écorégions de l'île de la Réunion. Propositions de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

ANNEXE1 (1)

Liste des 343 taxons trouvés à la Réunion

N° taxon	Nom taxon (1)	Code
1	<i>Achnanthes inflata</i>	AINF
2	<i>Achnanthes rupestoides</i>	ARPT
3	<i>Achnantheidium bebourensis</i> sp. nov.	ADBE
4	<i>Achnantheidium catenatum</i>	ADCT
5	<i>Achnantheidium exiguum</i>	ADEG
6	<i>Achnantheidium navaroli</i> sp. nov.	ADNA
7	<i>Achnantheidium panonensis</i> sp. nov.	ADPN
8	<i>Achnantheidium</i> sp. n° 1	ADC1
9	<i>Achnantheidium</i> sp. n° 2	ADC2
10	<i>Achnantheidium</i> sp. n° 3	ADC3
11	<i>Achnantheidium subhudsonis</i>	ADSH
12	<i>Adlafia muscora</i>	AMUS
13	<i>Adlafia</i> sp. n° 1	ADSP
14	<i>Amphora</i> cf. <i>copulata</i>	ACOP
15	<i>Amphora pediculus</i>	APED
16	<i>Amphora</i> sp. n° 1	AMP1
17	<i>Amphora</i> sp. n° 2	AMP2
18	<i>Aulacoseira ambigua</i>	AAMB
19	<i>Brachysira brebissonii</i>	BBRE
20	<i>Brachysira</i> sp. n° 1	BRC1
21	<i>Brachysira</i> sp. n° 2	BRC2
22	<i>Caloneis</i> aff. <i>hyalina</i>	CHYA
23	<i>Caloneis fontinalis</i>	CFON
24	<i>Caloneis</i> sp. n° 1	CAL1
25	<i>Caloneis</i> sp. n° 2	CAL2
26	<i>Caloneis</i> sp. n° 3	CAL3
27	<i>Chamaepinnularia</i> aff. <i>hippodontiforma</i>	CHHI
28	<i>Chamaepinnularia</i> aff. <i>submuscicola</i>	CSMU
29	<i>Chamaepinnularia</i> sp. n° 1	CHS1
30	<i>Chamaepinnularia</i> sp. n° 2	CHS2
31	<i>Chamaepinnularia</i> sp. n° 3	CHS3
32	<i>Cocconeis euglypta</i>	CEUG
33	<i>Cocconeis pediculus</i>	CPED
34	<i>Cocconeis</i> sp. n° 1	COC1
35	<i>Cocconeis</i> sp. n° 2	COC2
36	<i>Craticula molestiformis</i>	CMLF
37	<i>Craticula</i> sp. n° 1	CRT1
38	<i>Craticula submolesta</i>	CSBM
39	<i>Crucicostulifera delauneyi</i> sp. nov.	CRCD
40	<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	CINV
41	<i>Cyclotella atomus</i>	CATO
42	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	CMEN
43	<i>Cyclotella radiosa</i>	CRAD
44	<i>Cymbella</i> aff. <i>diminuta</i>	CDMN
45	<i>Cymbella bengaliformis</i>	CBGF
46	<i>Cymbella excisa</i>	CAEX
47	<i>Cymbella</i> sp. n° 1	CYM1
48	<i>Cymbella</i> sp. n° 2	CYM2
49	<i>Cymbella</i> sp. n° 3	CYM3
50	<i>Cymbella</i> sp. n° 4	CYM4
51	<i>Cymbella</i> sp. n° 5	CYM5
52	<i>Cymbella tropica</i>	CTRO
53	<i>Denticula sundayensis</i>	DSUN
54	<i>Diadsmis</i> aff. <i>discordabilis</i>	DDSC
55	<i>Diadsmis</i> aff. <i>subtropica</i>	DDST
56	<i>Diadsmis confervacea</i>	DCOF
57	<i>Diadsmis contenta</i>	DCOT
58	<i>Diadsmis corrugata</i>	DCOR

N° taxon	Nom taxon (2)	Code
59	<i>Diadsmis langebertalotii</i>	DLBE
60	<i>Diadsmis</i> sp. n° 1	DDS1
61	<i>Diadsmis</i> sp. n° 2	DDS2
62	<i>Diatoma vulgare</i>	DVUL
63	<i>Diploneis puella</i>	DPUE
64	<i>Diploneis</i> sp. n° 2	DIP2
65	<i>Discostella pseudostelligera</i>	DPST
66	<i>Encyonema</i> aff. <i>lacustre</i>	ELAC
67	<i>Encyonema silesiacum</i>	ESLE
68	<i>Encyonema</i> sp. n° 1	ENS1
69	<i>Encyonema</i> sp. n° 2	ENS2
70	<i>Encyonema</i> sp. n° 3	ENS3
71	<i>Encyonema</i> sp. n° 4	ENS4
72	<i>Encyonema stigmatoides</i>	ESTI
73	<i>Encyonopsis</i> aff. <i>rumrichae</i>	ECRU
74	<i>Encyonopsis cilaosensis</i> sp. nov.	ECIL
75	<i>Encyonopsis</i> sp. n° 1 sp. nov.	ECP1
76	<i>Eolimna archibaldii</i>	EOS3
77	<i>Eolimna minima</i>	EOMI
78	<i>Eolimna rhombelliptica</i>	EORH
79	<i>Eolimna ruttneri</i>	EORU
80	<i>Eolimna</i> sp. n° 1	EOS1
81	<i>Eolimna</i> sp. n° 2	EOS2
82	<i>Eolimna subminuscula</i>	ESBM
83	<i>Epithemia adnata</i>	EADN
84	<i>Eunotia</i> aff. <i>pyramidata</i>	EPYR
85	<i>Eunotia bilunaris</i> form. 1	EBI1
86	<i>Eunotia bilunaris</i> form. 2	EBI2
87	<i>Eunotia botulliformis</i>	EBOT
88	<i>Eunotia exigua</i>	EEXI
89	<i>Eunotia minor</i>	EMIN
90	<i>Eunotia</i> sp. n° 01	EUN1
91	<i>Eunotia</i> sp. n° 02	EUN2
92	<i>Eunotia</i> sp. n° 03	EUN3
93	<i>Eunotia</i> sp. n° 04	EUN4
94	<i>Eunotia</i> sp. n° 05	EUN5
95	<i>Eunotia</i> sp. n° 06	EUN6
96	<i>Eunotia</i> sp. n° 08	EUN8
97	<i>Eunotia</i> sp. n° 09	EUN9
98	<i>Eunotia</i> sp. n° 10	EUSD
99	<i>Eunotia</i> sp. n° 11	EUNZ
100	<i>Fallacia</i> aff. <i>crassicostata</i>	FACS
101	<i>Fallacia insociabilis</i>	FINS
102	<i>Fallacia lenzi</i>	FLEN
103	<i>Fallacia meridionalis</i>	FMER
104	<i>Fallacia pygmaea</i>	FPYG
105	<i>Fistulifera saprophila</i>	FSAP
106	<i>Fragilaria</i> aff. <i>goulardii</i>	FGOU
107	<i>Fragilaria</i> sp. n° 1	FRA1
108	<i>Fragilaria</i> sp. n° 2	FRA2
109	<i>Fragilaria</i> sp. n° 3	FRA3
110	<i>Fragilaria</i> sp. n° 5	FRA5
111	<i>Fragilaria</i> sp. n° 6	FRA6
112	<i>Fragilaria</i> sp. n° 7	FRA7
113	<i>Fragilaria</i> sp. n° 8	FRA8
114	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVAU
115	<i>Frustulia crassinervia</i>	FCRS
116	<i>Frustulia</i> sp. n° 1	FRU1

ANNEXE 1 (2)

N° taxon	Nom taxon (3)	Code
117	<i>Frustulia</i> sp. n° 3	FRU3
118	<i>Frustulia</i> sp. n° 4	FRU4
119	<i>Frustulia</i> sp. n° 5	FRU5
120	<i>Frustulia</i> sp. n° 6	FRU6
121	<i>Frustulia</i> sp. n° 7	FRU7
122	<i>Frustulia vulgaris</i>	FVUL
123	<i>Geissleria bourbonensis</i>	GBBO
124	<i>Geissleria decussis</i>	GDEC
125	<i>Geissleria ignota</i>	GINO
126	<i>Geissleria mafatensis</i>	GMAF
127	<i>Geissleria mascarenensis</i>	GMAS
128	<i>Gomphoneis minuta</i>	GMMI
129	<i>Gomphonema</i> aff. <i>acidoclinatum</i>	GADC
130	<i>Gomphonema</i> aff. <i>angustatum</i>	GAN1
131	<i>Gomphonema</i> aff. <i>designatum</i>	GDES
132	<i>Gomphonema</i> aff. <i>subclavatum</i>	GSCL
133	<i>Gomphonema</i> aff. <i>subclavatum</i> 2	GSC2
134	<i>Gomphonema afrahombicum</i>	GARB
135	<i>Gomphonema angustatum</i>	GANG
136	<i>Gomphonema angustivalva</i>	GAGV
137	<i>Gomphonema bourbonense</i>	GBOB
138	<i>Gomphonema brasiliense</i> subsp. <i>pacificum</i>	GBRA
139	<i>Gomphonema clevelandi</i>	GCLE
140	<i>Gomphonema contraturris</i>	GCTT
141	<i>Gomphonema curvipdatum</i>	GCUV
142	<i>Gomphonema gracile</i> sensu auct. non null.	GGRA
143	<i>Gomphonema lagenula</i>	GLGN
144	<i>Gomphonema laticollum</i>	GLTC
145	<i>Gomphonema minutum</i>	GMIN
146	<i>Gomphonema parvulum</i>	GPAR
147	<i>Gomphonema perapicatum</i>	GPAS
148	<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i>	GPAP
149	<i>Gomphonema saprophilum</i>	GPRI
150	<i>Gomphonema</i> sp. n° 01	GOM1
151	<i>Gomphonema</i> sp. n° 02	GOM2
152	<i>Gomphonema</i> sp. n° 03	GOM3
153	<i>Gomphonema</i> sp. n° 04	GOM4
154	<i>Gomphonema</i> sp. n° 05	GOM5
155	<i>Gomphonema</i> sp. n° 06	GOM6
156	<i>Gomphonema</i> sp. n° 07	GOM7
157	<i>Gomphonema</i> sp. n° 08	GOM8
158	<i>Gomphonema</i> sp. n° 09	GOM9
159	<i>Gomphonema</i> sp. n° 10	GOMX
160	<i>Gomphonema</i> sp. n° 11	GOMZ
161	<i>Gomphonema</i> sp. n° 12	GOMD
162	<i>Gomphonema</i> sp. n° 13	GOTZ
163	<i>Gomphonema</i> sp. n° 14	GOQT
164	<i>Gomphonema</i> sp. n° 15	GOQI
165	<i>Gomphonema</i> sp. n° 16	GOSZ
166	<i>Gomphonema</i> sp. n° 17	GODS
167	<i>Gomphonema</i> sp. n° 18	GODH
168	<i>Gomphonema</i> sp. n° 19	GODN
169	<i>Gomphonitzschia</i> sp.	GNIT
170	<i>Gomphosphenia</i> cf. <i>ohauensis</i>	GOAH
171	<i>Gomphosphenia tenerima</i>	GTNR
172	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	GYAC
173	<i>Halamphora acustuciula</i>	HLAC
174	<i>Halamphora ghanensis</i>	HGHA

N° taxon	Nom taxon (4)	Code
175	<i>Halamphora montana</i>	HLMO
176	<i>Halamphora veneta</i>	HVEN
177	<i>Hantzschia amphioxys</i>	HAMP
178	<i>Karayevia</i> aff. <i>amoena</i>	KAAM
179	<i>Kobayasiella bebourensis</i> sp. nov.	KBEB
180	<i>Lemnicola hungarica</i>	LHUN
181	<i>Luticola goeppertiana</i>	LGOE
182	<i>Luticola mutica</i>	LMUT
183	<i>Luticola</i> sp. n° 1	LUT1
184	<i>Mayamaea agrestis</i>	MAGR
185	<i>Mayamaea permittis</i>	MAPE
186	<i>Melosira varians</i>	MVAR
187	<i>Navicula</i> aff. <i>brasilliana</i>	NBRL
188	<i>Navicula</i> aff. <i>crassullexigua</i>	NCRX
189	<i>Navicula</i> aff. <i>cryptocephala</i>	NCRY
190	<i>Navicula</i> aff. <i>juanitalinda</i>	NJUA
191	<i>Navicula</i> aff. <i>subrhynchocephala</i>	NSRH
192	<i>Navicula capitatoradiata</i>	NCPR
193	<i>Navicula cruxmeridionalis</i>	NCXM
194	<i>Navicula cryptotenella</i>	NCTE
195	<i>Navicula erifuga</i>	NERI
196	<i>Navicula escambia</i>	NESC
197	<i>Navicula gregaria</i>	NGRE
198	<i>Navicula lanceolata</i>	NLAN
199	<i>Navicula notha</i>	NNOT
200	<i>Navicula podzorskii</i>	NPDZ
201	<i>Navicula quasidisjuncta</i>	NQDJ
202	<i>Navicula ranomafanensis</i>	NRAN
203	<i>Navicula riediana</i>	NRIE
204	<i>Navicula rostellata</i>	NROS
205	<i>Navicula salinicola</i>	NSLC
206	<i>Navicula simulata</i>	NSIA
207	<i>Navicula</i> sp. n° 01	NAS1
208	<i>Navicula</i> sp. n° 02	NAS2
209	<i>Navicula</i> sp. n° 03	NAS3
210	<i>Navicula</i> sp. n° 04	NAS4
211	<i>Navicula</i> sp. n° 05	NAS5
212	<i>Navicula</i> sp. n° 06	NAS6
213	<i>Navicula</i> sp. n° 07	NAS7
214	<i>Navicula</i> sp. n° 08	NAS8
215	<i>Navicula</i> sp. n° 09	NAS9
216	<i>Navicula</i> sp. n° 10	NXX0
217	<i>Navicula</i> sp. n° 11	NXX1
218	<i>Navicula</i> sp. n° 12	NXX2
219	<i>Navicula</i> sp. n° 13	NXX3
220	<i>Navicula</i> sp. n° 14	NXX4
221	<i>Navicula</i> sp. n° 15	NXX5
222	<i>Navicula</i> sp. n° 16	NXX6
223	<i>Navicula</i> sp. n° 17	NXX7
224	<i>Navicula</i> sp. n° 18	NXX8
225	<i>Navicula</i> sp. n° 19	NXX9
226	<i>Navicula tripunctata</i>	NTPT
227	<i>Navicula vandamil</i>	NVDA
228	<i>Navicula veneta</i>	NVEN
229	<i>Neldium</i> sp. n° 1	NES1
230	<i>Neldium</i> sp. n° 2	NES2
231	<i>Nitzschia abbreviata</i>	NZAB
232	<i>Nitzschia</i> aff. <i>pusilla</i>	NIPU

ANNEXE 1 (3)

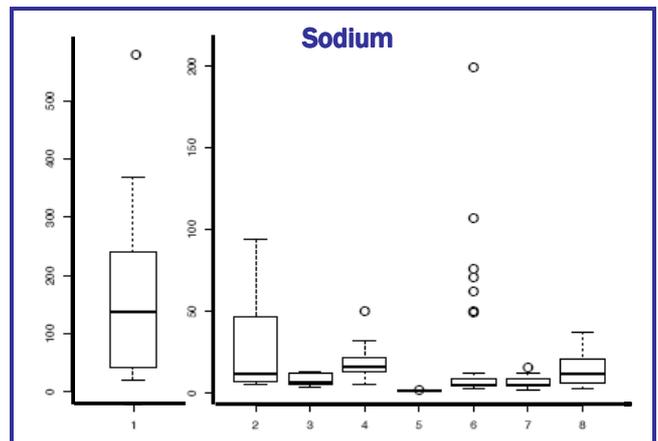
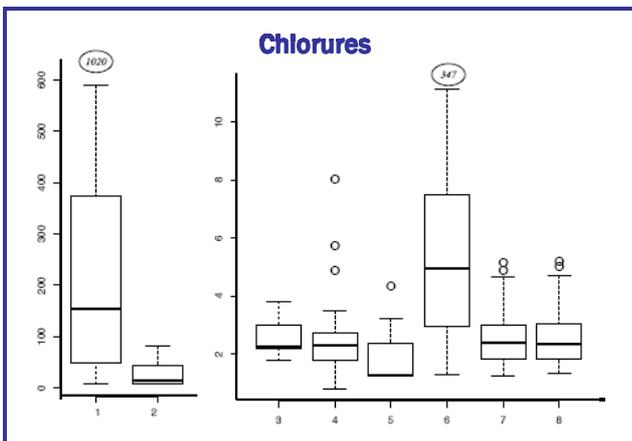
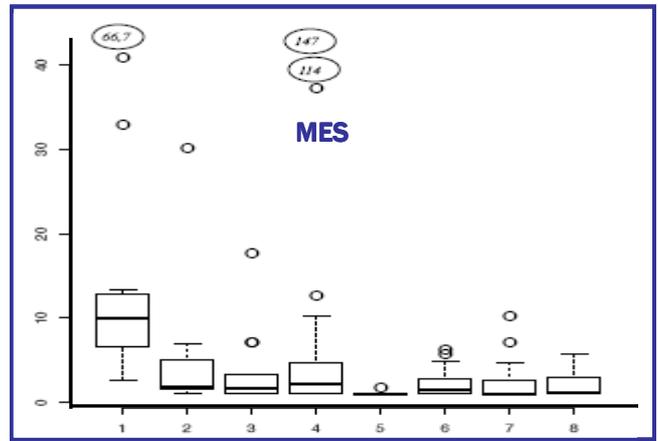
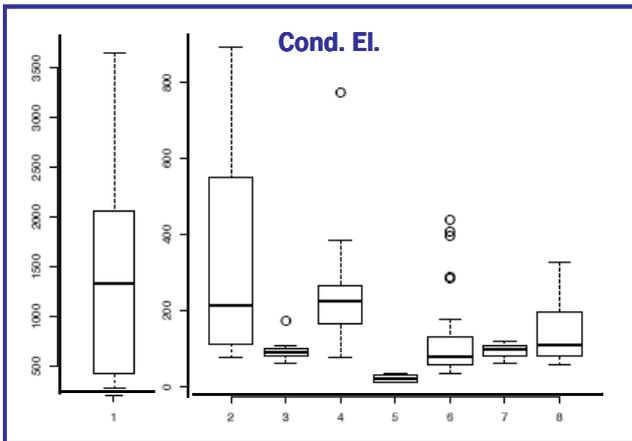
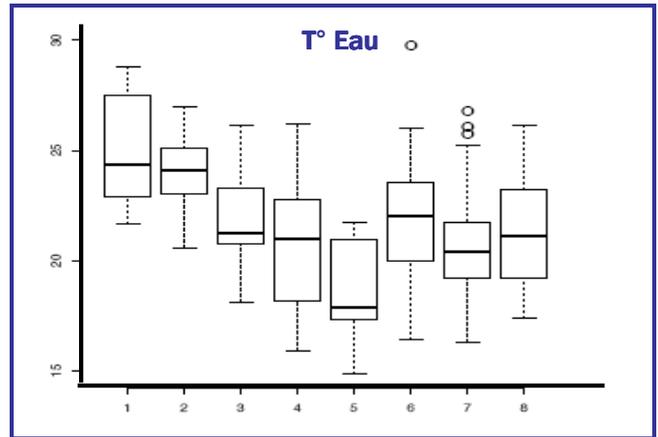
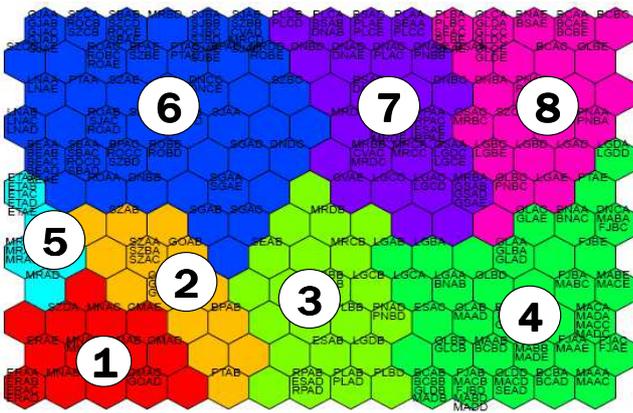
N° taxon	Nom taxon (5)	Code
233	<i>Nitzschia agnita</i>	NAGN
234	<i>Nitzschia amphibia</i>	NAMP
235	<i>Nitzschia amphibia f. frauenfeldii</i>	NAFR
236	<i>Nitzschia biacricula</i>	NBIA
237	<i>Nitzschia bourbonensis sp. nov.</i>	NZBO
238	<i>Nitzschia brevissima</i>	NBRE
239	<i>Nitzschia clausii</i>	NCLA
240	<i>Nitzschia conferta</i>	NFIC
241	<i>Nitzschia dissipata</i>	NDIS
242	<i>Nitzschia epiphyticoides</i>	NEPD
243	<i>Nitzschia filiformis</i>	NFIL
244	<i>Nitzschia fonticola</i>	NFON
245	<i>Nitzschia granulata</i>	NGRT
246	<i>Nitzschia inconspicua</i>	NINC
247	<i>Nitzschia labella</i>	NLAL
248	<i>Nitzschia linearis</i>	NLIN
249	<i>Nitzschia microcephala</i>	NMIC
250	<i>Nitzschia nyassensis</i>	NNYS
251	<i>Nitzschia obtusa</i>	NOBT
252	<i>Nitzschia palea</i>	NPAL
253	<i>Nitzschia paleaeformis</i>	NIPF
254	<i>Nitzschia solgensis</i>	NSOL
255	<i>Nitzschia sp. n° 01</i>	NZS1
256	<i>Nitzschia sp. n° 02</i>	NZS2
257	<i>Nitzschia sp. n° 03</i>	NZS3
258	<i>Nitzschia sp. n° 04</i>	NZS4
259	<i>Nitzschia sp. n° 05</i>	NZS5
260	<i>Nitzschia sp. n° 06</i>	NZS6
261	<i>Nitzschia sp. n° 07</i>	NZS7
262	<i>Nitzschia sp. n° 08</i>	NZS8
263	<i>Nitzschia sp. n° 09</i>	NZS9
264	<i>Nitzschia sp. n° 10</i>	NZZ0
265	<i>Nitzschia sp. n° 11</i>	NZZ1
266	<i>Nitzschia sp. n° 12</i>	NZZ2
267	<i>Nitzschia sp. n° 13</i>	NZZ3
268	<i>Nitzschia sp. n° 14</i>	NZZ4
269	<i>Nitzschia sp. n° 15</i>	NZZ5
270	<i>Nitzschia sp. n° 16</i>	NZZ6
271	<i>Nitzschia sp. n° 17</i>	NZZ7
272	<i>Nitzschia sp. n° 18</i>	NZZ8
273	<i>Nitzschia sp. n° 19</i>	NZZ9
274	<i>Nitzschia sp. n° 20</i>	NZY0
275	<i>Nitzschia sp. n° 21</i>	NZY1
276	<i>Nitzschia sp. n° 22</i>	NZY2
277	<i>Nitzschia sp. n° 23</i>	NZY3
278	<i>Nitzschia sp. n° 24</i>	NZY4
279	<i>Nitzschia sp. n° 25</i>	NZY5
280	<i>Nitzschia sp. n° 26</i>	NZY6
281	<i>Nitzschia sp. n° 27</i>	NZY7
282	<i>Nitzschia sp. n° 28</i>	NZY8
283	<i>Nitzschia sp. n° 29</i>	NZY9
284	<i>Nitzschia sp. n° 30</i>	NZX0
285	<i>Nitzschia sp. n° 31</i>	NZX1
286	<i>Nitzschia sp. n° 32</i>	NZX2
287	<i>Nitzschia sp. n° 33</i>	NZX3
288	<i>Nitzschia sp. n° 34</i>	NZX4
289	<i>Nitzschia sp. n° 35</i>	NZX5
290	<i>Nitzschia sp. nov. n° 1</i>	NSN1

N° taxon	Nom taxon (6)	Code
291	<i>Nitzschia sp. nov. n° 2</i>	NSN2
292	<i>Nitzschia supralittorea</i>	NZSU
293	<i>Nitzschia tropica</i>	NTRO
294	<i>Nitzschia umbonata</i>	NUMB
295	<i>Nupela sp. n° 1</i>	NUP1
296	<i>Nupela sp. n° 2</i>	NUP2
297	<i>Pinnularia gibba var. sancta</i>	PGSC
298	<i>Pinnularia microstauron</i>	PMIC
299	<i>Pinnularia sinistra</i>	PSIN
300	<i>Pinnularia sp. n° 1</i>	PIN1
301	<i>Pinnularia sp. n° 2</i>	PIN2
302	<i>Pinnularia sp. n° 3</i>	PIN3
303	<i>Pinnularia sp. n° 4</i>	PIN4
304	<i>Placoneis symmetrica</i>	PSYM
305	<i>Planothidium aff. frequentissimum-aueri</i>	PTD6
306	<i>Planothidium biporumum</i>	PLBI
307	<i>Planothidium delicatulum</i>	PTDE
308	<i>Planothidium frequentissimum</i>	PLFR
309	<i>Planothidium lanceolatum</i>	PTLA
310	<i>Planothidium robustius</i>	PRBU
311	<i>Planothidium rostratum form. 1</i>	PRS1
312	<i>Planothidium rostratum form. 2</i>	PRS2
313	<i>Planothidium sp. n° 1</i>	PTD1
314	<i>Planothidium sp. n° 2</i>	PTD2
315	<i>Planothidium sp. n° 3</i>	PTD3
316	<i>Planothidium sp. n° 4</i>	PTD4
317	<i>Planothidium sp. n° 5</i>	PTD5
318	<i>Rholcosphenia abbreviata</i>	RABB
319	<i>Rhopalodia gibba</i>	RGIB
320	<i>Rhopalodia hirundiniformis</i>	RHIR
321	<i>Rhopalodia sp. n° 1</i>	RHOS
322	<i>Rhopalodia sp. n° 2</i>	RHO2
323	<i>Sellaphora pupula</i>	SPUP
324	<i>Sellaphora seminulum</i>	SSEM
325	<i>Sellaphora sp. n° 1</i>	SEL1
326	<i>Sellaphora sp. n° 2</i>	SEL2
327	<i>Sellaphora sp. n° 3</i>	SEL3
328	<i>Seminavis sp. n° 1</i>	SMN1
329	<i>Simonsenia delognei</i>	SIDE
330	<i>Stauroneis aff. Thermicola</i>	STHE
331	<i>Stauroneis resoluta</i>	SRES
332	<i>Staurosira mutabilis</i>	SSMU
333	<i>Staurosirella aff. pinnata</i>	SPIN
334	<i>Stenopterobia sp. n° 1</i>	STB1
335	<i>Surirella angusta</i>	SANG
336	<i>Surirella sp. n° 1</i>	SUR1
337	<i>Terpsinoe musica</i>	TMUS
338	<i>Tryblionella apiculata</i>	TAPI
339	<i>Tryblionella debilis</i>	TDEB
340	<i>Ulnaria acus</i>	UACU
341	<i>Ulnaria biceps</i>	UBIC
342	<i>Ulnaria lanceolata</i>	ULAN
343	<i>Ulnaria ulna</i>	UULN

Espèce nouvelle = Sp. Nov.

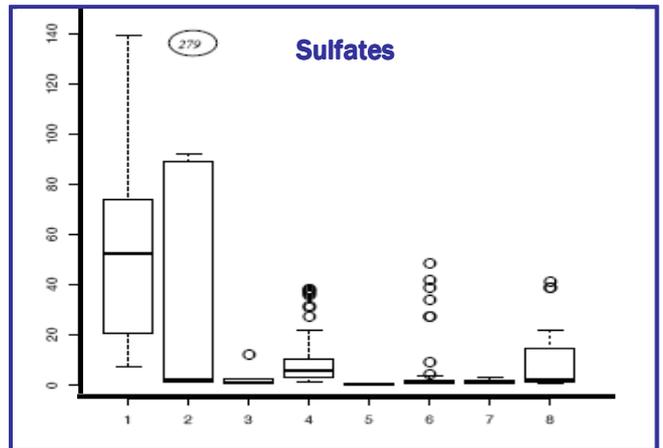
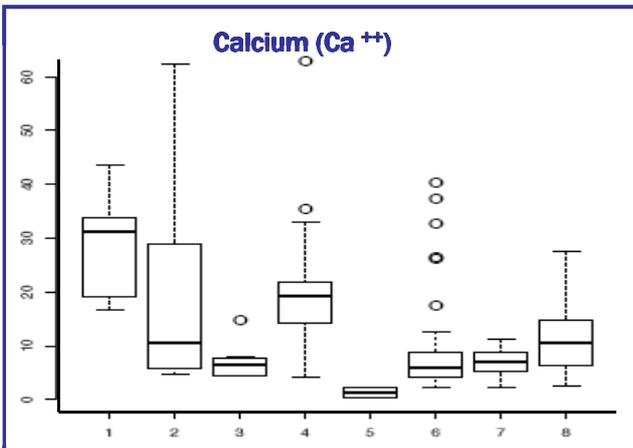
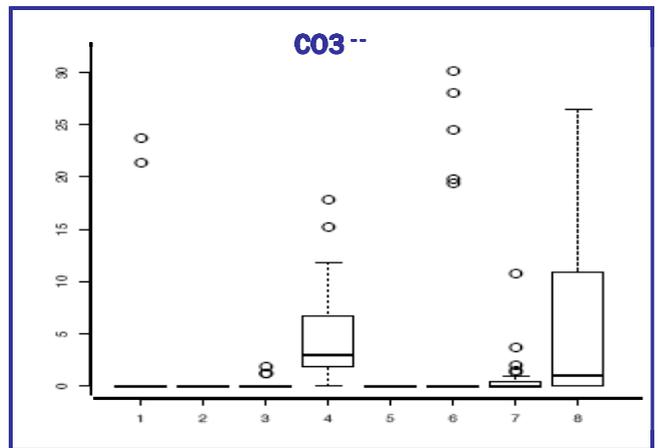
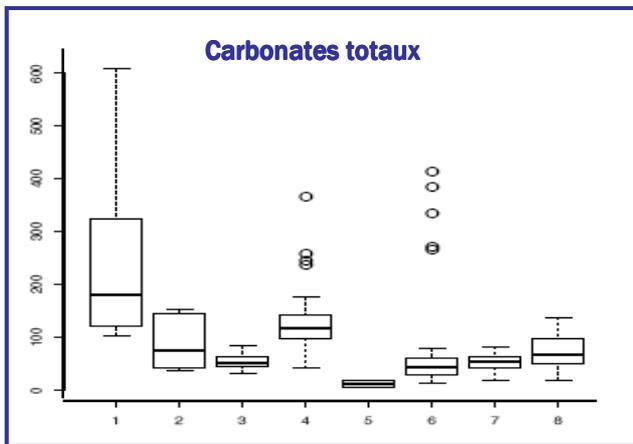
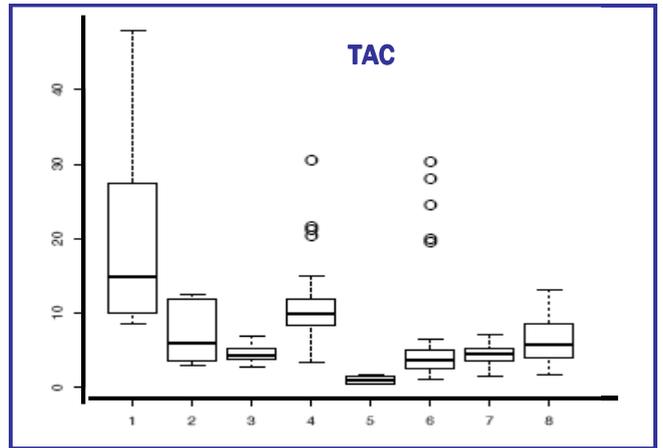
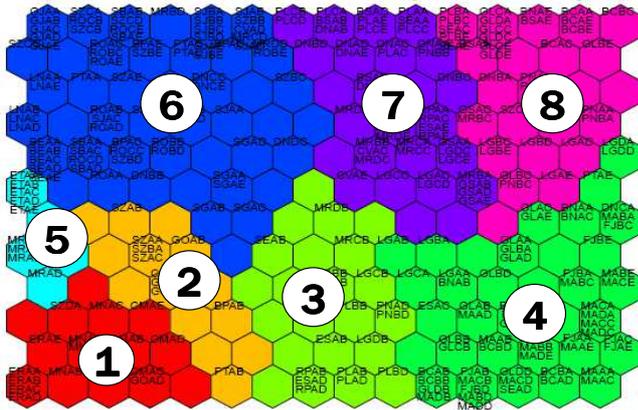
Conditions environnementales des 8 Groupes Diatomiques de la Réunion :
 1) Variables physico-chimiques et hydrochimiques d'influence haline

Positionnement SOM des Groupes Diatomiques



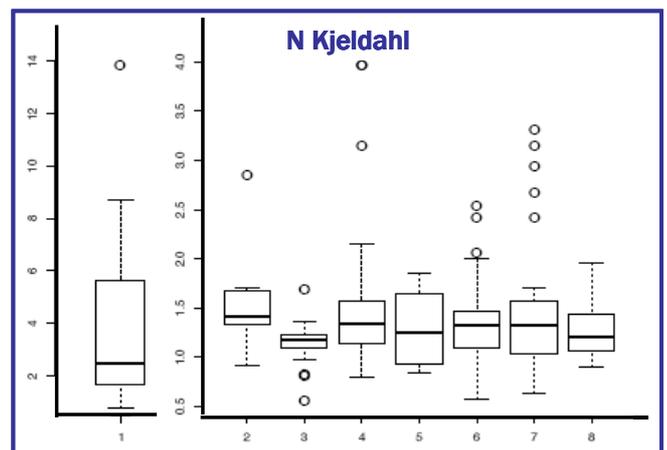
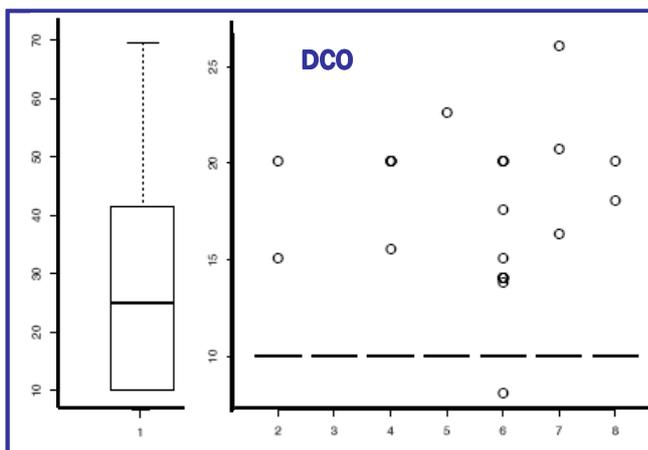
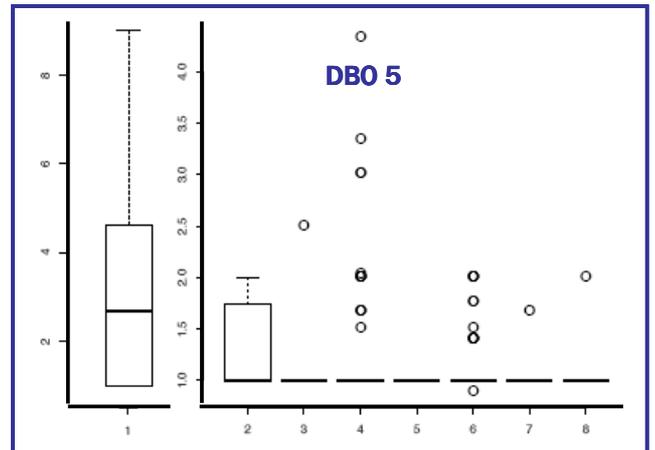
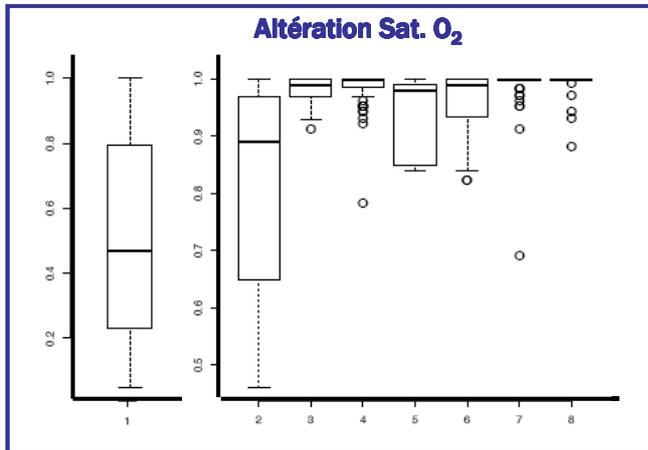
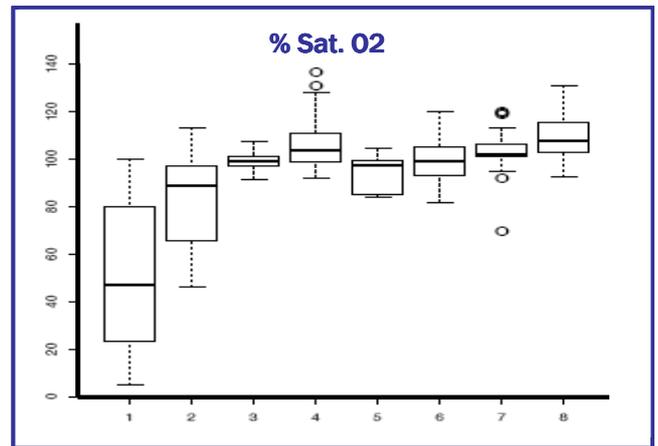
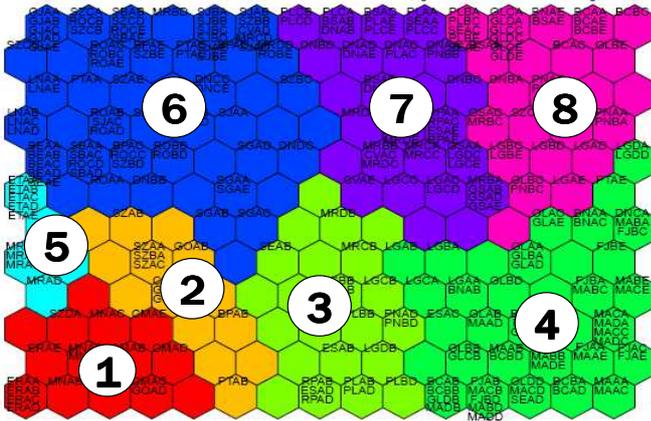
Conditions environnementales des 8 Groupes Diatomiques de la Réunion :
 2) Variables hydrochimiques naturelles liées au substratum géologique

Positionnement SOM des Groupes Diatomiques



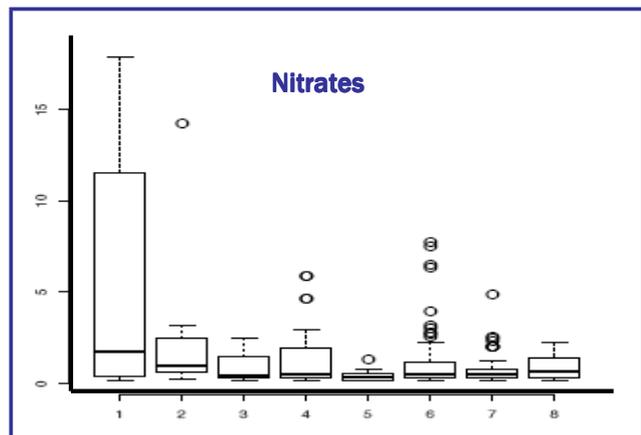
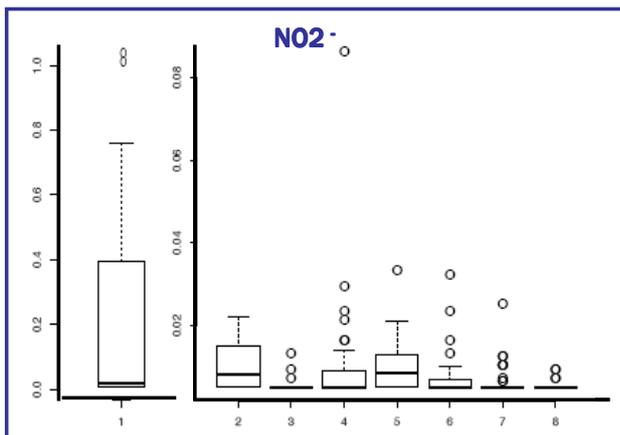
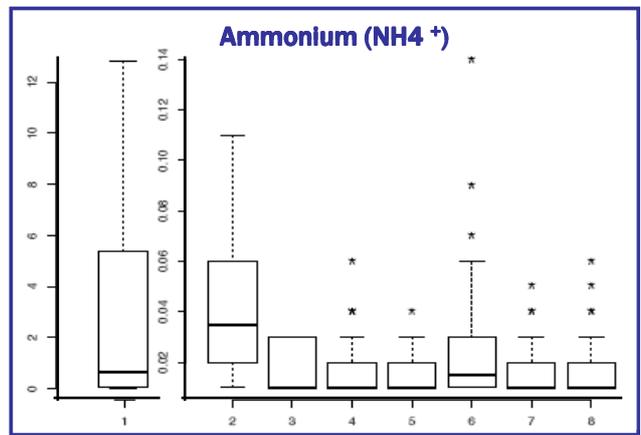
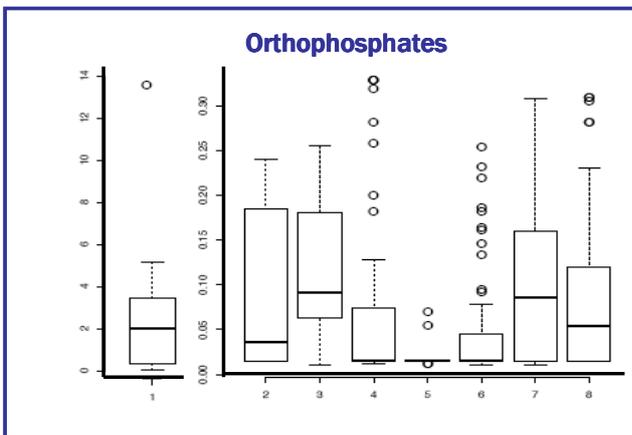
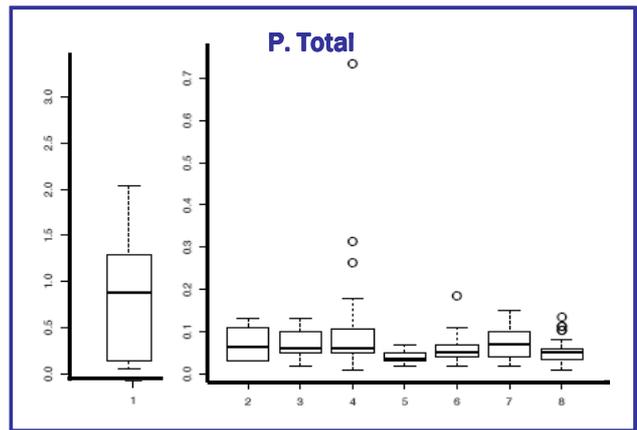
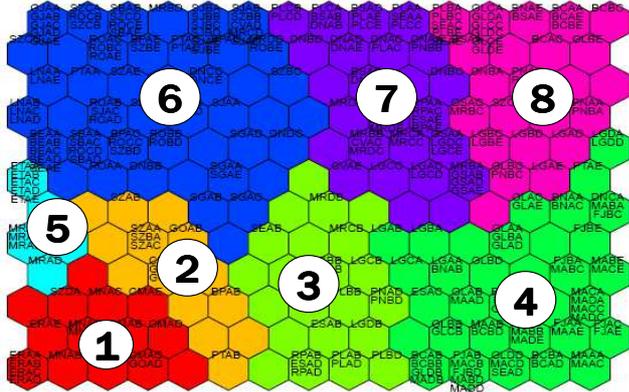
Conditions environnementales des 8 Groupes Diatomiques de la Réunion :
 3) Descripteurs de pollutions organiques

Positionnement SOM des Groupes Diatomiques

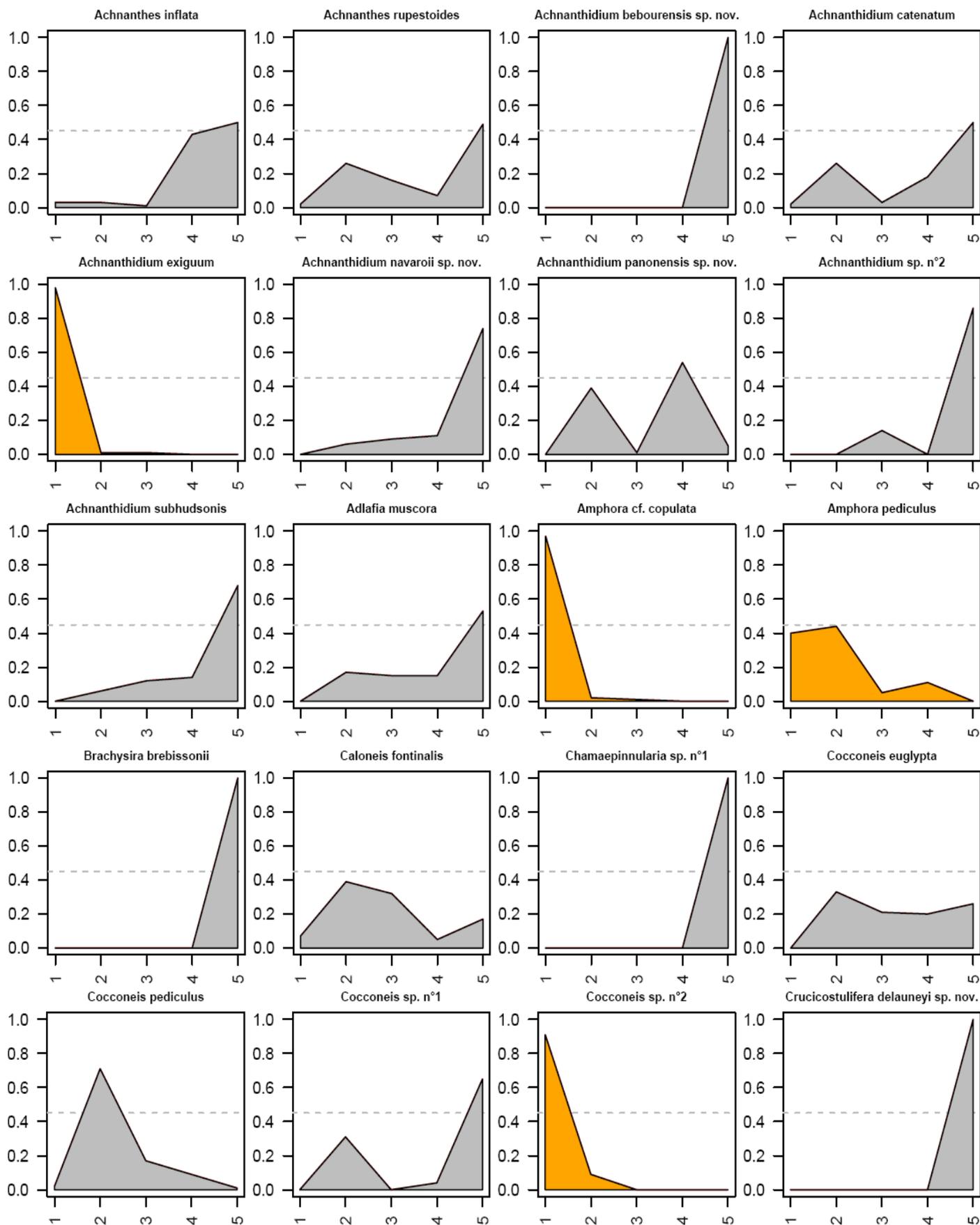


Conditions environnementales des 8 Groupes Diatomiques de la Réunion :
4) descripteurs d'enrichissement trophique

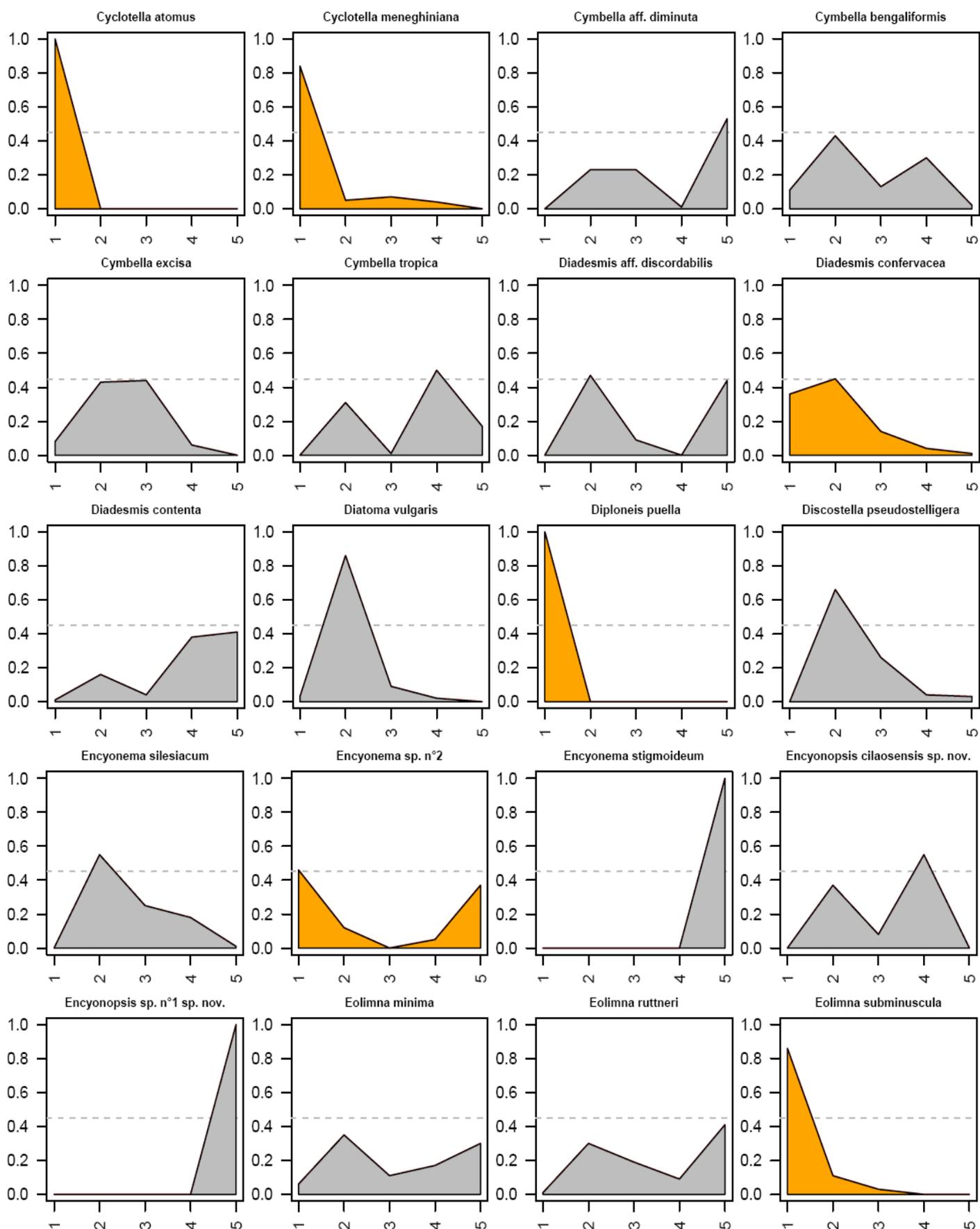
Positionnement SOM des Groupes Diatomiques



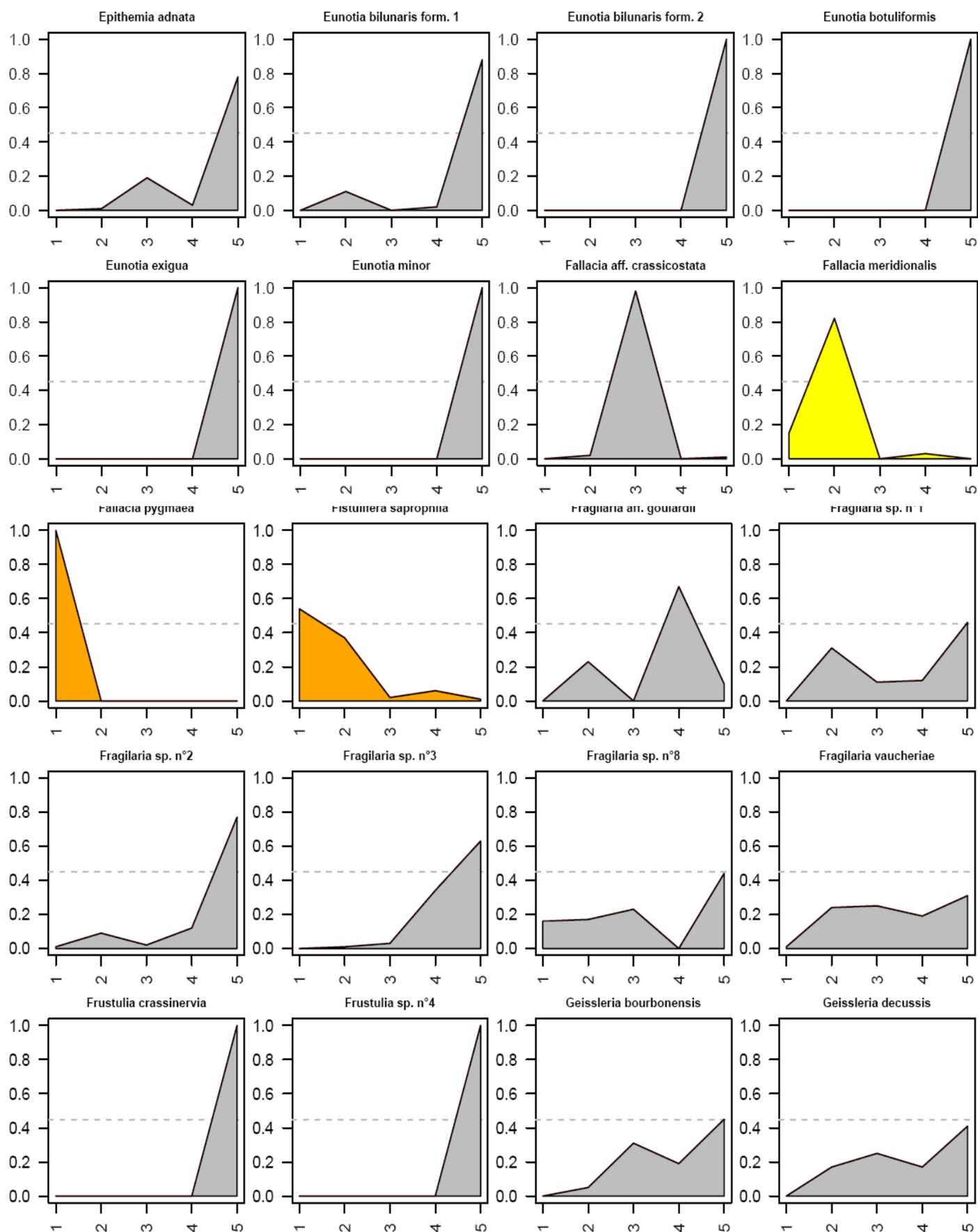
Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l' IDR (1)



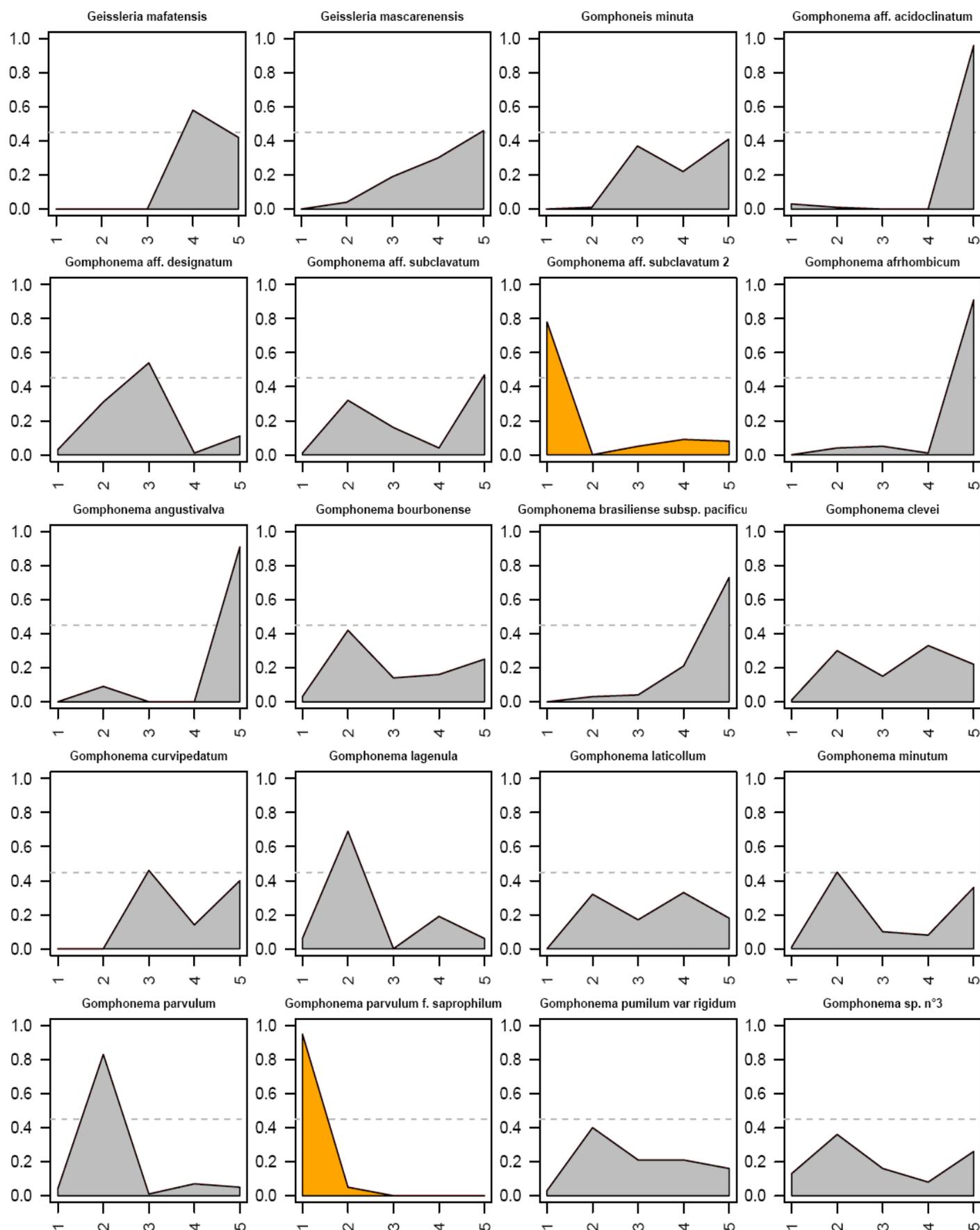
Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l' IDR (2)



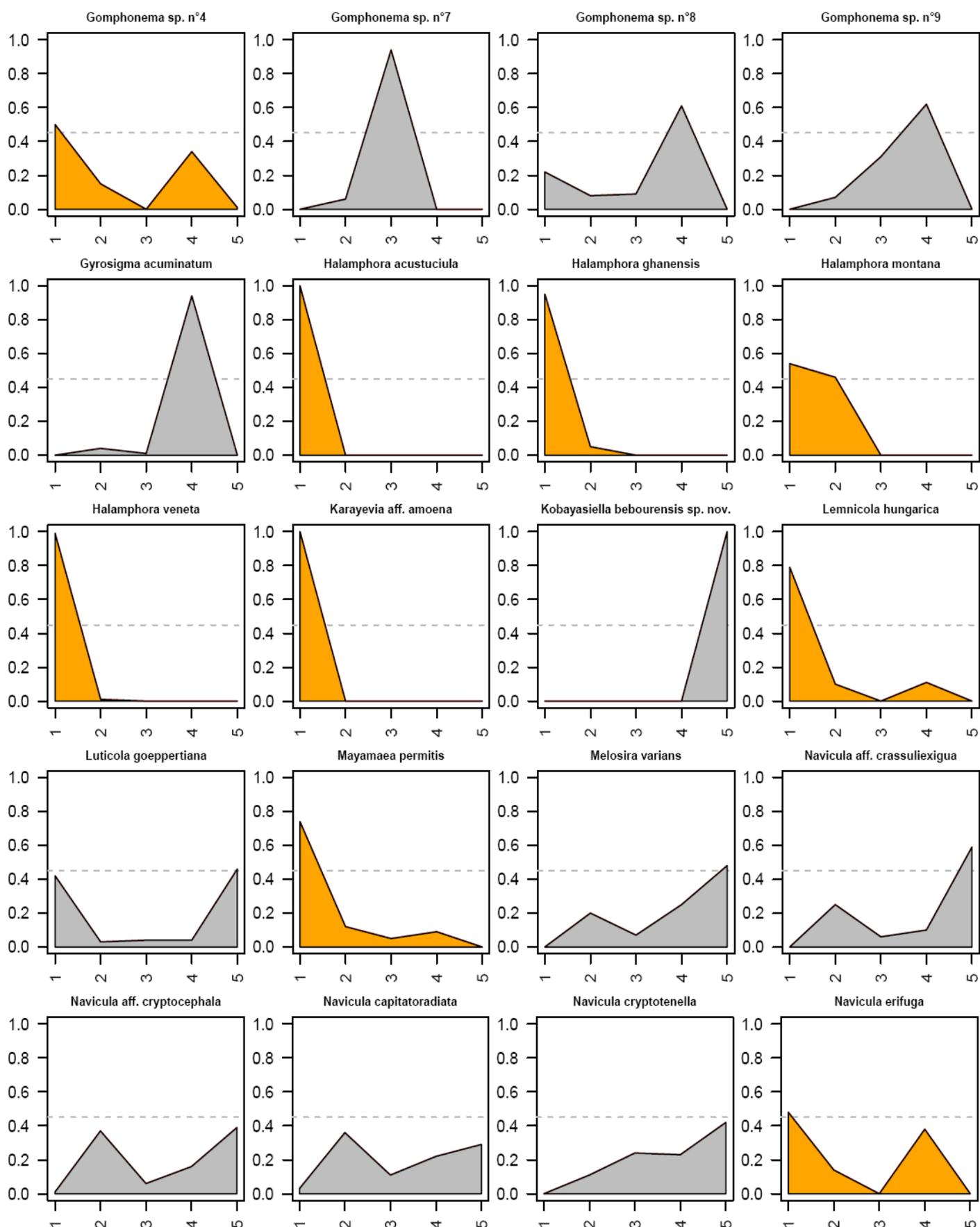
Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l' IDR (3)



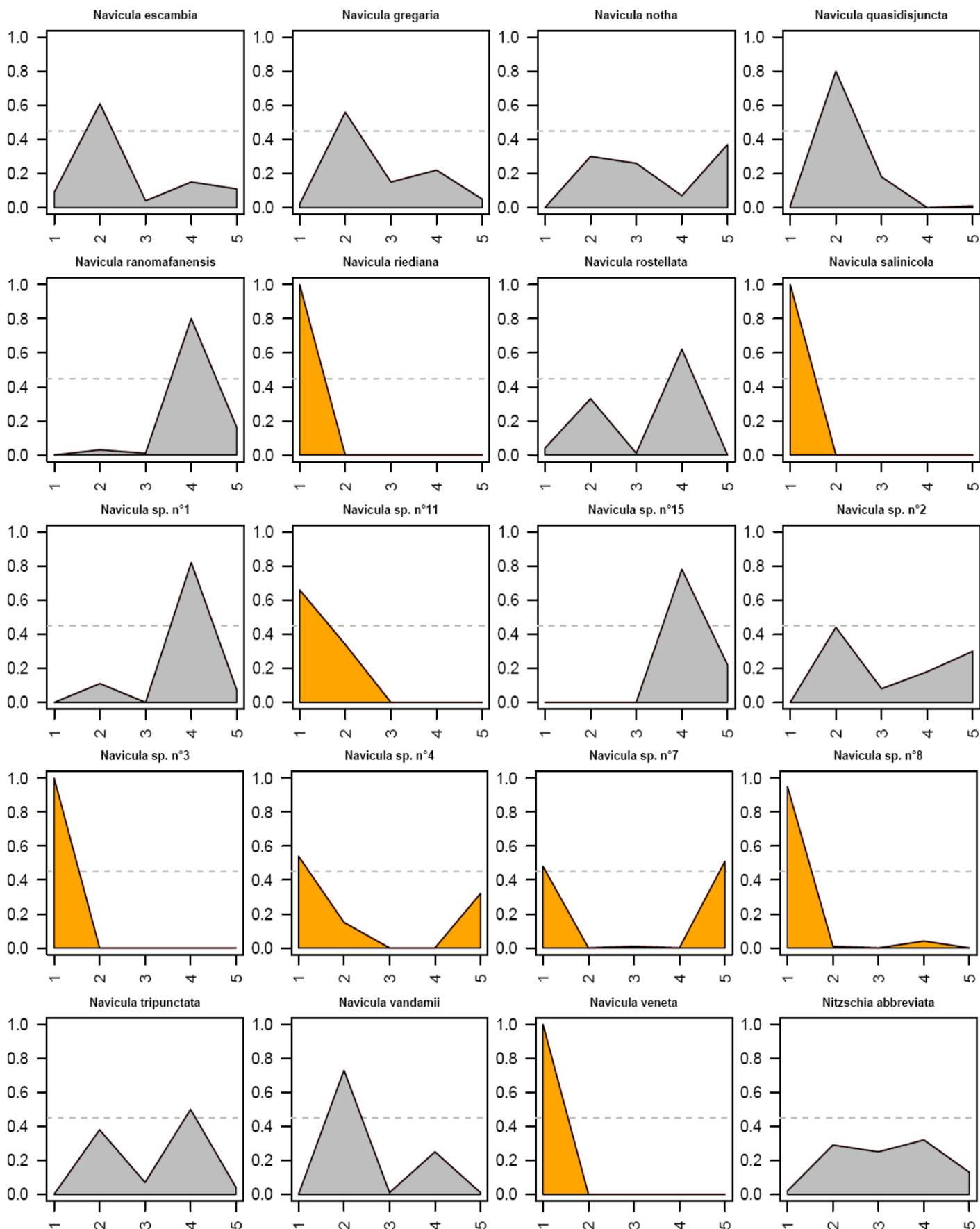
Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l' IDR (4)



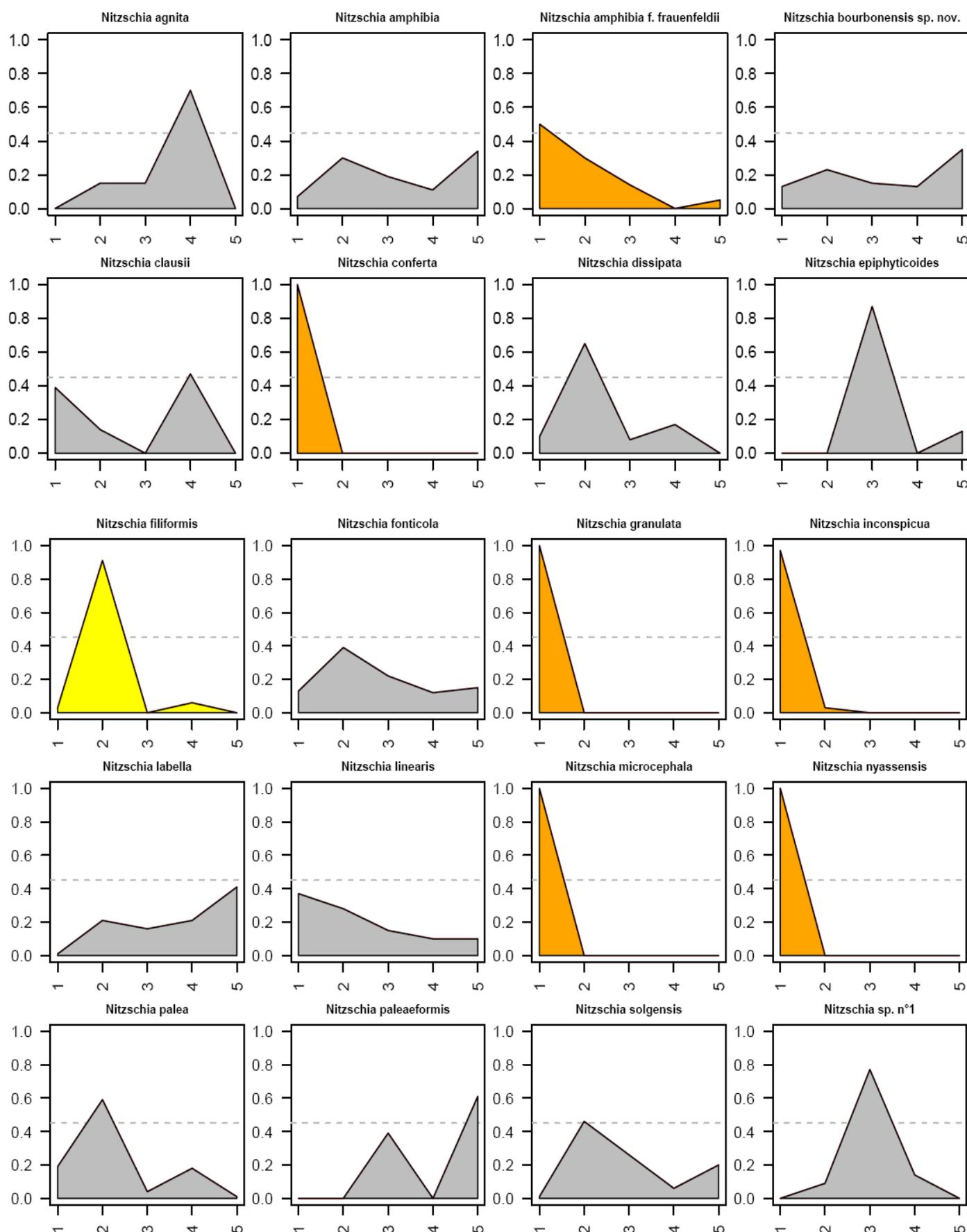
Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l' IDR (5)



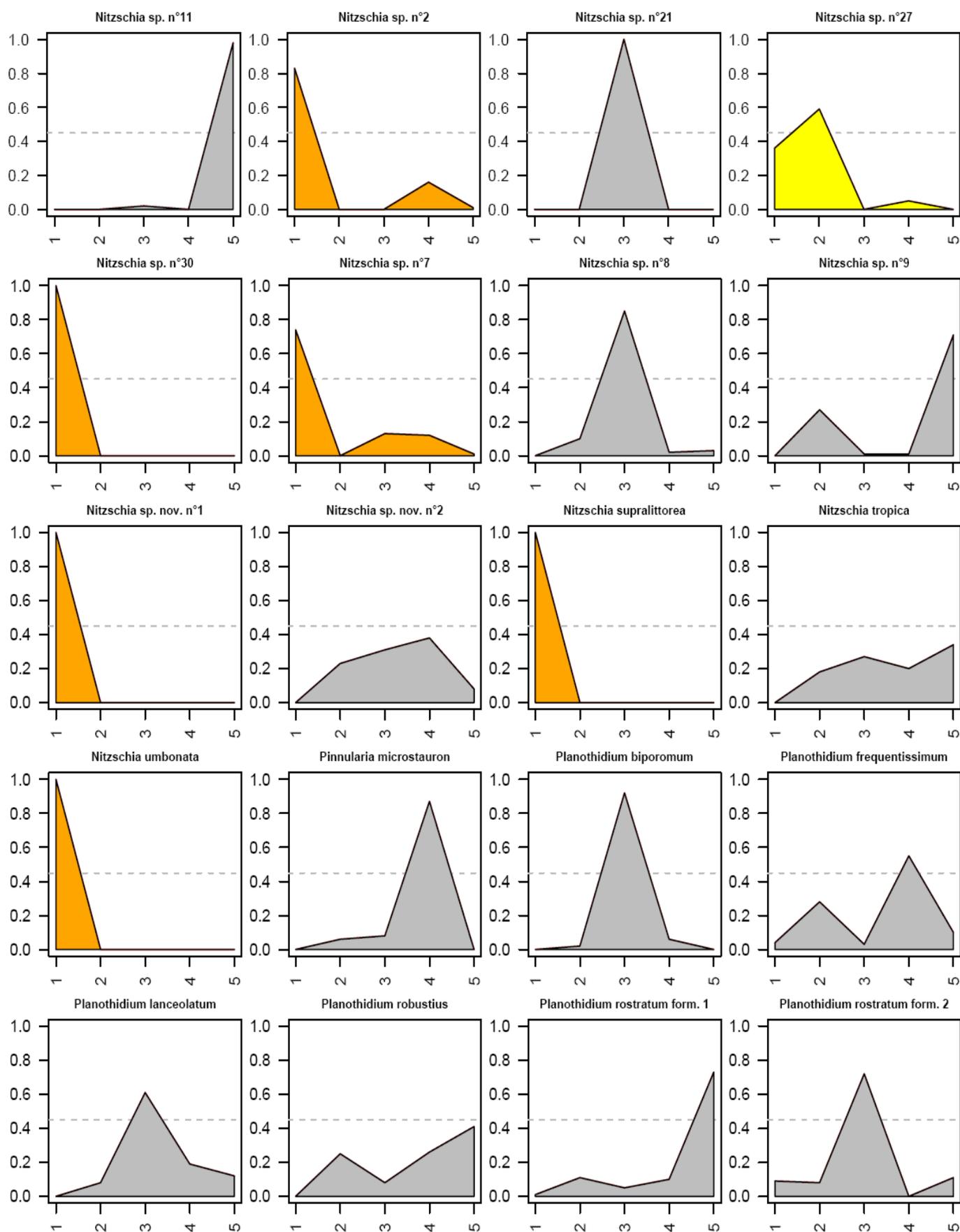
Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l' IDR (6)



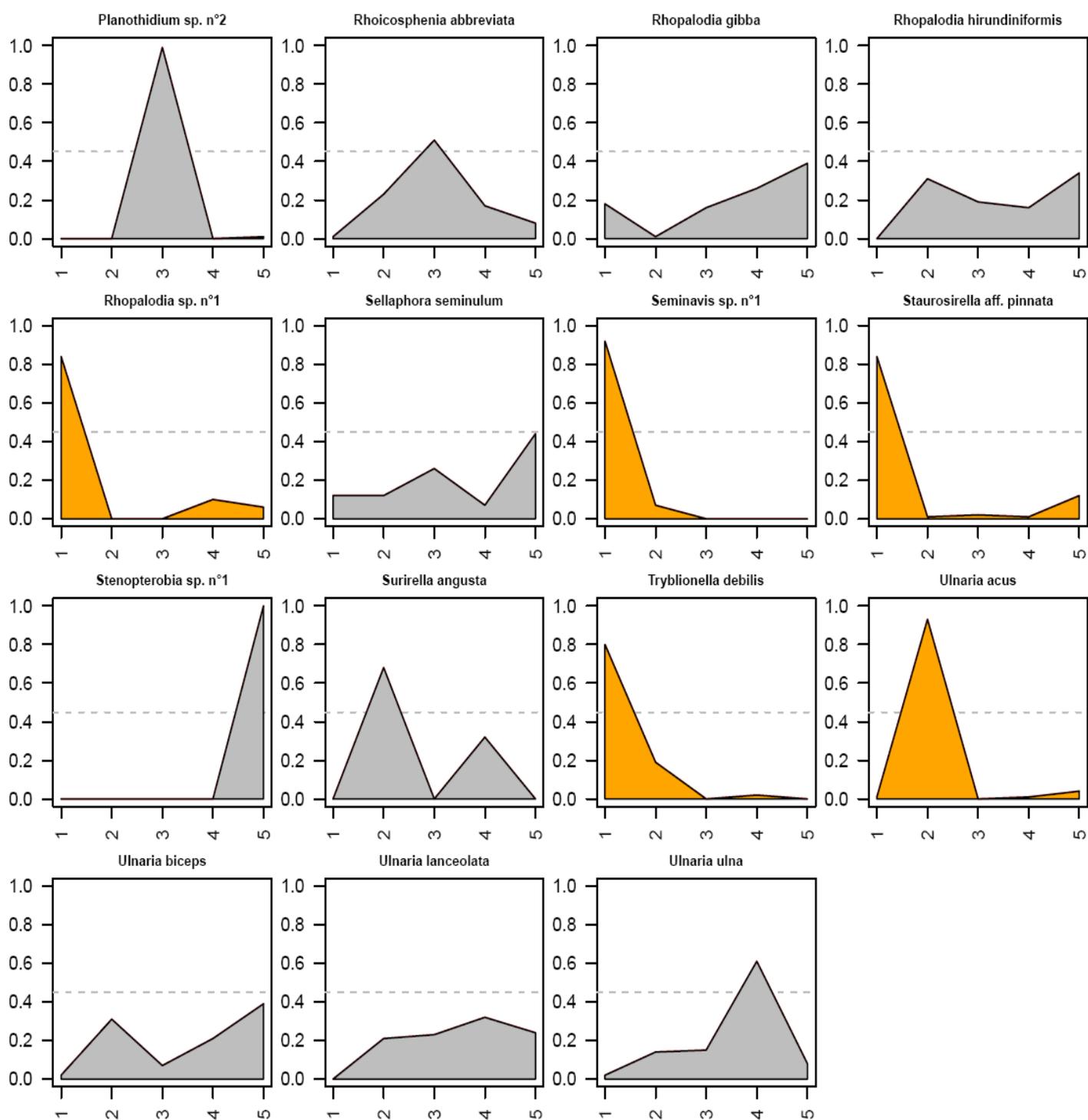
Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l' IDR (7)



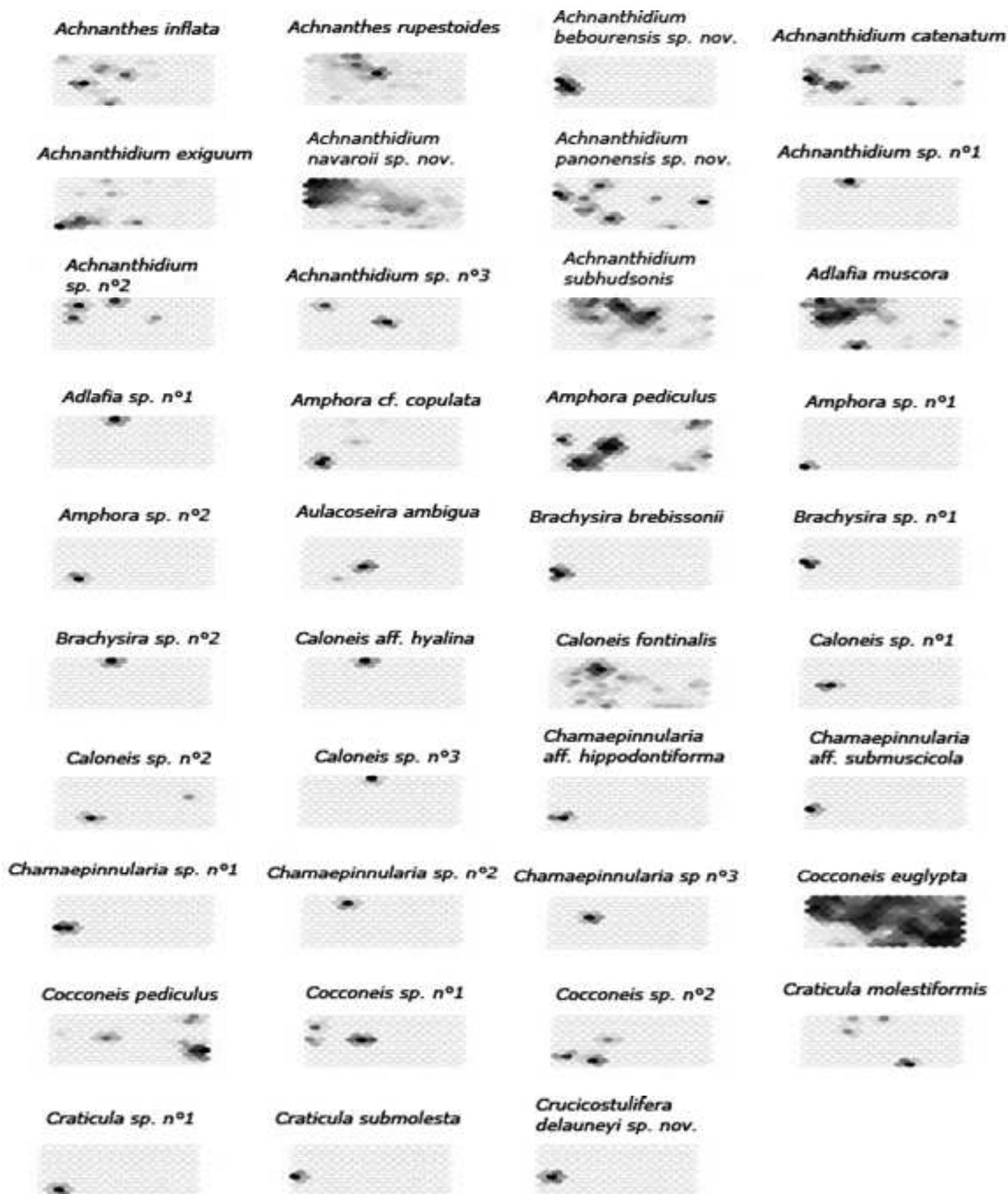
Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l' IDR (8)



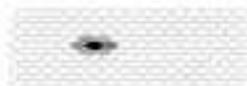
Profils de qualité des espèces diatomiques incluses dans l' IDR (9)



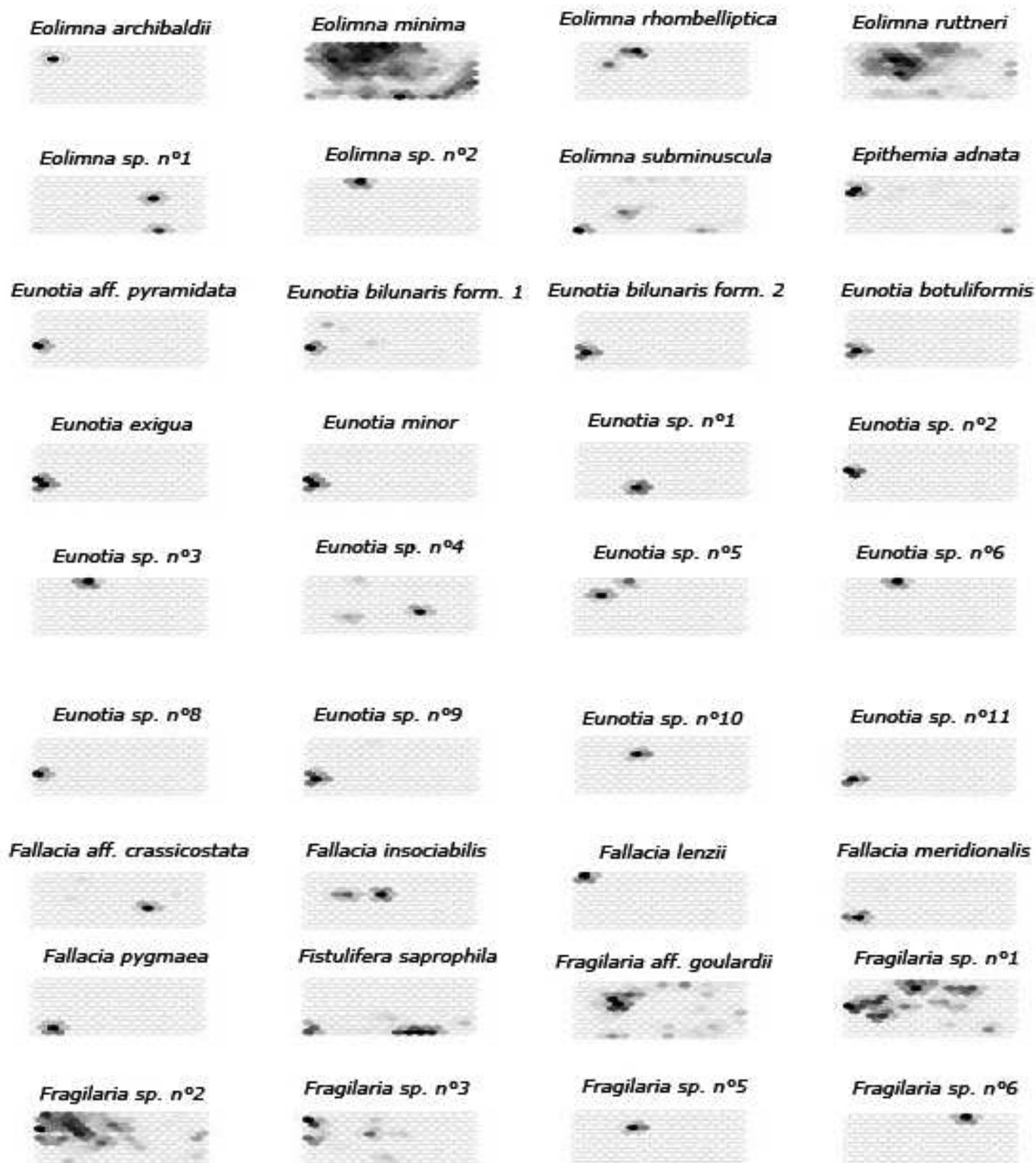
Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (1)
--



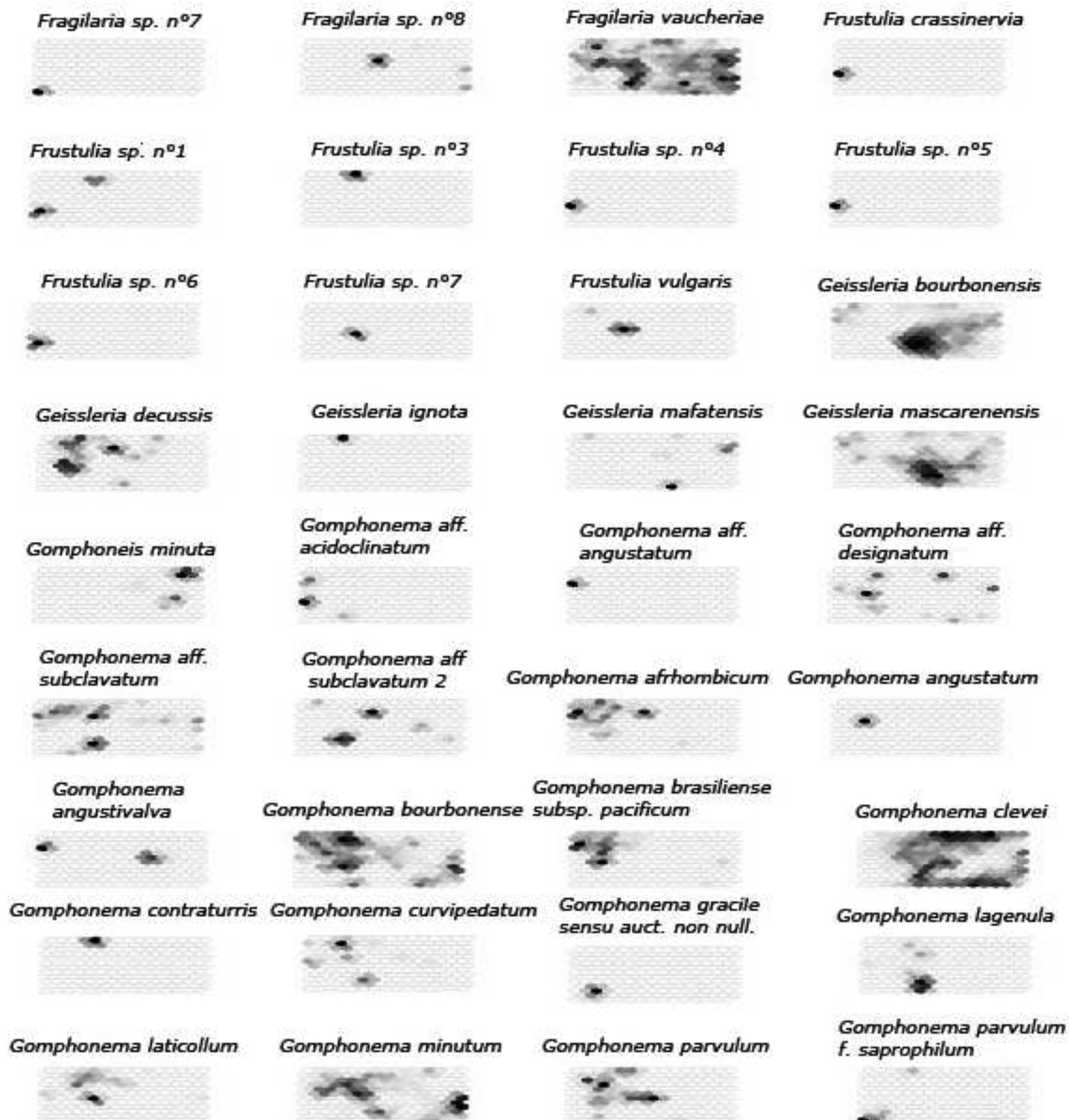
Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (2)
--

Cyclostephanos invisitatus*Cydotella atomus**Cydotella meneghiniana**Cydotella radiosa**Cymbella aff. diminuta**Cymbella bengaliformis**Cymbella excisa**Cymbella sp. n°1**Cymbella sp. n°2**Cymbella sp. n°3**Cymbella sp. n°4**Cymbella sp. n°5**Cymbella tropica**Denticula sundayensis**Diadasmus aff. discordabilis**Diadasmus aff. subtropica**Diadasmus confervacea**Diadasmus contenta**Diadasmus corrugata**Diadasmus langebertalotii**Diadasmus sp. n°1**Diadasmus sp. n°2**Diatoma vulgare**Diploneis puella**Diploneis sp. n°2**Discostella pseudostelligera**Encyonema aff. lacustre**Encyonema silesiacum**Encyonema sp. n°1**Encyonema sp. n°2**Encyonema sp. n°3**Encyonema sp. n°4**Encyonema stigmaideum**Encyonopsis aff. rumrichae**Encyonopsis cilaosensis sp. nov.**Encyonopsis sp. n°1 sp. nov.*

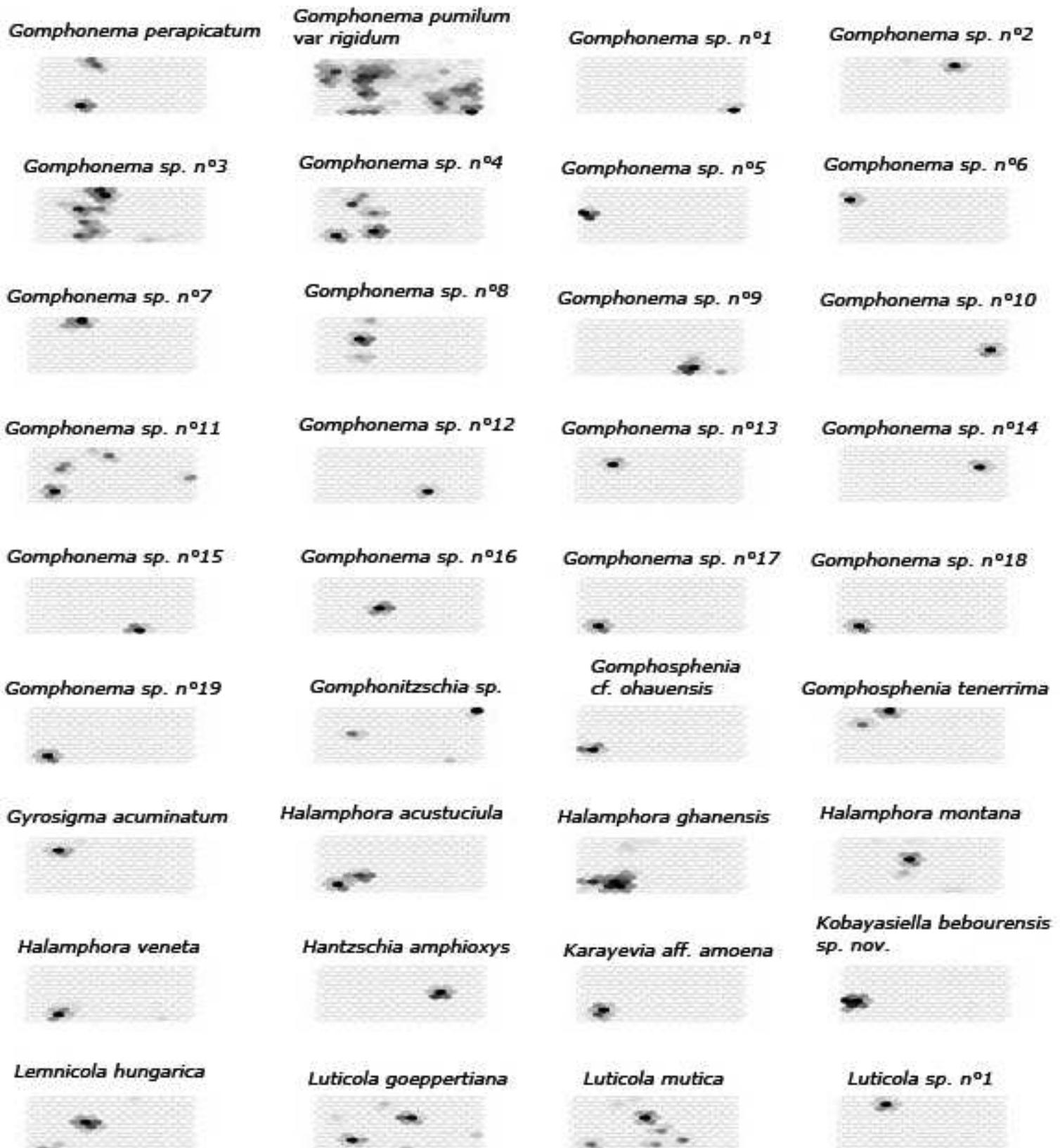
Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (3)
--



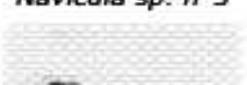
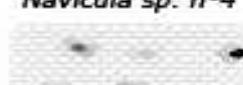
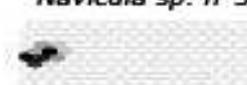
Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (4)
--



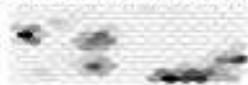
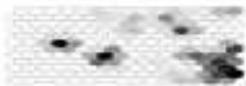
Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (5)



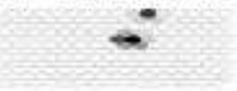
Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (6)
--

Mayamaea agrestis*Mayamaea permitis**Melosira varians**Navicula aff. brasiliana**Navicula aff. crassulexigua**Navicula aff. cryptocephala**Navicula aff. juanitalinda**Navicula aff. subrhynchocephala**Navicula capitatoradiata**Navicula cruxmeridionalis**Navicula cryptotenella**Navicula erifuga**Navicula escambia**Navicula gregaria**Navicula lanceolata**Navicula notha**Navicula podzorskii**Navicula quasidisjuncta**Navicula ranomafanensis**Navicula riediana**Navicula rostellata**Navicula salinicola**Navicula simulata**Navicula sp. n°1**Navicula sp. n°2**Navicula sp. n°3**Navicula sp. n°4**Navicula sp. n°5**Navicula sp. n°6**Navicula sp. n°7**Navicula sp. n°8**Navicula sp. n°9**Navicula sp. n°10**Navicula sp. n°11**Navicula sp. n°12**Navicula sp. n°13*

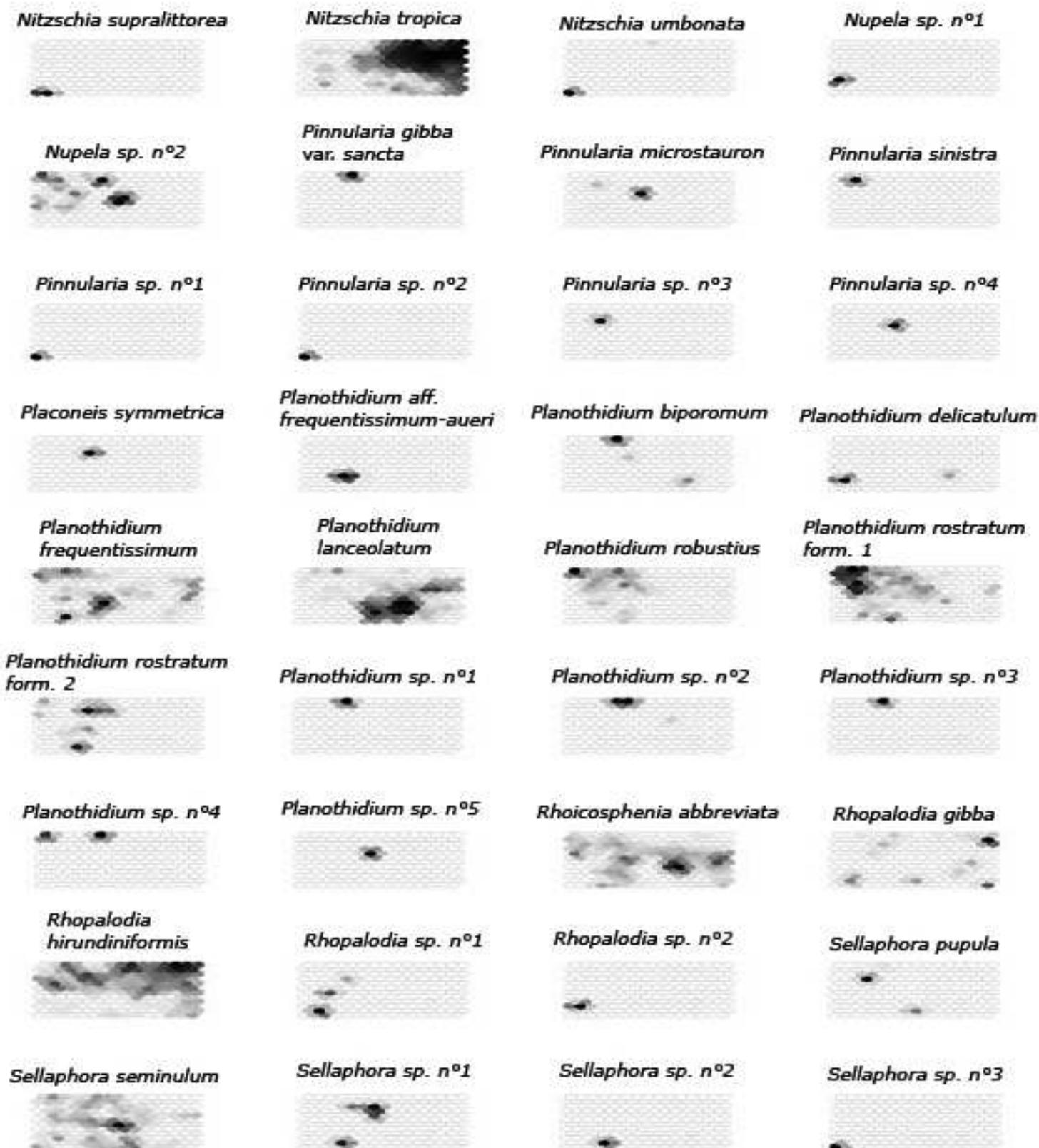
Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (7)
--

Navicula sp. n°14*Navicula sp. n°15**Navicula sp. n°16**Navicula sp. n°17**Navicula sp. n°18**Navicula sp. n°19**Navicula tripunctata**Navicula vandamii**Navicula veneta**Neidium sp. n°1**Neidium sp. n°2**Nitzschia abbreviata**Nitzschia aff. pusilla**Nitzschia agnita**Nitzschia amphibia**Nitzschia amphibia
f. frauenfeldii**Nitzschia biacrula**Nitzschia bourbonensis
sp. nov.**Nitzschia brevissima**Nitzschia clausii**Nitzschia conferta**Nitzschia dissipata**Nitzschia epiphyticoides**Nitzschia filiformis**Nitzschia fonticola**Nitzschia granulata**Nitzschia inconspicua**Nitzschia labella**Nitzschia linearis**Nitzschia microcephala**Nitzschia nyassensis**Nitzschia obtusa**Nitzschia palea**Nitzschia paleaeformis**Nitzschia solgensis**Nitzschia sp. n°1*

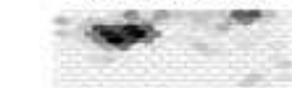
Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (8)
--

Nitzschia sp. n°2*Nitzschia sp. n°3**Nitzschia sp. n°4**Nitzschia sp. n°5**Nitzschia sp. n°6**Nitzschia sp. n°7**Nitzschia sp. n°8**Nitzschia sp. n°9**Nitzschia sp. n°10**Nitzschia sp. n°11**Nitzschia sp. n°12**Nitzschia sp. n°13**Nitzschia sp. n°14**Nitzschia sp. n°15**Nitzschia sp. n°16**Nitzschia sp. n°17**Nitzschia sp. n°18**Nitzschia sp. n°19**Nitzschia sp. n°20**Nitzschia sp. n°21**Nitzschia sp. n°22**Nitzschia sp. n°23**Nitzschia sp. n°24**Nitzschia sp. n°25**Nitzschia sp. n°26**Nitzschia sp. n°27**Nitzschia sp. n°28**Nitzschia sp. n°29**Nitzschia sp. n°30**Nitzschia sp. n°31**Nitzschia sp. n°32**Nitzschia sp. n°33**Nitzschia sp. n°34**Nitzschia sp. n°35**Nitzschia sp. nov. n°1**Nitzschia sp. nov. n°2*

Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (9)
--



Profils de répartition dans la SOM des 343 espèces diatomiques de la Réunion (10)

Seminavis sp. n°1*Simonsenia delognei**Stauroneis aff. thermicola**Stauroneis resoluta**Staurosira mutabilis**Staurosirella aff. pinnata**Stenopterobia sp. n°1**Surirella angusta**Surirella sp. n°1**Terpsinoe musica**Tryblionella apiculata**Tryblionella debilis**Ulnaria acus**Ulnaria biceps**Ulnaria lanceolata**Ulnaria ulna*