



**HAL**  
open science

**Production d'une version améliorée de l'Indice  
Diatomique Antilles (IDA-2), utilisation pour  
l'évaluation de l'Etat Ecologique des cours d'eau des  
Antilles : Rapport Final (Version Finale du 12/03/2015)**

A. Eulin, E. Lefrançois, Sébastien Boutry, Juliette Tison-Rosebery, Michel  
Coste, François Delmas

► **To cite this version:**

A. Eulin, E. Lefrançois, Sébastien Boutry, Juliette Tison-Rosebery, Michel Coste, et al.. Production d'une version améliorée de l'Indice Diatomique Antilles (IDA-2), utilisation pour l'évaluation de l'Etat Ecologique des cours d'eau des Antilles : Rapport Final (Version Finale du 12/03/2015). [Rapport de recherche] irstea. 2015, pp.185. hal-02601237

**HAL Id: hal-02601237**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02601237v1>**

Submitted on 16 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Office de l'eau  
Martinique  
7, avenue Condorcet  
97200 Fort de France



Direction  
de l'Environnement,  
de l'Aménagement  
et du Logement  
MARTINIQUE

DEAL Martinique  
Pointe de Jaham  
BP 7212  
97274 SCHOELCHER  
CEDEX



Direction  
de l'Environnement,  
de l'Aménagement  
et du Logement  
GUADELOUPE

DEAL Guadeloupe  
Cité Gaillard  
Chemin Bougainvillier  
97100 Basse Terre



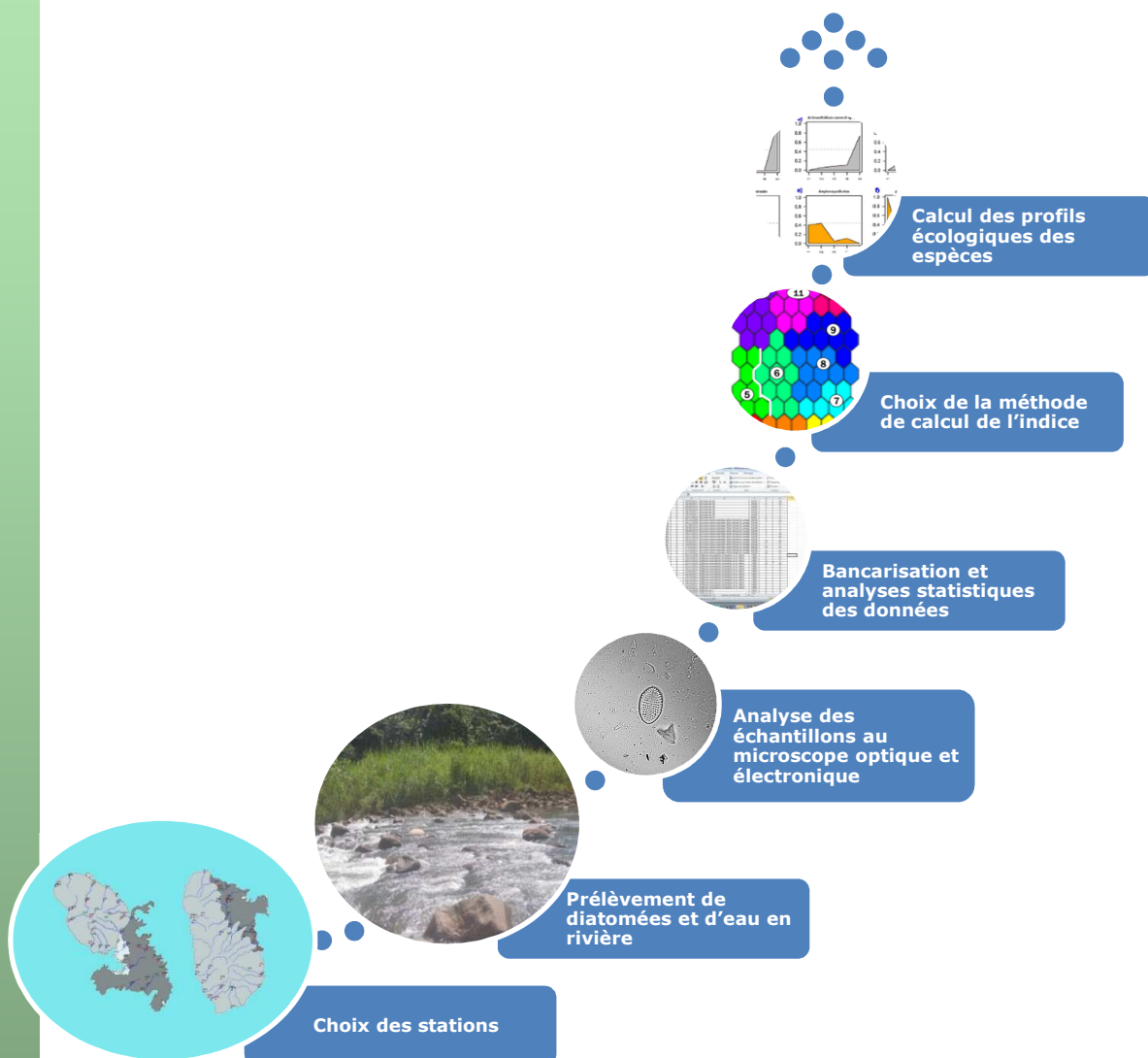
Immeuble Valkabois  
Z.A. Valkanaërs  
Route de Grande Savane  
97113 GOURBEYRE



## Programme d'Etude et de Recherche 2009-2014

# Production d'une version améliorée de l'Indice Diatomique Antilles (IDA-2), utilisation pour l'évaluation de l'Etat Ecologique des cours d'eau des Antilles

Rapport Final ( $V_F$  du 12/03/2015)





---

## Principaux contacts :

<b>Office de l'eau de la Guadeloupe</b>	Bernard Lubeth	05 90 80 99 78
	Sophie Kanor	05 90 80 95 19 / 05 90 80 99 78
<b>DEAL de la Guadeloupe</b>	Pascale Faucher	05 90 99 35 78
	Sophie Glépin	(*) 05 90 99 35 63
<b>Office de l'eau de la Martinique</b>	Loic Mangeot	05 96 48 47 20
	Julie Gresser	05 96 48 40 45
<b>DEAL de la Martinique</b>	Bruno Capdeville	(*) 05 96 71 25 06
	Corinne Figueras	(*) 05 96 71 63 54
	Denis Etienne	05 96 71 63 54
<b>ASCONIT Consultants</b>	Anne Eulin-Garrigue	<a href="mailto:anne.eulin@asconit.com">anne.eulin@asconit.com</a>
	Estelle Lefrançois	<a href="mailto:estelle.lefrancois@asconit.com">estelle.lefrancois@asconit.com</a>
	Charlotte Verges	(*) <a href="mailto:charlotte.verges@asconit.com">charlotte.verges@asconit.com</a>
<b>Irstea</b>	François Delmas	<a href="mailto:francois.delmas@irstea.fr">francois.delmas@irstea.fr</a>
	Michel Coste	<a href="mailto:michel.coste@irstea.fr">michel.coste@irstea.fr</a>
	Julie Guéguen	<a href="mailto:julie.gueguen@irstea.fr">julie.gueguen@irstea.fr</a>
	Sébastien Boutry	<a href="mailto:sebastien.boutry@irstea.fr">sebastien.boutry@irstea.fr</a>
	Juliette Rosebery	<a href="mailto:juliette.rosebery@irstea.fr">juliette.rosebery@irstea.fr</a>

(\*) : *Personne-contact pendant l'exécution du programme (changement de fonctions et / ou d'affectation depuis).*



# SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>I. Contexte et acquis</b> .....	<b>3</b>
I.1.    Eléments de contexte : .....	3
I.2.    Objectifs des programmes diatomiques, acquis.....	5
I.3.    Contenu du rapport, éléments complémentaires consultables.....	7
<b>II. Présentation générale de la démarche IDA-2</b> .....	<b>8</b>
<b>III. Aspects préalables à la mise en place de l'IDA-2</b> .....	<b>9</b>
III.1.    Adaptation du réseau de stations : .....	9
III.2.    Données abiotiques et biologiques et post-traitement .....	11
III.2-1 Les données abiotiques chimiques : .....	11
III.2-2 Les données biotiques : .....	15
III.3.    Réalisation d'une analyse exploratoire (ACP complète).....	15
III.3-1 Objectifs, aspects méthodologiques : .....	15
III.3-2 Résultats : .....	16
III.4.    Réalisation d'une ACC restreinte «Variables d'anthropisation».....	22
III.4-1 Objectifs, aspects méthodologiques : .....	22
III.4-2 Données abiotiques : .....	23
III.4-3 Données biologiques (assemblages diatomiques) : .....	24
III.4-4 Examen de l'autocorrélation des variables : .....	32
III.4-5 Résultats de l'ACC restreinte : .....	34
<b>IV. Démarche de construction de l'IDA-2</b> .....	<b>45</b>
IV.1.    Mise en place du gradient d'anthropisation.....	45
IV.1.1. Objectifs, analyse de contexte .....	45
IV.1.2. Construction du gradient (GCMA) : .....	47
IV.1.3. Création des classes de qualité : .....	53

IV.1.4.	Validation des classes de qualité : .....	58
<b>IV.2.</b>	<b>Profils de qualité des espèces dans l'IDA-2 .....</b>	<b>60</b>
IV.2.1.	Principes généraux de sélection et de seuillage : .....	60
IV.2.2.	Calcul des profils de qualité des espèces : .....	61
IV.2.3.	Interprétation des profils.....	62
<b>IV.3.</b>	<b>Formulation de l'IDA-2.....</b>	<b>74</b>
<b>IV.4.</b>	<b>Résultats de l'IDA-2, performance de l'Indice .....</b>	<b>76</b>
<b>V.</b>	<b>Stratégie d'évaluation de l'Etat Ecologique aux Antilles .....</b>	<b>85</b>
V.1.	Eléments de contexte .....	85
V.2.	Régionalisation de l'évaluation et EQRs.....	86
V.2.1.	Principe de mise en place d'EQRs.....	86
V.2.2.	Zonage naturel proposé :.....	88
V.2.3.	Principe d'élaboration des grilles d'EQRs au relevé :.....	89
V.2.4.	Travail sur l'élaboration des grilles d'EQRs au relevé (Zone Plaine) :.....	91
V.2.5.	Travail sur l'élaboration des grilles d'EQRs au relevé (Zone Volcan) :.....	96
V.2.6.	Cartes des résultats de classement d'état au relevé :.....	104
<b>VI.</b>	<b>Travail méthodologique sur l'évaluation intégrée d'Etat au site.....</b>	<b>110</b>
VI.1.	Problématique, principe de la démarche .....	110
VI.2.	Présentation synthétique des résultats agrégés au site.....	112
VI.2.1.	Zone « Plaine » .....	112
VI.2.2.	Zone « Volcan » :.....	114
VI.2.3.	Eléments généraux de diagnostic communs aux 2 regroupements d'HERS .	116
VI.3.	Présentation cartographique des résultats agrégés au site selon différents scénarios d'agrégation .....	117
VI.3.1.	Martinique : .....	117
VI.3.2.	Guadeloupe :.....	119
VI.3.3.	Conclusions d'étape « Evaluation intégrée au site » :.....	120
<b>VII.</b>	<b>Conclusions, perspectives.....</b>	<b>123</b>

-----

## Table des Figures

Figure 1 : Démarche biomathématique déroulée pour la mise au point de l'IDA-2 .....	8
Figure 2 : Carte complète des sites de Martinique étudiés pendant le programme 2009-2013.....	12
Figure 3 : Carte complète des sites de Guadeloupe étudiés pendant le programme 2009-2013.....	13
Figure 4 : 3 exemples de distribution des données brutes et transformées Y-J.....	14
Figure 5 : Physionomie des vecteurs de variables abiotiques dans l'ACP complète.....	16
Figure 6 : Localisation des relevés (site X date) dans l'espace des variables de l'ACP complète (croisement Axe 1 X Axe 2) .....	18
Figure 7 : Structuration résumée des principaux gradients abiotiques dans l'ACP complète.....	20
Figure 8 : Caractéristiques de distribution des taxons diatomiques des Antilles .....	25
Figure 9 : Etude des seuillages de sélection des taxons contributifs à l'IDA-2.....	27
Figure 10 : Physionomie des vecteurs de variables abiotiques dans l'ACC restreinte ...	35
Figure 11 : Projection des relevés dans la CCA restreinte (croisement Axe1 x Axe 2) selon le type de réseau .....	37
Figure 12 : Interprétation schématique des gradients contenus dans le premier plan factoriel de l'ACC restreinte (basée sur les 10 variables d'anthropisation)...	39
Figure 13 : Projection des relevés (site x date) dans le 1er plan factoriel de l'ACC restreinte .....	40
Figure 14 : Projection des espèces dans le 1er plan factoriel de l'ACC restreinte .....	41
Figure 15 : Premier plan factoriel des Analyses multivariées mobilisées pour la création du Gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation (ou CGMA) .....	50
Figure 16 : Représentation schématique de la construction du GCMA à partir des 2 gradients composites d'anthropisation calculés .....	51
Figure 17 : Boxplots des gradients : a) ACP (gauche), b) gradient ACC (centre) et c) gradient GCMA (droite). .....	52
Figure 18 : Création des classes de qualité : a) segmentation des classes b) Box-Plot de projection des relevés dans les classes.....	54
Figure 19 : Distribution des effectifs de relevés : a) par classe de qualité ; b) en fonction de la valeur de leur score de qualité dans le référentiel GCMA .....	56



Figure 20 : Distribution des effectifs de relevés par classe de qualité pour chacune des 2 Antilles .....	57
Figure 21 : Boxplot du paramètre PO4 (mg/L) selon les classes de qualités. ....	58
Figure 22 : Boxplot du paramètre NO3 (mg/L) selon les classes de qualités.....	58
Figure 23 : Principes d'établissement des profils de qualité des taxons de l'IDA-2.....	62
Figure 24 : Poids de NINC dans le jeu de données, profils de qualité envisagés .....	69
Figure 25 : Comparaison des taxons ADEG et NINC sur le plan écologique .....	71
Figure 26 : Relation pression-impact entre score de GCMA et notes brutes d'IDA-2.....	78
Figure 27 : Relations pression-impact sur jeux de données séparés « Plaine » (en vert) et Volcan (en rouge) .....	79
Figure 28 : Cartes d'état diatomique des sites de Martinique pour les quatre premières campagnes de terrain.....	81
Figure 29 : Cartes d'état diatomique des sites de Martinique pour les autres campagnes de terrain .....	82
Figure 30 : Cartes d'état diatomique des sites de Guadeloupe pour les quatre premières campagnes de terrain.....	83
Figure 31 : Cartes d'état diatomique des sites de Guadeloupe pour les autres campagnes de terrain.....	84
Figure 32 : Trame hydroécocorégionale (HER) proposée par Wasson et al pour les Antilles .....	87
Figure 33 : Zonage naturel retenu pour l'élaboration et l'application de grilles de qualité diatomique basées sur les notes d'IDA-2 en Guadeloupe et Martinique .....	89
Figure 34 : Cadre conceptuel de référence pour l'établissement de grilles d'interprétation de l'Etat Ecologique à partir de notes de méthodes indicielles.....	90
Figure 35 : Etude des différents descripteurs utilisables pour l'élaboration d'une grille d'évaluation basée sur des EQRs (Zone « Plaine »).....	92
Figure 36 : Scénarios optimisés d'évaluation au relevé testés sur la Zone « Plaine » et résultats de classement d'Etat (en effectifs, en pourcentage) .....	96
Figure 37 : Etude des différents descripteurs utilisables pour l'élaboration d'une grille d'évaluation basée sur des EQRs (Zone « Volcan »).....	97
Figure 38 : Scénarios optimisés d'évaluation au relevé testés sur la Zone « Volcan » et résultats de classement d'Etat (en effectifs, en pourcentage) .....	102

Figure 39 : Cartes d'Etat diatomique des sites de Martinique au relevé selon les 2 nouvelles grilles d'EQR-IDA2 (4 premières campagnes) .....	105
Figure 40 : Cartes d'Etat diatomique des sites de Martinique au relevé selon les 2 nouvelles grilles d'EQR-IDA2 (campagnes suivantes d'échantillonnage) .	106
Figure 41 : Cartes d'Etat diatomique des sites de Guadeloupe au relevé selon la nouvelle grille d'EQR-IDA2 / Zone Volcan (4 premières campagnes).....	108
Figure 42 : Cartes d'Etat diatomique des sites de Guadeloupe au relevé selon les 2 nouvelles grilles d'EQR-IDA2 (campagnes suivantes) .....	109
Figure 43 : Présentation synthétique des résultats, au relevé et agrégés au site, du Scénario Plaine (20)-3-1 Optimisé. ....	113
Figure 44 : Présentation synthétique des résultats, au relevé et agrégés au site, du Scénario Volcan (15)-3-1 Optimisé. ....	115
Figure 45 : Résultats cartographiques des scénarios d'Evaluation agrégés au site sur la Martinique. ....	118
Figure 46 : résultats cartographiques des scénarios d'Evaluation agrégés au site sur la Guadeloupe.....	119

-----

## Tableaux

Tableau 1 : Liste du réseau de stations supplémentaires 2013 en Martinique.....	10
Tableau 2 : Liste du réseau de stations supplémentaires 2013 en Guadeloupe.....	11
Tableau 3 : Matrice d'autocorrélation de Spearman pour les 10 variables sélectionnées pour représenter les gradients d'anthropisation .....	32
Tableau 4 : Caractéristiques des classes de qualité obtenues par segmentation (méthode HCPC).....	54
Tableau 5 : Limites de classes d'Etat sur notes brutes d'IDA-2, toutes régions naturelles confondues .....	77

-----

## Equations

Équation 1 : Formule du Gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation .....	51
Équation 2 : Formule de calcul de la probabilité d'abondance relative pondérée d'un taxon <i>sp</i> pour une classe de qualité donnée. ....	61
Équation 3 : formule de calcul de l'IDA-2 .....	74
Équation 4 : Formule de re-normalisation de l'IDA-2 en note sur 20.....	76



## Annexes

Annexe 1 : Références bibliographiques et valorisations du programme.....	139
Annexe 2 : Rappel de la liste des stations échantillonnées aux Antilles lors du programme initial de recherche-dévt. (2009-2012).....	145
Annexe 3 : Liste des 517 taxons inventoriés et de leur occurrence globale .....	151
Annexe 4 : Informations « Taxons de l'IDA-2 » .....	159
Annexe 5 : Profils des taxons de l'IDA-2 .....	163
Annexe 6 : Etat Ecologique au relevé .....	171

## Rapport final

## Rapport final

## Introduction

La Directive-Cadre sur l'Eau 2000/60/CE (DCE) du Parlement Européen et du Conseil (J.O.C.E. 09/2000, L 327, 1-73), adoptée le 23 octobre 2000 et transcrite en droit français par la Loi n° 2004-338 du 21 avril 2004, établit le cadre de la politique communautaire dans le domaine de l'eau et définit les objectifs environnementaux à atteindre pour l'ensemble des eaux, avec obligation de résultats. Une première échéance importante pour évaluer les progrès enregistrés sur l'Etat Ecologique des masses d'Eaux et les confronter aux objectifs qui avaient été définis au début du Plan de Gestion actuel est fixée à 2015.

Par cette Directive, la biologie est devenue un volet essentiel pour le suivi et l'évaluation de l'état des hydrosystèmes (notion d'Etat Ecologique). En effet, l'U.E. a prescrit l'utilisation de compartiments biologiques-clés pertinents, prédéfinis par grand type de masse d'eau (ex : cours d'eau, plans d'eau, eaux de transition, eaux littorales...). Ceux-ci contribuent désormais, au même titre que l'Etat Physico-Chimique (descripteurs "classiques" de physico-chimie et de chimie) et que l'Etat Chimique (liste européenne de substances toxiques), au diagnostic de l'Etat Ecologique et au rapportage européen de son évolution au niveau national.

L'application de la DCE dans les DOM nécessite, comme en métropole, la réalisation régulière d'opérations de surveillance de la qualité des eaux, ainsi que la mise en application d'indices biologiques permettant d'évaluer l'état écologique intégré de leurs milieux aquatiques. Ces opérations soumises à rapportage vers l'U.E. sont réalisées dans le cadre des réseaux institutionnels de surveillance, et notamment du RCS.

Cependant, jusqu'à un passé récent, il ne pré-existait pas d'outils biologiques adaptés pour le contexte des DOM. En effet, les indices biologiques mis en place pour diagnostiquer l'état des hydrosystèmes de l'espace européen continental, dont la France métropolitaine, étant entachés d'un décalage biogéographique beaucoup trop important pour pouvoir s'y appliquer et donner des résultats corrects.

Dans ce contexte, une série de programmes spécifiques a été initiée depuis quelques années sur différents maillons-clés des hydrosystèmes des DOMs, afin de développer de nouveaux indices biologiques adaptés aux conditions biogéographiques et aux cortèges biologiques spécifiques qu'on y trouve.

Concernant plus particulièrement le compartiment des diatomées benthiques des cours d'eau, le premier programme de ce type a démarré à la Réunion à partir de 2008. Il a été suivi en 2009 par la mise en place de deux programmes Martinique et Guadeloupe initiés séparément à quelques mois d'intervalle, mais qui ont ensuite convergé vers une réalisation conjointe. En effet, les flores locales, sélectionnées dans un environnement biogéographique proche, présentaient une proportion importante d'espèces structurantes en commun. Aussi ce programme, mis en œuvre par le consortium ASCONIT Consultants - IRSTEА, sous un montage financier composite associant des participations des Offices de l'Eau et les DEALs des 2 Antilles, de l'ONEMA, ainsi qu'un autofinancement partiel d'ASCONIT et d'IRSTEА, a finalement abouti à la mise en place d'un même indice diatomique commun aux 2 Antilles, l'Indice Diatomique des Antilles.

## Rapport final

Les principaux objectifs de ce programme de Recherche-Développement, qui a été réalisé entre 2009 et 2012, visaient principalement :

- 1) à la description et à la reconnaissance taxonomique d'assemblages diatomiques spécifiques du contexte biogéographique des Antilles, encore fortement méconnus ;
- 2) au décryptage de l'auto-écologie des différentes espèces, et en particulier de celles utilisables en bio-indication ;
- 3) à la mise en place d'un nouvel indice diatomique (Indice Diatomique des Antilles ou IDA) ;
- 4) à la fourniture d'un guide iconographique résumant la connaissance acquise sur les taxons des Antilles afin de faciliter le travail des futurs opérateurs.

Le rapport final et les autres livrables de ce programme ont été rendus en Février-Mars 2013. Néanmoins, il subsistait quelques lacunes ou déficits de connaissance sur certains aspects importants, que les partenaires ont jugé utile de combler dans la foulée afin de compléter et de fiabiliser le travail effectué et les acquis de fin de programme. Il s'agissait en particulier :

- d'acquérir plus de recul sur les situations de référence dans la zone fortement minéralisée des Mornes de Martinique,
- de mieux renseigner l'écologie et l'écologie de l'altération du taxon *Nitzschia inconspicua* (NINC). En effet, cette espèce est l'une des dominantes dans le jeu de données des Antilles, donc susceptible d'influer fortement sur la notation de beaucoup de relevés. Cependant, ses préférences auto-écologiques étaient encore mal cernées au terme du programme initial du fait d'un déficit de dispositifs de stations illustratifs du gradient amont-aval de certains bassins versants hydrographiques concernés par cette espèce.

Deux campagnes supplémentaires d'étude ont donc été programmées dès 2013 en Martinique et en Guadeloupe, en renforcement de la surveillance habituelle faite dans le cadre des réseaux de surveillance, afin de collecter le complément d'information écologique nécessaire à l'optimisation de l'IDA et à la proposition de grilles d'évaluation diatomique correctement calées. L'ajout de ces nouvelles données aux référentiels du programme initial a permis de produire une nouvelle version optimisée d'indice diatomique (IDA-2), puis un dispositif d'Evaluation de l'Etat Ecologique aux Antilles basé sur 2 grilles régionalisées d'EQRs - IDA-2 (Note de travail « *Evaluation de l'Etat Ecologique aux Antilles à partir de l'IDA-2* » du 11-05-2014).

Le présent rapport s'appuie sur certaines explorations de données et certains acquis de base (ACP et ACC complètes, biotypologie des assemblages diatomiques des Antilles...) contenus dans le rapport final du programme de Recherche-Développement « **Mise au point d'un indice de bio-indication de la qualité des cours d'eau des cours d'eau Antillais à partir des diatomées : l'IDA** », *version finale du 14-10-2013*.

Il vise principalement à décrire et récapituler la démarche réalisée entre fin 2013 et Mai 2014 pour produire la **nouvelle version d'Indice Diatomique Antilles (IDA-2)**, ainsi que le **nouveau système d'Evaluation de l'Etat diatomique des cours d'eau des Antilles**, basé sur 2 grilles régionalisées d'EQRs - IDA-2.

# I. Contexte et acquis

## I.1. Éléments de contexte :

La Directive-Cadre sur l'Eau 2000/60/CE (DCE) du Parlement Européen et du Conseil (J.O.C.E. 09/2000, L 327, 1-73), adoptée le 23 octobre 2000 et transcrite en droit français par la Loi n° 2004-338 du 21 avril 2004, établit le cadre de la politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle cadre les méthodologies de suivi à mettre en place et définit les objectifs environnementaux à atteindre pour l'ensemble des eaux, avec obligation de résultats à des échéances fixées à l'avance (les dates d'échéance correspondent aux dates de fin de Plans de Gestion des Masses d'Eau, dont la durée unitaire est de 6 ans).

Une première échéance importante pour évaluer les progrès enregistrés sur l'Etat Ecologique des masses d'Eaux de l'espace européen continental et les confronter aux objectifs qui avaient été définis au début du Plan de Gestion actuel est fixée à 2015.

Par cette Directive et la notion d'Etat Ecologique qu'elle a introduit, la biologie est devenue un volet essentiel pour le suivi et l'évaluation de l'état des hydrosystèmes. En effet, l'U.E. a prescrit l'utilisation de **compartiments biologiques-clés pertinents**, prédéfinis par grand type de masse d'eau (ex : cours d'eau, plans d'eau, eaux de transition, eaux littorales...). Ceux-ci contribuent désormais, au même titre que l'Etat Physico-Chimique (descripteurs "classiques" de physico-chimie et de chimie) et que l'Etat Chimique (liste européenne de substances toxiques prioritaires), au diagnostic de l'Etat Ecologique et au rapportage européen de son évolution au niveau national.

Un avantage de ces maillons biologiques-clés est qu'ils rendent compte de caractéristiques de qualité des hydrosystèmes qui tiennent compte de leurs propres exigences *in situ* pour la **réalisation normale de leur cycle de vie**. Ainsi, la qualité des eaux et des milieux aquatiques n'est plus considérée par rapport à la satisfaction d'usages anthropiques nécessitant une qualité donnée de la ressource (exemples : qualité d'eaux brutes pour la potabilisation, qualité des eaux pour la baignade etc...), mais par la vérification qu'elles restent avant tout satisfaisantes pour permettre la vie normale des peuplements et assemblages naturels autochtones qui y vivent. Un autre avantage est que, du fait de leurs caractéristiques bio-intégratrices, ces maillons-clés 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**, qui ne représentent que le moment très court pendant lequel l'échantillon a été prélevé, ou au cours duquel la mesure physico-chimique a été faite.

Il est également important de retenir que chaque maillon biologique est doté d'un **temps d'intégration caractéristique**, dont découle la durée sur laquelle il est capable de diagnostiquer la qualité du milieu et d'en rendre compte de façon utile au gestionnaire.

Pour mémoire, les durées indicatives d'intégration temporelle de certains maillons-clés largement utilisés sont les suivants :

- diatomées benthiques des cours d'eau : 2 à 3 mois,
- macrophytes aquatiques : 6 mois avec une possibilité d'influence interannuelle d'évènements hydrologiques exceptionnels,



- invertébrés : de quelques mois à plusieurs années pour les espèces au plus long cycle de vie,
- poissons : intégration sur quelques années.

Enfin, une nouveauté conceptuelle servant de base à l'application de cette Directive est que l'évaluation de l'Etat Ecologique et du degré d'altération anthropique se fait en mesurant l'**écart par rapport à la situation de référence adéquate**, ce qui implique d'avoir pu repérer au préalable le zonage géographique recouvrant des conditions naturelles homogènes afin d'y repérer le bon niveau de référence pour la zone. Ce repérage peut passer par une typologie des conditions naturelles abiotiques (notion d'HERs), mais le repérage peut aussi s'appuyer sur une typologie des assemblages naturels caractéristiques (on parle dans ce cas de biotypologie), sur une amplitude de variation naturelle d'un outil indiciel utilisé sur la zone d'application etc... Un aspect important de l'application de ce concept est que le zonage retenu permette d'une part d'appliquer le « bon » niveau de référence pour la zone, mais aussi d'intercepter, de façon conforme à la trame naturelle et aux forçages abiotiques qui s'y exercent, le reliquat de variation de note uniquement ou très majoritairement dû à des influences naturelles. L'identification et la mesure d'effets réels de l'altération anthropique sur la zone en seront ainsi facilitées. L'Etat Ecologique sera considéré d'autant plus mauvais que les valeurs des paramètres biologiques vont s'éloigner des conditions de référence, qui correspondent à des milieux non ou très peu perturbés.

L'application de la DCE dans les DOM nécessite, comme en métropole, la réalisation régulière d'opérations de surveillance de la qualité des eaux, ainsi que la mise en application d'indices biologiques permettant d'évaluer l'état écologique intégré de leurs milieux aquatiques. Ces opérations soumises à rapportage vers l'U.E. sont réalisées dans le cadre des réseaux institutionnels de surveillance, et notamment du RCS.

Cependant, jusqu'à un passé récent, il n'existait pas d'outils biologiques adaptés pour le contexte des DOM. En effet, les indices biologiques mis en place pour diagnostiquer l'état des hydrosystèmes de l'espace européen continental, dont la France métropolitaine, étant entachés d'un décalage biogéographique beaucoup trop important pour pouvoir s'y appliquer et donner des résultats corrects. D'autre part, même si des articles ponctuels ont pu être publiés sur l'identification de quelques espèces nouvelles à partir d'échantillons biologiques ramenés de missions de terrain, les flores locales des DOM étaient encore grandement méconnues sur le plan taxonomique et encore plus sur le plan de leur écologie, du fait que les prélèvements biologiques n'étaient pas assortis de prélèvements d'eau permettant de cerner l'auto-écologie des espèces.

Dans ce contexte, une série de programmes spécifiques a été initiée à partir de 1988 sur différents maillons-clés des hydrosystèmes des DOMs, afin de développer de nouveaux indices biologiques adaptés aux conditions biogéographiques et aux cortèges biologiques spécifiques qu'on y trouve.

Concernant le compartiment des diatomées benthiques des cours d'eau, le premier programme de ce type a démarré à la Réunion en 2008, suivi assez rapidement par la mise en place de deux programmes Martinique et Guadeloupe initiés séparément et successivement en 2009, mais réalisés ensuite de façon synergique et conjointe sous le contrôle d'un Comité de Pilotage commun aux 2 Îles et sous la maîtrise d'œuvre du consortium ASCONIT Consultants – IRSTEA.

Ces 2 programmes Antilles ont bénéficié d'un montage financier composite associant des participations des 2 Offices de l'Eau et des 2 DEALs (Guadeloupe et Martinique) et de l'ONEMA, avec un auto-financement partiel d'environ 30 % apporté par les 2 partenaires scientifiques impliqués dans leur réalisation (ASCONIT et d'IRSTEA).

Aux Antilles, au titre de la connaissance préalable, le seul début de travail significatif d'inventaire portant sur la reconnaissance des flores diatomiques de cours d'eau de la zone Antillaise a été réalisé par Tudesque & Ector en 2002 (*Référence 24* citée dans le rapport final IDA-1), débouchant sur la publication d'un pré-atlas iconographique des diatomées des rivières de Guadeloupe. Outre le nombre d'espèces encore limité qui y était décrit, l'auto-écologie et l'écologie de l'altération des espèces présentées n'y était pas documentée, ce qui rendait impossible l'utilisation directe de ce travail pour la mise au point d'une méthode de bio-indication. Malgré tout, ce travail d'étape a constitué une base utile pour la reconnaissance taxonomique plus rapide des espèces déjà décrites, il a donc été utilisé et capitalisé rapidement dans l'optique de sa réalisation.

## 1.2. Objectifs des programmes diatomiques, acquis

Les **principaux objectifs du programme de recherche-développement initial**, conduit entre 2009 et 2012, étaient :

- 1) la détermination taxonomique d'assemblages encore fortement méconnus caractéristiques du contexte biogéographique des Antilles ;
- 2) la formalisation de connaissance auto-écologique de ces taxons et des principaux biotypes (assemblages typiques d'espèces) caractéristiques des différents types de cours d'eau naturels et altérés des Antilles,
- 3) la production d'un guide iconographique résumant la connaissance acquise sur les taxons, notamment ceux utilisables en bio-indication, ce recueil constituant une pierre angulaire essentielle aux opérateurs futurs dans le cadre des marchés de bio-indication diatomique ;
- 4) la création d'un indice diatomique adapté au contexte spécifique des Antilles et la genèse d'un dispositif permettant l'évaluation judicieuse de la qualité écologique de leurs cours d'eau.

A l'issue de ce programme, qui s'est achevé en mai 2013, les principaux livrables correspondant aux objectifs prévus ont été rendus dans leur Version 1 encore évolutive, dont l'IDA-V1 (Indice Diatomique des Antilles). La genèse et la conception de cet indice ont été décrites dans le rapport final « Mise au point d'un indice de bio-indication de la qualité de l'eau des cours d'eau antillais à partir des diatomées : l'IDA » du 12-03-2013 (dernière version corrigée : 14-10-2013).

Il est ressorti assez nettement des résultats de ce rapport et du contenu des discussions du Comité de Pilotage final que, si des acquis très conséquents étaient à mettre à l'actif de ce programme dans une durée d'exécution maîtrisée et relativement courte (3,5 ans), les référentiels disponibles à la fin du programme de recherche-développement précité n'étaient pas encore suffisants pour résoudre de façon complètement satisfaisante certains verrous de connaissance identifiés.

Suite à ce constat, deux campagnes complémentaires d'acquisition de données ont été organisées en 2013 sur la Guadeloupe et la Martinique, afin :

- 1) d'améliorer la description de l'Etat de référence sur la zone fortement minéralisée « Plaine » de la Martinique,
- 2) de préciser l'auto-écologie de l'espèce *Nitzschia inconspicua* (NINC). En effet, l'interprétation de la signification de sa présence dans de nombreux relevés restait ambiguë et le lien direct avec l'anthropisation restait à établir.

Par ailleurs, en 2012 et 2013, des données abiotiques et des relevés diatomiques ont continué d'être acquis dans les réseaux de routine de Martinique et de Guadeloupe, contribuant également à augmenter le recul-données disponible.

Les jeux de données significativement confortés étant devenus effectivement disponibles à l'approche de la jonction 2013-2014 (**607 relevés complets**, au lieu de **484 antérieurement disponibles** pour la première version d'IDA), il a été pris le parti d'actualiser et d'améliorer l'indice Diatomique des Antilles sur la base de toutes les données disponibles à cette époque, dans le but de pouvoir résoudre les quelques problèmes de jeunesse identifiés sur l'IDA-1 et de livrer un outil indiciel le plus optimisé possible pour aborder le 2<sup>ème</sup> Plan de Gestion des Masses d'Eau.

Une fois les données abiotiques et les résultats des relevés biologiques 2013 devenus réellement disponibles, quelques semaines supplémentaires ont encore été nécessaires pour adapter et faire tourner à nouveau les analyses de données. Un nouvel Indice diatomique plus élaboré que le précédent, l'**IDA-2**, a pu être finalisé à l'approche de la mi-Mars 2014 et a notamment fait l'objet de 2 présentations orales, l'une méthodologique, l'autre plus orientée taxonomie et hydrobiologie des taxons, au séminaire ONEMA-DOM de Paris les 20 et 21/03/2014.

Dans l'attente de la finalisation du présent rapport final IDA-2, compte-tenu d'un échéancier opérationnel contraint par la perspective d'un Arrêté National d'Evaluation à paraître prochainement (janvier 2015), qui devrait aussi intégrer les informations opérationnelles nécessaires pour l'évaluation écologique des masses d'eau dans les DOM, il a été nécessaire de prioriser la diffusion de 2 versions successives d'une note de travail « Evaluation de l'Etat Ecologique aux Antilles à partir de l'IDA-2 (Indice Diatomique Antilles) » : une version 2-1 datée du 28-04-2013 permettant de soutenir une visioconférence du comité de Pilotage, suivie d'une version 2-2 plus aboutie datée du 11-05-2014.

Le but opérationnel principal de cette note était de proposer une **stratégie d'évaluation de l'Etat Ecologique des cours d'eau des Antilles à partir du compartiment diatomique** qui, à partir des notes d'IDA-2 obtenues dans le cadre des réseaux de surveillance, permette de soutenir le rapportage périodique d'Etat Ecologique à faire par les Bassins auprès de l'Union Européenne dans le cadre des Plans de Gestion des Masses d'Eau.

Comme préconisé par la DCE, qui se réfère à la notion de référence adéquate, cette stratégie d'évaluation doit se caler sur une trame prenant en compte les zones naturelles homogènes des Antilles et leur niveau de référence interne (calculé dans ce cas sur la base des notes de référence du nouvel indice IDA-2). Elle prend la forme de grilles d'évaluation calées sur des valeurs d'Equivalents de Qualité Biologique internes à la zone (ou EQRs).

Dans le contexte d'urgence opérationnelle pré-indiqué, cette note a tout d'abord permis de présenter sommairement les caractéristiques et les résultats de la nouvelle version d'indice IDA-2 et surtout, de diffuser rapidement des grilles d'évaluation d'Etat Ecologique par grande région naturelle des Antilles (une pour la Zone Volcans, une pour la zone Plaine), afin qu'elles puissent être validées par les décideurs et gestionnaires locaux avant leur introduction dans l'Arrêté d'Evaluation précité.

### I.3. Contenu du rapport, éléments complémentaires consultables

**Le présent rapport ne reprend pas la description détaillée de toutes les composantes de la démarche déroulée dans le rapport final du programme de Recherche-Développement 2009-2012 « Mise au point d'un indice de bio-indication de la qualité de l'eau des cours d'eau antillais à partir des diatomées : l'IDA » (Rapport Final, Version du 14/10/2013).**

Il se concentre strictement sur la **description des étapes successives et des analyses de données étant directement intervenues dans la genèse du nouvel indice IDA-2**. A noter que la plupart d'entre elles ont dû être refaites et modifiées pour cause d'augmentation de l'assise de données (inclusion des données 2013) et parfois pour cause de changement méthodologique dans la façon de réaliser certaines étapes. La genèse de grilles d'évaluation diatomique des sites construites à partir d'EQRs IDA-2 sur 2 grands ensembles naturels regroupés des Antilles y est aussi récapitulée.

Pour retrouver d'autres aspects plus généraux ou plus pratiques de la démarche globale réalisée dans le cadre du programme de Recherche-Développement 2009-2012, il est possible de se reporter au **contenu du rapport final IDA-1 cité dans l'encart ci-dessus**, en particulier :

- pour la description du contexte, de l'état de l'art et des objectifs de l'étude (pages 3 à 6) et pour les citations bibliographiques correspondantes. La liste bibliographique récapitulative figurant en pages 188 et 189 du rapport IDA-1, qui est venue en appui de l'état de l'art et de la justification de certains choix méthodologiques, a cependant été incluse en **Annexe 1** du présent rapport à titre de rappel de cette information utile. Elle a été complétée par un addendum mentionnant les références des documents scientifiques et techniques spécifiquement produits au cours du présent programme,
- pour les aspects « Matériels et méthodes » concernant notamment les renseignements sur l'implantation des réseaux de terrain en Guadeloupe et Martinique, les aspects liés aux campagnes saisonnières d'échantillonnage (pages 11 à 26), les protocoles opératoires de prélèvement terrain et de détermination taxinomique-comptage au laboratoire (pages 26 à 30), les références bibliographiques d'appui à la détermination taxinomique (pages 31 à 33),
- sur les conditions climatiques et hydrologiques des 5 campagnes du programme initial, sur les pratiques associées aux campagnes de terrain et sur leurs résultats, qu'ils soient floristiques ou en matière de chimie des eaux (pages 34 à 66),

- sur le cadre méthodologique choisi pour conduire la démarche globale d'analyse de données (pages 69 à 71),
- sur l'utilisation d'un réseau neuronal non supervisé (Self-Organizing Map ou SOM) et de l'indice IndVal pour le repérage biotypologique des assemblages diatomiques structurants des Antilles (pages 88 à 116), ainsi que l'utilisation de la SOM pour repérer les profils de distribution des taxons en fonction de leurs préférences écologiques (Annexe 10 pages 218 à 231)
- et enfin, sur l'analyse exploratoire générale permettant l'analyse des relations entre conditions abiotiques (naturelles, anthropisées), sites et espèces des Antilles via une ACC globale explicitant la co-structuration de ces 3 matrices (pages 117 à 121).

## II. Présentation générale de la démarche IDA-2

Cette démarche d'analyse de données (cf Figure 1 ci-dessous) a suivi à peu près le même cheminement conceptuel et méthodologique que celle qui avait été déroulée pour le développement de l'IDA-1.

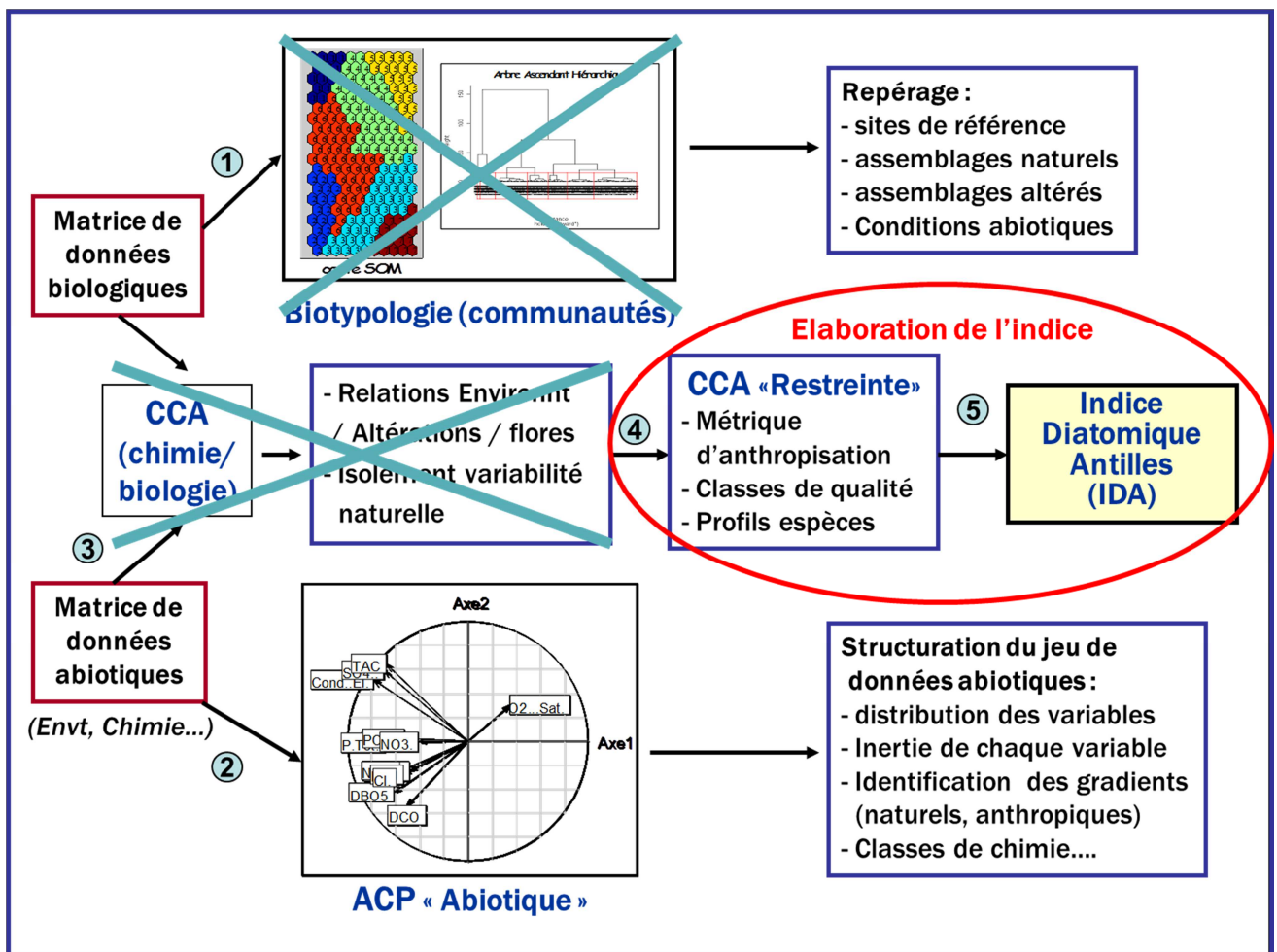


Figure 1 : Démarche biomathématique déroulée pour la mise au point de l'IDA-2

En contexte de moyens humains et de temps limités, cette deuxième démarche n'a pas pris une nouvelle fois en charge des analyses à but exploratoire dont le résultat n'allait que très modérément évoluer, avec le rajout de moins de 20% de données ne venant pas augmenter la portée des gradients naturels et anthropiques étudiés. Ainsi, en référence à la **Figure 1** page précédente, l'Analyse 1 « Biotypologie des communautés diatomiques » utilisant un réseau neuronal non supervisé, la SOM, et l'Analyse 3 (Analyse Canonique des Correspondances complète) mettant en jeu toutes les données environnementales et anthropiques et visant à étudier la structuration globale du jeu de données, réalisées lors de la première démarche, n'ont pas été ré-effectuées (étapes barrées d'une croix).

La démarche biomathématique présentée dans le présent rapport s'est donc concentrée sur la ré-exécution, sur la base du jeu de données complété, des analyses **venant directement en appui de la création du nouvel indice IDA-2**. A noter que cette nouvelle démarche n'a pas complètement été reproduite à l'identique par rapport à la précédente : elle a pu adopter des pratiques méthodologiques parfois un peu différentes, destinées à résoudre certains aspects jugés perfectibles à l'issue de la première démarche.

Suite à la ré-édition d'une ACP complète visant à examiner les gradients naturels et anthropiques présents et à en étudier les co-structurations (Analyse 2 de la **Figure 1**), le repérage de la pression d'anthropisation s'est effectué à partir de 10 variables abiotiques de qualité des eaux fortement affectées dans un sens non équivoque par les activités humaines. Via l'utilisation d'une analyse multivariée (Analyse 4 : ACC Restreinte) portant uniquement sur cette sélection de 10 paramètres, il a été créé un gradient composite multimétrique d'anthropisation (GCMA) basé à la fois sur les valeurs de chimie au site et sur la matrice-réponse des taxons diatomiques.

Par le positionnement des sites et des espèces au long du gradient composite multimétrique d'anthropisation (GCMA) obtenu, il a été possible de calculer des profils de répartition des espèces en fonction des classes de qualité ainsi bâties (gradient découpé en 5 classes).

La fin de la démarche présente de sensibles différences avec la précédente, du fait que les profils écologiques des espèces ont été utilisés avec des règles d'exploitation plus raffinées (2 catégories de taxons d'alerte au lieu d'une seule), provoquant un changement du mode de calcul et de la formule de l'indice.

### III. Aspects préalables à la mise en place de l'IDA-2

#### III.1. Adaptation du réseau de stations :

Le réseau de 112 stations déployé dans le programme initial de Recherche-Développement (55 en Martinique, 57 en Guadeloupe) et les motivations du choix des stations avaient été présentés en détail dans le rapport final initial IDA, version finale du 14-10-2013, pages 16 à 24. Il est possible de se reporter à ce rapport pour y trouver les éléments détaillés sur les sites d'étude ayant participé à ce programme initial 2009-2012.

## Rapport final

On pourra notamment y trouver les éléments sur la motivation du choix des stations, les tableaux de stations, leur nom de code abrégé en 4 lettres, leur appartenance aux divers réseaux, une courte signalétique résumant la raison de leur inclusion dans l'étude (statut de référence ou présence d'une pression anthropique particulière, laquelle...) et les campagnes où elles ont été prospectées (Tableaux 4, 5 et 6 du rapport précédent, pages 17 à 22). Ces tableaux récapitulatifs des réseaux de stations du programme initial ont cependant été rappelés pour mémoire en **Annexe 2** du présent rapport.

En 2013, quelques sites supplémentaires ont été rajoutés, selon le cas, en Martinique et Guadeloupe, afin d'apporter plus d'éléments relatifs à 2 problématiques à éclaircir ou préciser suite au programme initial :

- Amélioration de la connaissance des conditions de référence et de leur variabilité saisonnière en zone très minéralisée des Mornes de Martinique,
- Stations additionnelles permettant de préciser le statut écologique de *Nitzschia inconspicua* (NINC). En effet, suite au programme initial, les éléments collectés étaient encore insuffisants pour statuer sur l'affinité de cette espèce avec l'altération anthropique ou avec des facteurs plus naturels (forte minéralisation de l'eau, exigences thermiques élevées).

Dans ce but, en fonction du site, de l'objectif du rajout de point et des conditions hydrologiques saisonnières dans le cours d'eau, 1 à 2 campagnes de prélèvements supplémentaires ont eu lieu en 2013 sur un assortiment de 18 nouvelles stations des Antilles (15 nouveaux sites en Martinique, concernée par les 2 problématiques, et 3 nouveaux sites en Guadeloupe, concernée seulement par la problématique NINC).

**Tableau 1 : Liste du réseau de stations supplémentaires 2013 en Martinique**

Code station ASCONIT	Cours d'eau	Nom station	Commune	Code SANDRE Station	Finalité sites supplémentaires 2013	Coordonnées X	Coordonnées Y	Campagne 7 (Carême 2013)	Campagne 8 (Hivernage 2013)
BAMm	Source Fond Bambou	NA	Ducos	NA	Référentiel supplémentaire 2013 "HER Mornes du Sud"	1613645,55	719469,18	03/04/2013	22/10/2013
BAUm	Source Morne Escarpé-Baudelle	NA	Rivière Pilote	NA	Référentiel supplémentaire 2013 "HER Mornes du Sud"	1606236,87	725590,62	02/04/2013	23/10/2013
DAMm	Source Les Dames	NA	Vaudin	NA	Référentiel supplémentaire 2013 "HER Mornes du Sud"	1610692,88	728050,32	02/04/2013	23/10/2013
DOUm	Source Dos d'Âne	NA	François	NA	Référentiel supplémentaire 2013 "HER Mornes du Sud"	1614486,4	726463,92	02/04/2013	Néant
VERm	La Vermeille	NA	Robert	NA	Référentiel supplémentaire 2013 "HER Mornes du Sud"	1626229,83	721062,66	Néant	22/10/2013
BEMm	Bezaudin	Morne Ma Croix	Ste Marie	82111.03	Réseau supplémentaire 2013	1633233	712370	19/03/2013	Néant
CNHm	Case Navire	Habitation Fond Rousseau	Schoelcher	83021.02	Réseau supplémentaire 2013	1618068	705275	21/03/2013	Néant
COSm	Rivière de Coulisses	Paroiss sportif	Saint Esprit	88011.03	Réseau supplémentaire 2013	1610490	722099	21/03/2013	Néant
DEIm	Desroses	Habitation Trianon	François	86131.02	Réseau supplémentaire 2013	1616725	724529	22/03/2013	Néant
GABm	Galion	Amont Siapoc	Trinité	82251.03	Réseau supplémentaire 2013	1630162	716641	19/03/2013	Néant
LEJm	Lézarde	Habitation Jonction	Lamentin	85211.04	Réseau supplémentaire 2013	1622757	715776	19/03/2013	Néant
MOEm	Monsieur	Patronage de l'Espérance	Fort de France	84121.06	Réseau supplémentaire 2013	1617975	710644	21/03/2013	Néant
MOLm	Monsieur	Fond Latreille	Fort de France	84111.03	Réseau supplémentaire 2013	1621029	709803	21/03/2013	Néant
PIMm	Petite Pilote	Pont Madeleine	Rivière Pilote	88121.01	Réseau supplémentaire 2013	1603628	725804	22/03/2013	Néant
ROZm	Petite Pilote	Pont Madeleine	Rivière Pilote	88121.01	Réseau supplémentaire 2013	1603628	725804	22/03/2013	Néant

**Tableau 2 : Liste du réseau de stations supplémentaires 2013 en Guadeloupe**

Code Relevé	Cours d'eau	Nom station	Commune	Code SANDRE Station	Légende carte	Coordonnées X	Coordonnées Y	Campagne 7 (Carême 2013)	Campagne 8 (Hivernage 2013)
GCMg	Rivière du Grand Carbet	Amont	Capesterre-BE	non codée	Réseau supplémentaire 2013	1.774169	645394	04/06/2013	16/09/2013
SFMg	Rivière Sans	Amont	Gourbeyre	non codée	Réseau supplémentaire 2013	1.769209	639543	Néant	17/09/2013
XRMg	Ravine aux Avocats	Amont	Sainte-Claude	non codée	Réseau supplémentaire 2013	1.772808	641186	03/06/2013	17/09/2013

Les sites nouvellement choisis en 2013, qui sont venus se rajouter à des sites d'étude déjà prospectés ou aux réseaux de surveillance réguliers, sont listés et sommairement décrits dans les **Tableaux 1 et 2** qui précèdent. **Cela porte à 130 le nombre total de sites de terrain ayant contribué à la mise au point de l'IDA-2** (soit un total de 70 sites en Martinique et de 60 sites en Guadeloupe).

Des cartes de localisation des sites identifiables par leur abréviation avaient été fournies en Figure 5 page 23 du rapport final IDA antérieur, pour les sites prospectés assez régulièrement tout au long du programme, ainsi qu'en Figure 6 page 24 pour les stations du réseau supplémentaire de Guadeloupe prélevés en Campagne 5. Les cartes complètes réactualisées des réseaux de sites Antilles, incluant les réseaux supplémentaires 2013, sont présentées en **Figure 2** et en **Figure 3** pages suivantes.

Les nouveaux sites rajoutés en 2013 sont figurés en bleu clair pour ceux qui correspondent à l'acquisition de référentiel additionnel « HER Mornes du sud » (strictement localisés en partie Sud de Martinique), et en violet pour le réseau supplémentaire 2013 chargé d'enrichir la connaissance des préférences écologiques de NINC (sites répartis en Guadeloupe et Martinique).

## III.2. Données abiotiques et biologiques et post-traitement

Avec l'ajout des nouvelles données de terrain 2013 émanant des réseaux de surveillance classiques et des 2 campagnes complémentaires spécifiques programmées en Martinique et en Guadeloupe, **607 relevés complets (associant données de chimie et relevés biologiques exploitables) ont été disponibles pour la création de l'IDA-2**, au lieu de **484** disponibles à la fin du programme de recherche-développement 2009-2012 pour générer la première version d'IDA.

### III.2-1 Les données abiotiques chimiques :

**25 paramètres abiotiques relatifs à la qualité des eaux**, disponibles de façon exhaustive, ou très majoritairement disponibles et ayant pu être complétés à la marge par expertise, ont permis la description des conditions environnementales aux sites étudiés. Ces variables ont été notamment utilisées dans l'ACP complète permettant d'étudier la structuration globale des données et de repérer des gradients abiotiques naturels et anthropiques présents dans ces cours d'eau Antillais.

Les variables environnementales abiotiques ayant participé à l'ACP exploratoire complète sont les suivantes : **Conc. O<sub>2</sub>, % Sat. O<sub>2</sub>, pH, Cond. El, T°, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, TAC, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, TH, SiO<sub>2</sub>, MES, TU, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NKJ, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, P total, DCO, DBO<sub>5</sub>, C. Org.**



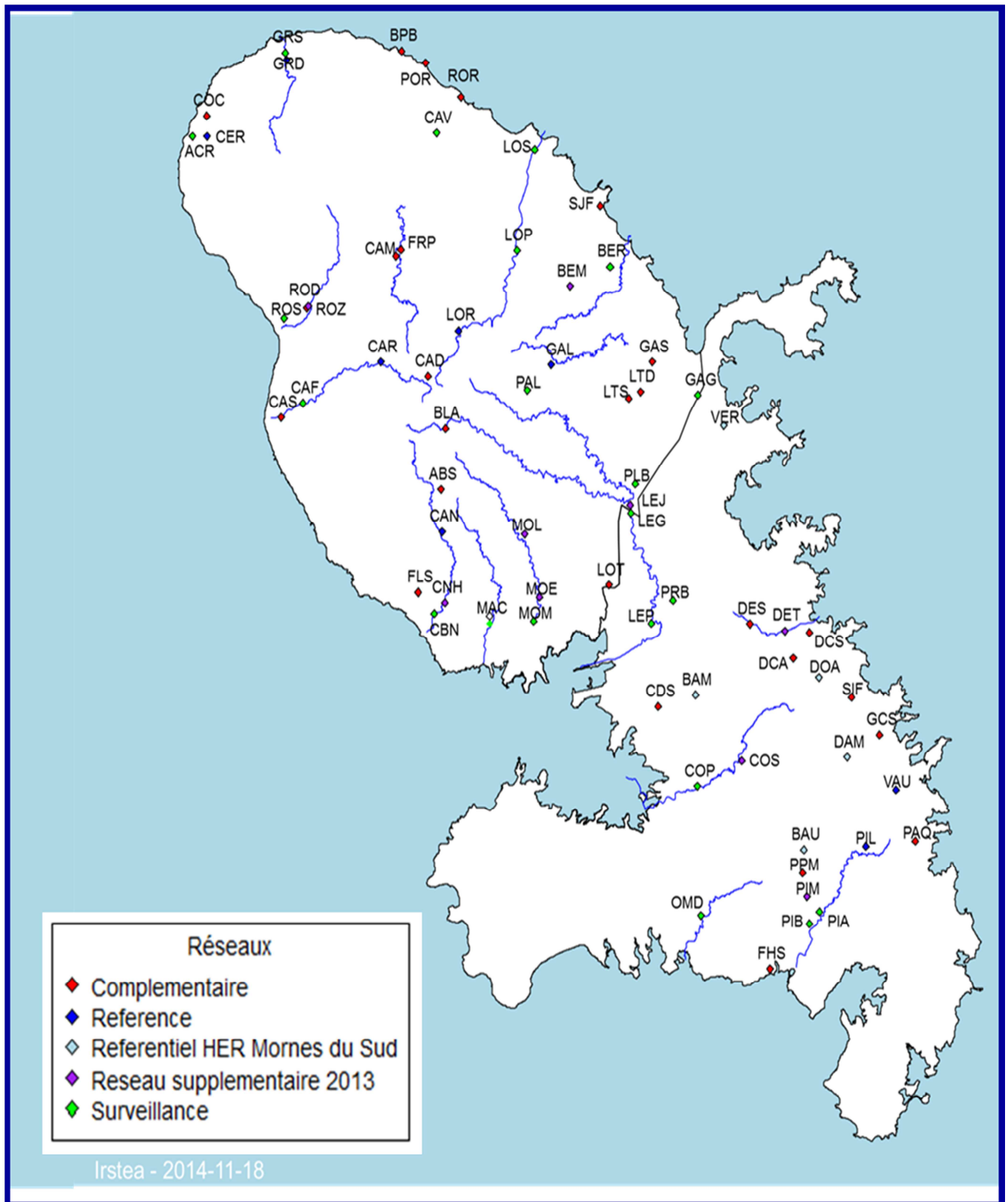


Figure 2 : Carte complète des sites de Martinique étudiés pendant le programme 2009-2013

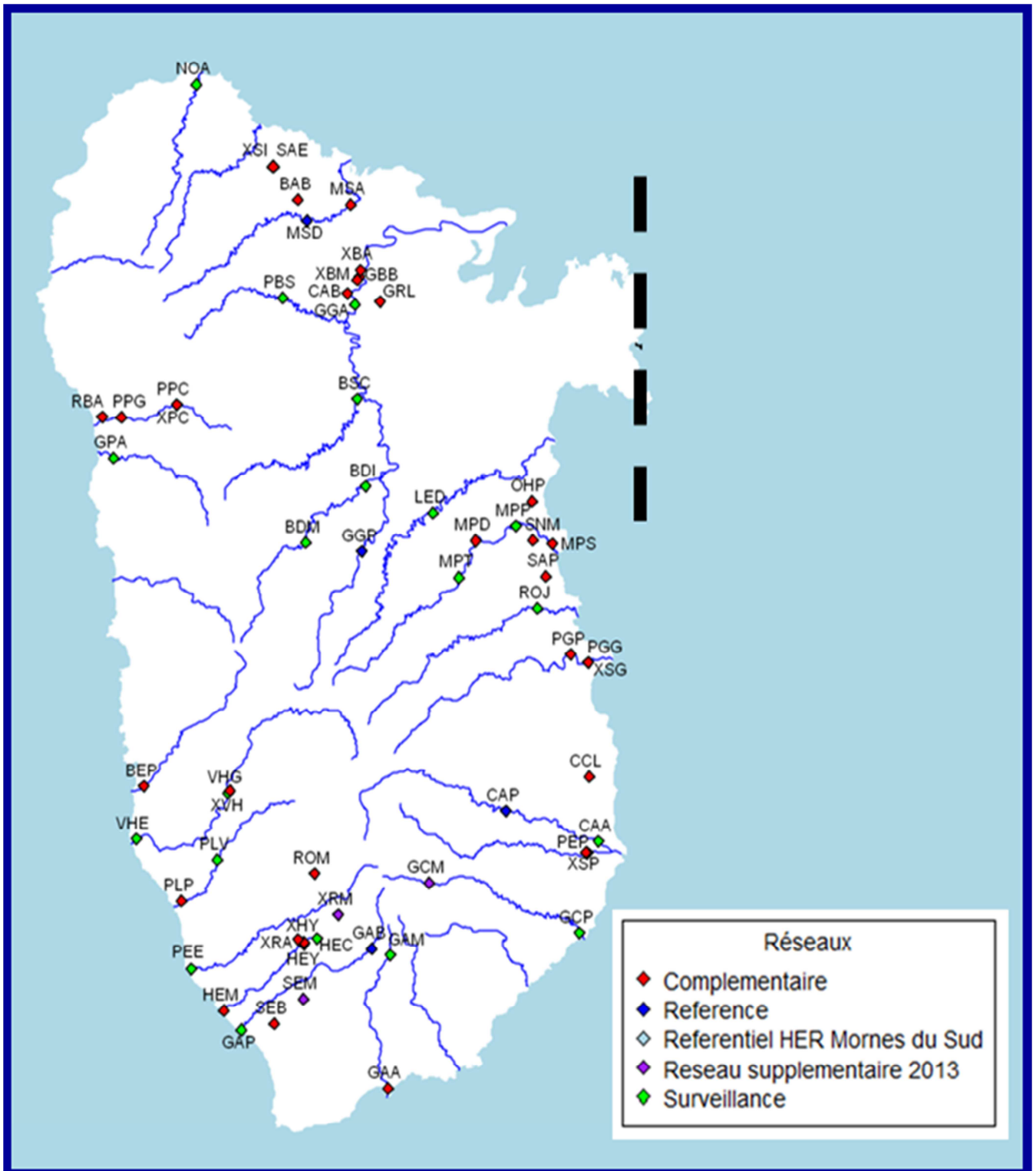
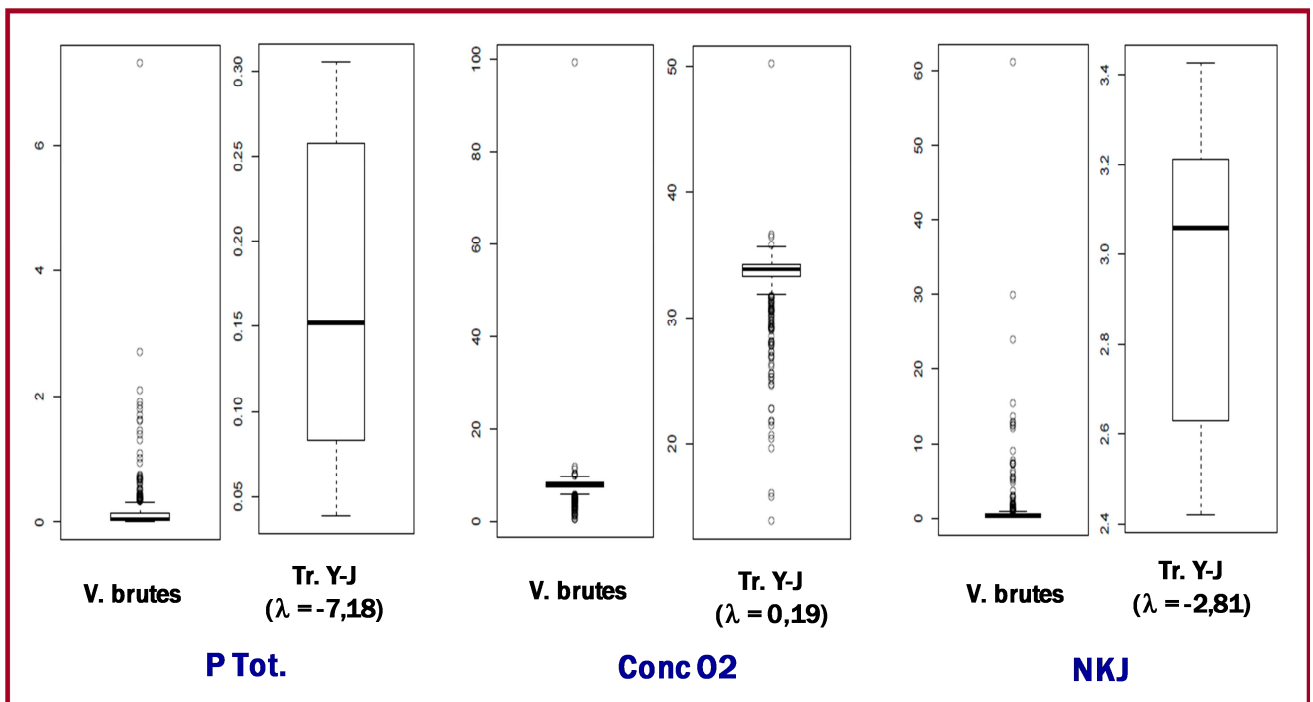


Figure 3 : Carte complète des sites de Guadeloupe étudiés pendant le programme 2009-2013

**Les 10 paramètres retenus comme paramètres d'anthropisation pour la réalisation des analyses multivariées « restreintes » (ACP et ACC) qui ont permis le calcul du gradient d'anthropisation et des classes de qualité, sont les suivants : % Sat. O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NKj, PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, P total, DBO<sub>5</sub>, MES, C. Org.**

Les données abiotiques brutes présentent une distribution à la fois très éloignée d'une distribution normale, très différente dans leur amplitude et souvent décentrée d'une variable à l'autre, rendant peu comparable la représentation du gradient de chacune d'elle dans l'optique d'une agrégation multi-variable. Cette difficulté avait déjà été rencontrée pour le développement de l'IDA-1.

Afin de rendre les gradients de variables anthropiques plus comparables entre eux, il a été décidé de transformer les données brutes selon une méthode adéquate en préalable à la réalisation des analyses multivariées ayant servi à étudier la structuration des données abiotiques d'une part, à la construction du Gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation (GCMA) d'autre part.



**Figure 4 : 3 exemples de distribution des données brutes et transformées Yeo-Johnson**

La solution technique retenue a été de transformer les données brutes des paramètres à distribution défectueuse pour en re-normaliser la distribution et les recentrer.

La méthode employée est la méthode de **Yeo-Johnson**, au principe proche de la méthode **Box-Cox** mais dont la formulation, au contraire de la précédente, permet de résoudre le problème posé par la présence de valeurs nulles.

Selon les valeurs de Lambda obtenues par variable et selon un schéma décisionnel pré-établi, la méthode applique la transformation la plus appropriée pour ramener le référentiel de données de la variable considérée vers une distribution normale ou pseudo-normale.

La **Figure 4** en page précédente illustre, sur 3 paramètres d'anthropisation illustrés à titre d'exemple, les problèmes de distribution (non normale, décentrée) des données brutes (box-plot situé à gauche de chaque doublet), ainsi que la renormalisation et le recentrage de distribution apportée par la méthode de Yeo-Johnson.

Sur les 25 paramètres abiotiques utilisés dans les analyses de données, 22 paramètres ont été transformés selon la méthode précitée. Par contre, **3 variables dont la distribution était quasi-normale n'ont pas été transformées** (% Sat. O<sub>2</sub>, T°, SiO<sub>2</sub>)

### III.2-2 Les données biotiques :

Les **607 relevés biologiques exploités** ont permis de repérer et d'inventorier **512 taxons différents aux Antilles** (certains rencontrés seulement à une ou deux reprises dans toute l'assise de l'étude), qui sont constitutifs de la base des inventaires et peuvent désormais être reconnus et dénombrés. Une sélection ultérieure sur seuils minimum d'occurrence et d'abondance rencontrés dans cette base a ensuite permis la sélection des taxons constitutifs de l'IDA-2.

Les données de comptage des relevés en abondance relative des taxons ont fait l'objet d'une transformation  $\log(x+1)$ . Les buts de cette transformation étaient d'une part d'amplifier le signal et l'apport écologique des taxons structurants, mais faiblement abondants, par rapport à quelques taxons dominants, et d'autre part, sur le plan mathématique, d'éviter les impossibilités de calcul en liaison avec  $\log(0) = [-\text{l'infini}]$ .

## III.3. Réalisation d'une analyse exploratoire (ACP complète)

### III.3-1 Objectifs, aspects méthodologiques :

Cette analyse a été réalisée pour étudier le poids relatif et les gradients qu'exercent les forçages abiotiques dans les hydrosystèmes des Antilles. Cette analyse permet de représenter successivement dans différents plans la physionomie et le poids d'intervention des diverses variables abiotiques sur les axes successifs de l'analyse multivariée et le positionnement relatif des relevés (site X date) dans l'espace des données.

Les premiers axes portent le plus d'information sur la structuration du jeu de données et sur la physionomie des composantes principales, les axes suivants sont porteurs d'une information décroissante.

Un des objectifs de cette analyse exploratoire est de repérer et si possible d'isoler ce qui ressort de la variation naturelle des conditions environnementales et d'autre part, de l'effet des altérations anthropiques. En effet, dans l'indice à mettre en place, c'est cette dernière information qui va primer pour produire un outil biocénotique capable de diagnostiquer l'altération de l'état écologique.

Les intérêts d'une telle analyse sont d'une part d'observer l'action structurante relative des différents paramètres, de repérer les possibilités technique permettant d'isoler les influences naturelles et les influences anthropiques (à l'idéal, des variations naturelles pourraient être portées par l'un des 2 axes principaux et les variations anthropiques par l'autre) et de prendre bonne connaissance de l'auto-corrélation des variables.

L'analyse a porté sur les 25 paramètres abiotiques listés en bas de page 11. Le package qui a été utilisé pour effectuer cette ACP est « ade4 » sous R (Dray and Dufour, 2007, Référence 10 du rapport final IDA-1 du 14-10-2013)

### III.3-2 Résultats :

Une interprétation assez détaillée des résultats de ce type d'analyse a déjà été réalisée et commentée dans le Rapport Final - Version du 14/10/2013 (pages 79 à 88). Pour plus d'interprétation écologique plus poussée, il reste possible de s'y reporter. L'exploitation des résultats réalisée ici vise donc simplement à actualiser certaines figures et à vérifier qu'avec 20% de données en plus et une transformation initiale un peu différente des données abiotiques (ici, transformation de Yeo-Johnson au lieu de transformation Box-Cox), les conclusions de l'époque ne s'en trouvent pas modifiées.

Les principaux éléments de structuration des variables abiotiques de forçage émanant de cette ACP complète sont reportés en **Figure 5** ci-dessous.

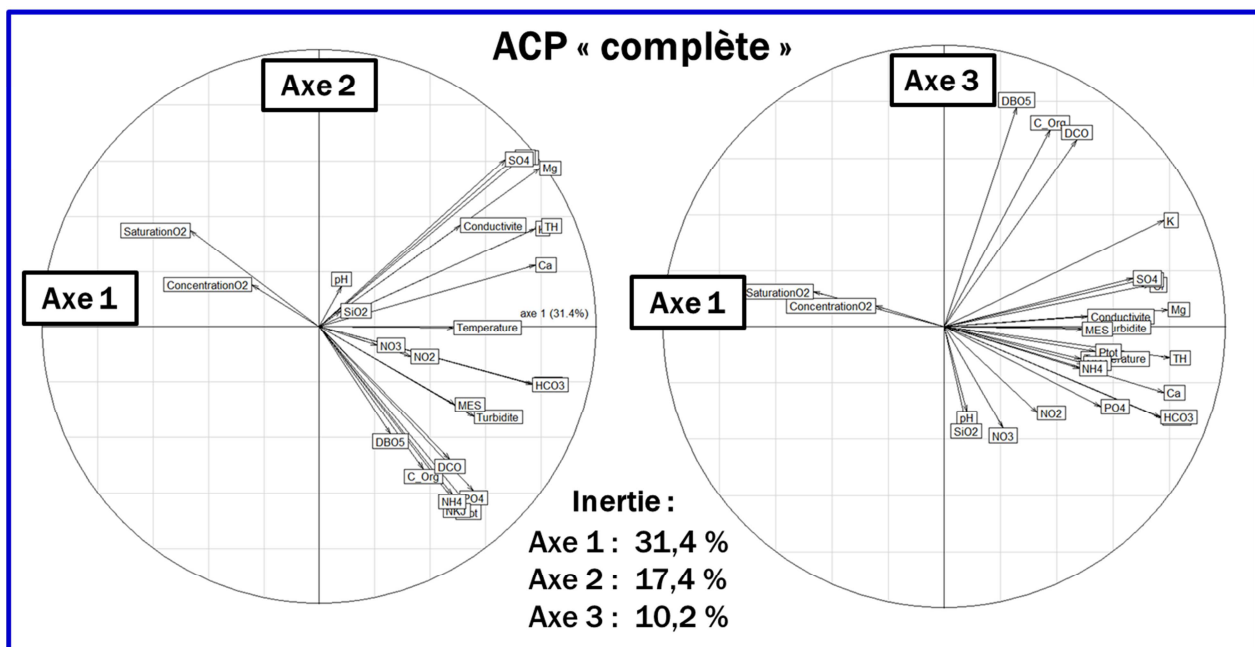


Figure 5 : Physionomie des vecteurs de variables abiotiques dans l'ACP complète

En s'affranchissant de l'effet-miroir qui s'est appliqué entre les 2 analyses et qui entache les représentations graphiques sans incidence sur l'interprétation (ces analyses structurent l'effet relatif des variables entre elles), l'organisation relative des forçages reste très comparable entre la présente ACP complète et la précédente.

L'information structurante très dominante est portée par l'axe 1 avec 31,4 % de l'inertie totale de l'analyse. L'inertie portée par les axes suivants décroît rapidement avec 17,4 % pour l'axe 2 et 10,2 % pour l'axe 3, chutant fortement ensuite (7,45 % pour l'axe 4).

En fonction des caractéristiques spécifiques de ce jeu de données, il n'a pas été facile d'isoler de façon nette l'influence de certaines catégories de variables sur un axe dominant.

Sur le croisement axe 1 X axe 2 (partie gauche de la figure), la plupart des gradients de variables naturelles et augmentées par l'anthropisation sont portées de façon composite par l'axe 1 (de la gauche vers la droite) et l'axe 2, qui différencie un peu mieux les variables naturelles (vers le haut) et les variables anthropiques (vers le bas).

Compte-tenu de cette configuration faisant intervenir de façon composite les 2 types de variables sur les 2 axes principaux de l'analyse, l'isolement de l'effet en propre des variables anthropiques ne peut pas être réalisé en sélectionnant l'information portée par un axe ou ces informations seraient nettement dominantes.

Il sera donc fait à nouveau appel, dans la suite de la démarche, à une analyse multivariée « restreinte » réalisée uniquement sur une sélection de variables abiotiques d'anthropisation afin de matérialiser le gradient d'anthropisation utilisé pour bâtir la nouvelle version d'IDA.

Pour l'exploitation plus complète des résultats présentés en **Figure 5**, logiquement, la teneur et la saturation en O<sub>2</sub> dissous, qui augmentent vers la gauche et le haut, sont à l'opposé des gradients, dans un ordre décroissant, de P<sub>Tot</sub>, PO<sub>4</sub>, NKJ, NH<sub>4</sub>, C Org, MES, DBO<sub>5</sub>, toutes ces variables traduisant des pollutions anthropiques diverses générant le plus souvent de la demande en O<sub>2</sub> (rejet de STEP, d'industries agro-alimentaires, d'élevage, pollution domestique, érosion agricole) qui conduisent à une augmentation du niveau trophique et à une demande en oxygène.

Les variables abiotiques qui renseignent sur l'hydrochimie conditionnée par la géologie des substrats, soit la conductivité, le Titre Hydrométrique, le TAC, le Ca, le Mg, le SO<sub>4</sub> (variables liées à la minéralisation de l'eau sous influence essentiellement géochimique naturelle) sont également les plus purement portées par l'axe 1.

Ces 2 groupes de variables contribuent donc de façon équivalente et non isolable à l'inertie portée par l'axe principal de l'analyse. Ils se différencient mieux selon l'axe 2 (facteurs d'anthropisation vers le bas, facteurs géochimiques et hydrochimiques naturels vers le haut), mais qui est déjà nettement moins porteur d'inertie (17,4%) que l'Axe 1 (31,4%).

A noter que le pH et la teneur en SiO<sub>2</sub>, surtout caractéristiques de la minéralisation naturelle de l'eau, ont des valeurs vectorielles peu influentes sur les 3 premiers axes. Elles contribuent donc peu à la structuration du jeu de données et semblent en tout cas ne pas avoir de liaison marquante et organisée avec les descripteurs de pollutions anthropiques.

En partie droite de la **Figure 5**, le croisement (axe 1 X axe 3), porteur d'une quantité modeste d'information nouvelle (axe 3 porteur de seulement 10,2 % d'information non prise en charge par le croisement précédent), permet seulement de montrer un positionnement particulier de 3 variables abiotiques liées aux configurations de pollution organique (DBO<sub>5</sub>, C<sub>Org</sub>, DCO, regroupées vers le haut de l'Axe 3), ce qui semble cohérent et aidera à identifier des sites soumis à des pollutions organiques.

L'examen de la **Figure 6** page suivante permet de mieux situer le positionnement des relevés (site X date) étudiés au cours du programme en fonction du positionnement de leurs variables abiotiques dans l'ACP.

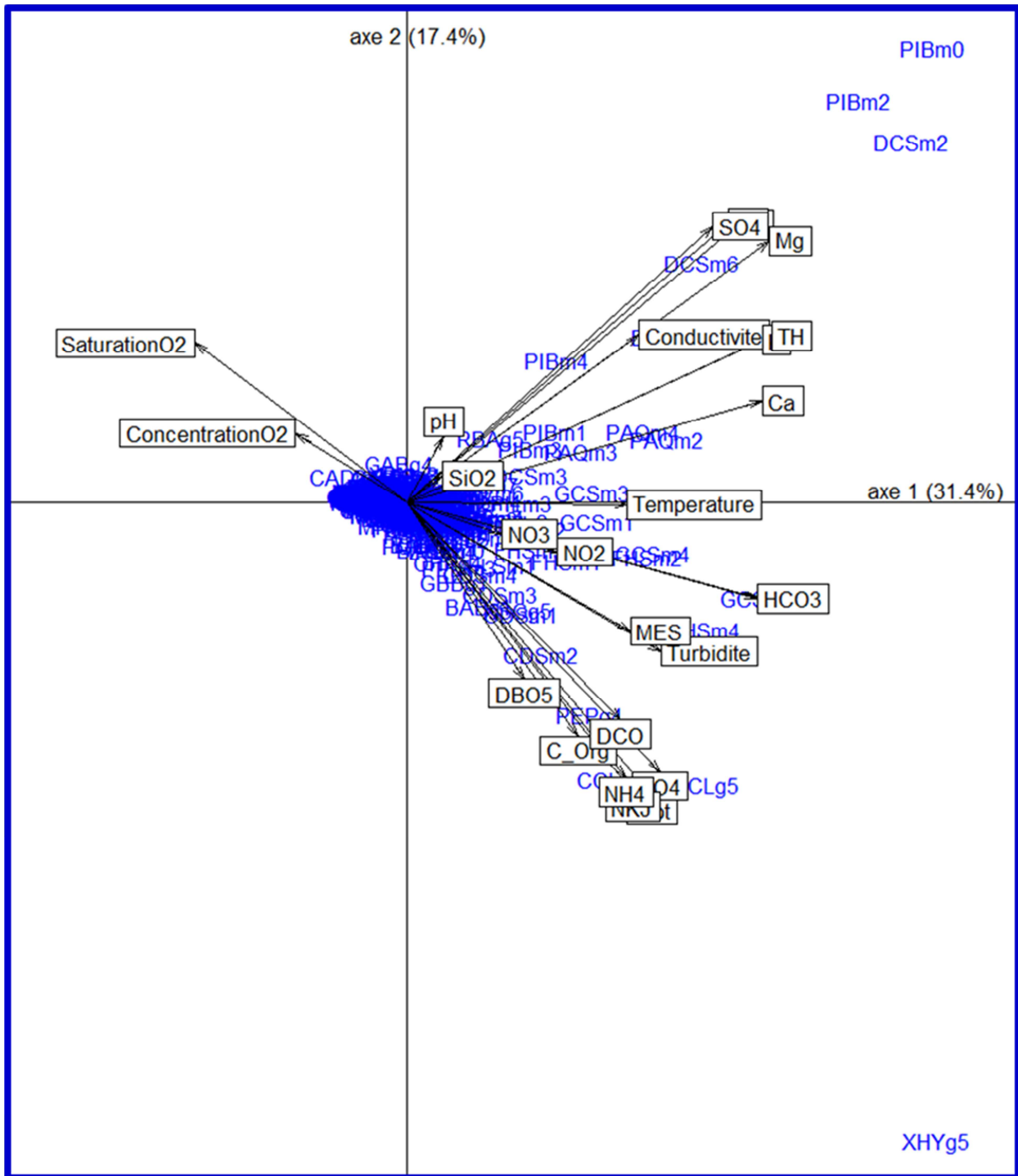


Figure 6 : Localisation des relevés (site X date) dans l'espace des variables de l'ACP complète (croisement Axe 1 X Axe 2)

Il est ainsi possible de repérer la structuration des principaux forçages abiotiques qui s'exercent dans l'espace des données (ici, croisement Axe 1 X Axe 2), en particulier les grandes caractéristiques liées aux forçages naturels, ainsi que les forçages anthropiques ayant produit un effet sensible sur les valeurs analytiques de certaines variables abiotiques au relevé (site x date).

Le croisement (Axe 1 X Axe 2) porte près de 49 % de l'information structurante de l'analyse). Cette **Figure 6** met en perspective le positionnement des relevés abiotiques (site X date) et la contribution de chaque variable abiotique dans leur positionnement. Elle permet de rappeler qu'il n'a pas été possible, comme dans des analyses antérieures portant sur d'autres contextes biogéographiques, d'isoler de façon efficace les variations plutôt d'origine naturelle de gradients plutôt d'origine anthropique en sélectionnant les axes. En effet, comme on l'a déjà vu sur la **Figure 5**, la plupart des gradients à la fois naturels et provoqués par l'anthropisation sont portés de façon composite par l'axe 1 (de la gauche vers la droite) et l'axe 2 (les sites à hydrochimie plutôt influencée par les conditions naturelle étant tirés vers le haut du nuage et ceux plutôt anthropisés étant localisés plutôt en bas et à droite du nuage).

La partie du nuage située à gauche de l'origine de l'axe 1, la plus opposée au vecteur "conductivité électrique" et aux descripteurs de minéralisation et d'anthropisation, représente les eaux naturelles les moins minéralisées du jeu de données, avec une hydrochimie caractéristique de sites situés sur massifs volcaniques avec des contextes fortement dilutifs sur substrats de lave peu altérée (exemples : sites GALm sur la rivière Galion amont en Martinique, site CAPg sur la rivière de Capesterre amont en Guadeloupe).

La partie de ce nuage de référence passant à droite de l'axe 2 et sur le haut de l'Axe 1 se trouve au contraire fortement minéralisée et carbonatée sous influence essentiellement naturelle (cf composantes principales Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, TAC, Cod. El, TH, température de l'eau qui tirent l'analyse dans ce secteur), en liaison avec la géochimie particulière (placage de tufs) que l'on rencontre sur la zone des Mornes de Martinique (Grande Rivière Pilote à Beauregard PILm, Vauclin VAUm, Paquemar PAQm), sans équivalent géologique et hydrochimique naturel en Guadeloupe.

Les relevés projetés les plus en haut à droite de ce secteur, très fortement minéralisés, ne correspondent plus à des sites de référence mais à des relevés de sites à très forte minéralisation de l'eau, les positionnements les plus excentrés découlant d'une influence haline littorale très marquée à certaines dates (cas de certains relevés aux sites PIBm et DCSm).

Dans le quartier en bas à droite, en opposition avec les valeurs de concentration et de saturation en O<sub>2</sub> et en accord avec de fortes valeurs de descripteurs abiotiques d'anthropisation, on trouve à certaines dates divers sites très sensiblement pollués de Martinique (CDSm, DCSm, GCSm, FHSm...) et de Guadeloupe (BABg, OHPg, PEPg, CCLg...).

Au bilan, les principales informations écologiques tirées de cette ACP complète à partir des données abiotiques des sites de Martinique et de Guadeloupe sont résumées dans la **Figure 7** en page suivante :

Les trois principaux gradients naturels et anthropiques identifiables qui contribuent à structurer ce jeu de données sont matérialisés par les trois flèches, le début du gradient correspondant se situant à l'origine de la flèche et les situations extrêmes les plus typiques de ce gradient étant orientées en direction de la pointe de la flèche.



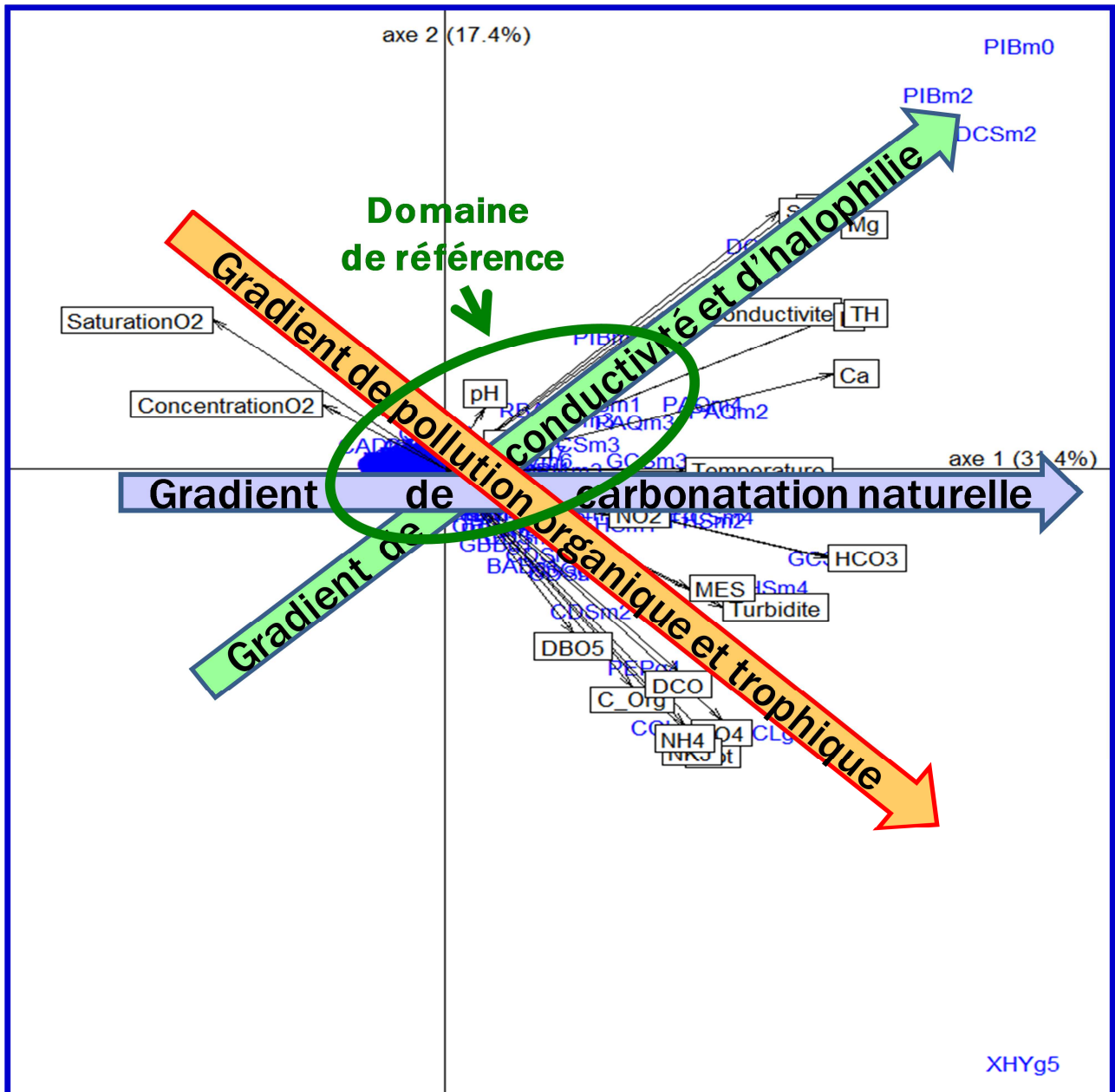


Figure 7 : Structuration résumée des principaux gradients abiotiques dans l'ACP complète (projection des relevés dans l'espace des données abiotiques, croisement Axe 1 x Axe 2)

Le domaine de référence (ellipse verte) s'étend dans un secteur proche du centre de gravité du nuage (origines des axes) et s'étend depuis la partie située à gauche de l'origine de l'Axe 1 (correspondant aux situations très peu minéralisées des massifs volcaniques de Guadeloupe et de Martinique sur laves peu altérées) vers un domaine s'étendant en haut à droite par rapport à l'Axe 1 (domaine des situations naturelles fortement minéralisées et carbonatées trouvées notamment dans la zone des Mornes de Martinique).

Un gradient de minéralisation et conductivité de l'eau, toutes situations confondues (flèche verte), part du secteur en bas à gauche du plan défini par le croisement Axe 1 x Axe 2, ou on retrouve les sites aux plus faibles conductivités électriques de tout le jeu de données, situées sur le massif volcanique de la Basse-Terre en Guadeloupe.

Ce gradient s'accroît en direction du secteur en haut à droite, correspondant aux situations de bas de bassin versant très minéralisées de la zone des Mornes de Martinique avec cumul d'une influence haline littorale, du type PILBm (Rivière Pilote aval) ou DCSm (Deux Courants à Pont Séraphin), site indéniablement soumis à une forte influence littorale avec inversion de courant, retenue dynamique liée aux marées et influence haline plus ou moins intense selon les épisodes temporels suivis.

On peut ensuite identifier un gradient de minéralisation-carbonatation des eaux (flèche bleue) dont les relevés situés à l'extrême droite correspondent aux situations les plus minéralisées qu'il est possible de rencontrer sur le secteur des Mornes de Martinique dans le domaine des eaux douces hors influence littorale. Ces situations correspondent à une hydrochimie fortement marquée par la géologie de cette zone (placage de tufs), les eaux tenant de fortes teneurs d'hydrogénocarbonates voire même de carbonate de calcium. Les relevés situés le plus à droite de ce gradient correspondant aux épisodes les plus fortement minéralisés, en liaison avec des épisodes hydrologiques de fort étiage (site Paquemar PAQm) et éventuellement une accentuation de cette minéralisation par certaines eaux usées (site GCS sous influence de la STEP Vauclin 2).

Un gradient d'altération, matérialisé par la flèche marron, s'étend des situations les plus naturelles et oxygénées en haut à gauche vers un domaine fortement sous influence des pollutions composites liées aux eaux domestiques, d'élevage, de STEPs, d'industries agro-alimentaires, qui apportent au milieu aquatique, tout à la fois, matière organique carbonée et azotée et pollution phosphatée (cf vecteurs des variables COrg, DCO, DBO5, NKJ, NH4, NO2, PTOT, PO4 voire MES et turbidité), qui s'opposent logiquement aux vecteurs de teneur et de saturation en O2. On retrouve dans le secteur en bas à droite, sortis du nuage compact, certains relevés sous influence d'infrastructures polluantes à des dates où ces pollutions ont probablement exercé la plus forte influence, comme en Guadeloupe sur les sites CCLg (distillerie Lonqueteau dans le canal issu Caféière), PEPg (Rivière du Pérou aval), BABg (Rivière Baret à Bellevue) et en Martinique sur les sites CDSm (aval STEP au Canal de Ducos), GCSm (aval STEP Vauclin 2), FHSm (aval STEP Ste Luce) etc...

Donc, malgré la faible représentativité temporelle que l'on peut raisonnablement assigner aux échantillonnages de chimie (basés sur un seul échantillon ponctuel d'eau par épisode temporel documenté) en liaison avec les prélèvements plus intégratifs d'assemblages diatomiques, les situations extrêmes du jeu de données ressortent avec une assez bonne cohérence entre sites et variables environnementales abiotiques, à savoir :

- Bon repérage du gradient naturel de minéralisation des eaux (entre eaux faiblement minéralisées de contextes naturels sur laves volcaniques et eaux marquées par des substrats carbonatés (tufs des Mornes de Martinique) voire des influences halines littorales,
- Repérage apparemment correct des sites sous influence de conditions naturelles de référence (en principe assez stables dans le temps, hors crues) en opposition avec des situations très altérées (aval d'infrastructures déversant, sous forme de rejets local, des effluents très chargés en matières polluantes). Par contre, sur la base uniquement abiotique mobilisée par l'ACP complète, seules quelques dates à ces sites ressortent clairement du nuage de points (cours d'eau et/ou rejet très concentrés en effluents polluants à certaines dates).

Dans ce cas de sites sous forte influence anthropique, il est plausible et même probable que la bonne représentation du niveau de pollution de ces sites pollués (par définition très variable dans le temps, en fonction de l'intensité de l'activité et du rejet, qui varie selon le contexte saisonnier de l'activité et peut même varier très sensiblement sur un rythme circadien, comme les rejets de STEP ou d'IAA) ait souffert d'un défaut d'intégration temporelle. Cette stratégie de terrain (prélèvement ponctuel unique pour la physico-chimie et la chimie) présente donc une faiblesse par rapport à l'information beaucoup plus intégrée apportée par l'échantillonnage diatomique (qui a pour sa part subi l'influence intégrée de la qualité de l'eau sur les 1,5 à 3 mois ayant précédé le prélèvement in situ).

Quoi qu'il en soit, les informations apportées par cette ACP complète sont globalement cohérentes et ont permis de repérer de façon relativement correcte les caractéristiques abiotiques naturelles et de pression anthropique s'exerçant sur le réseau de sites suivi, faisant bien ressortir les situations extrêmes.

Pour la suite de la démarche de création d'un nouvel indice, il faudra cependant bien garder en tête **la relativité de cette information chimique**, basée sur un seul prélèvement ponctuel par site, au moment d'établir et d'interpréter l'information sur le gradient d'anthropisation et sur les profils de qualité des espèces basé sur ce jeu de données abiotiques.

### III.4. Réalisation d'une ACC restreinte «Variables d'anthropisation»

#### III.4-1 Objectifs, aspects méthodologiques :

L'Analyse Canonique des Correspondances (ACC) permet d'étudier les relations qui existent entre 3 tables de données (par exemple relevés site x date, chimie, espèces) en utilisant un principe d'analyse des relations sous-tendue par une assumption de linéarité.

**Nota :** *Les relations environnementales ne sont pas forcément linéaires, ce qui peut dans certains cas constituer une limite d'utilisation de ce type d'analyse multivariée, ou du moins venir en affaiblir l'expression des résultats par diminution des  $R^2$  obtenus.*

En écologie, beaucoup des ACC mettent en relations une matrice abiotique et une matrice biologique. Le package qui a été utilisé pour réaliser cette analyse est le package « Vegan » disponible sous R (J. Oksanen 2012). Une telle analyse peut être utilisée pour l'analyse exploratoire d'un large assortiment de facteurs abiotiques structurant la réponse des espèces et communautés biologiques, qu'il s'agisse de variables abiotiques environnementales (influence des conditions naturelles) ou de variables illustratives de pression humaine qui rendent compte d'un degré d'altération anthropique.

Dans un but d'acquisition de connaissance générale sur les forçages abiotiques caractéristiques de ces milieux Antillais et sur la réponse des communautés à tous les gradients naturels et anthropiques documentés au cours de cette étude, **une ACC exploratoire complète avait déjà été réalisée** et ses résultats avaient été commentés en détails dans le rapport final du programme de recherche (version de Rapport Final IDA du 12-10-2013, pages 117 à 121).

En faisant abstraction d'une inversion-miroir classique dans ce genre d'analyses, liée au fait que la représentation des vecteurs de variables structurantes se positionne en relatif par rapport à l'origine des axes, l'examen sommaire d'une nouvelle ACC complète a montré que les patrons de structuration des données suite à l'ajout de 15 à 20 % de données nouvelles n'avaient évolué qu'à la marge. La raison principale sous-tendant cette similitude est que les sites les plus extrêmes, tant sur le plan des conditions naturelles que des plus fortes altérations, étaient déjà contenus dans le jeu initial, et que ce sont eux qui contribuent le plus à la structuration des gradients abiotiques.

Dans un contexte de force de travail limitée et de délais contraints, Il a été jugé non-prioritaire de complètement refaire et ré-interpréter cette analyse exploratoire initiale, consommatrice en temps, pour une faible plus-value de connaissance par rapport à la précédente. On peut donc se reporter à la description de son mode opératoire et à ses résultats aux pages du rapport final du 12-10-2013 pré-indiquées.

Le présent rapport se cantonne plus strictement à l'étude des démarches et analyses **ayant directement participé à l'élaboration de la nouvelle version d'Indice Diatomique des Antilles (IDA-2).**

Dans ce but, il a été réalisé une ACC dite « restreinte », se cantonnant à l'**analyse des réponses biologiques sous l'influence de 10 variables abiotiques représentatives du gradient d'anthropisation.** Un premier objectif était de repérer l'effet structurant des gradients anthropiques sur les flores en s'affranchissant le plus possible de l'influence des conditions naturelles. Le second, sous-tendant la démarche de création du nouvel indice, était d'intégrer et d'exploiter ces gradients pour la mise en place des profils de qualité des taxons contributifs à son calcul.

### **III.4-2 Données abiotiques :**

Les variables abiotiques mobilisées pour la réalisation de cette ACC restreinte sont les suivantes :

- **MES, DBO5, C. Org, P.Tot, PO4, NH4, NO2, NO3, NKj, Sat.O2**

Pour les neuf premières variables listées ci-dessus, même si des gradients naturels relativement conséquents peuvent exister dans les milieux naturels en fonction de la variabilité de leurs caractéristiques, l'altération anthropique exerce un poids dominant sur le référentiel de valeurs et en particulier sur toute la gamme des valeurs élevées, qu'il n'est pas possible de rencontrer en conditions non-anthropisées.

Les pressions anthropiques fortement influentes sur au moins certains de ces neuf descripteurs peuvent aller de l'érosion des terrains sous activité agricole ou en liaison avec des travaux ou aménagements, aux effets de la fertilisation et aux rejets domestiques ou industriels d'eaux usées, incluant les rejets de STEPs et d'IAA (industries agro-alimentaires).

La dernière variable sélectionnée pour représenter le gradient d'anthropisation (% Sat. O2) subit bien sûr une influence partielle de conditions environnementales (conditions lotiques turbulentes et aérées *versus* secteurs aval de cours d'eau sous l'influence de ruptures de pente).

Cependant, dans ces conditions îliennes, avec des cours d'eau de longueur modeste adossés à des secteurs collinaires voire à de forts reliefs (massifs volcaniques de forte altitude), ces cours d'eau restent sous des conditions hydrodynamiques assez soutenues sur presque toute la longueur de leur cours. Un déficit marqué de saturation en oxygène a donc peu de chance de se produire sous influence uniquement naturelle, d'autant que leur niveau trophique, hors influence spécifique d'altération anthropique, est souvent modeste.

La saturation en O<sub>2</sub> peut donc être aussi considérée comme une variable intéressante pour rendre compte des effets de l'anthropisation. En effet, cette variable d'état de la colonne d'eau est sous influence de tout impact anthropique générant de la demande en O<sub>2</sub>. Dans ces conditions, un déficit sensible de la colonne d'eau en O<sub>2</sub> dissous peut également être considéré comme un bon indicateur d'anthropisation et occasionner une dégradation des conditions de vie des différents cortèges aquatiques par rapport à un hydrosystème naturel. Une particularité de cette variable « % Sat. O<sub>2</sub> » est qu'elle est corrélée négativement aux neuf autres.

*Nota* : Dans cette sélection de facteurs abiotiques représentatifs de l'anthropisation, **nous n'avons pas pris en compte la conductivité électrique** qui, bien qu'influencée systématiquement à la hausse par les apports liés à l'altération anthropique, ne l'est que modérément par rapport à l'influence de conditions naturelles particulières qui existent sur certaines zones naturelles des Antilles (par exemple, substrats fortement carbonatés ou influence de tufs rencontrée sur la zone des Mornes de Martinique, sources thermales, influences halines littorales). De même, **le pH** est influencé par les altérations anthropiques mais est une variable trop ambiguë pour en illustrer les gradients. En effet, l'anthropisation peut provoquer des effets à la hausse ou à la baisse sur cette variable selon sa nature précise et le moment où on en mesure les effets.

Pour la réalisation de cette ACC restreinte, de la même façon que pour la réalisation de l'ACP exploratoire complète, il a été constaté que les données abiotiques brutes présentent une distribution très éloignée d'une distribution normale, très différente dans leur amplitude et souvent décentrée d'une variable à l'autre, rendant peu comparable la représentation du gradient de chacune d'elle dans l'optique d'une agrégation multivariable. Afin de rendre les gradients de variables anthropiques plus comparables entre eux, il a été décidé de transformer les données brutes selon la méthode de Yeo-Johnson. Selon les valeurs de Lambda obtenues par variable et selon un schéma décisionnel pré-établi, la méthode applique la transformation la plus appropriée pour ramener le référentiel de données de la variable considérée vers une distribution normale ou pseudo-normale (cf **Figure 4** page 14).

Seule, la variable « % **Sat. O<sub>2</sub>** », dont la distribution était quasi-normale, n'a pas été transformée. Par contre, les 9 autres descripteurs d'anthropisation mobilisés pour la mise en œuvre de l'ACC restreinte ont subi une transformation Y-J.

### **III.4-3 Données biologiques (assemblages diatomiques) :**

Avec l'ajout des données complémentaires 2012 et 2013 au jeu de données du programme de Recherche-Développement initial, **607 relevés diatomiques ont finalement été exploitables pour la sélection des espèces** (au lieu de 468 pour la première version d'IDA). En tout, après réalisation des derniers regroupements, **512 taxons différents** ont été inventoriés aux Antilles et peuvent désormais être reconnus.

Il y a une assez bonne correspondance des flores entre la Basse-Terre de Guadeloupe et la Martinique (65 genres dont 51 communs aux deux îles), du moins pour les taxons à présence non-anecdotique, qu'il est intéressant d'utiliser en bio-indication. A ce stade, environ 180 taxons sont communs aux deux îles.

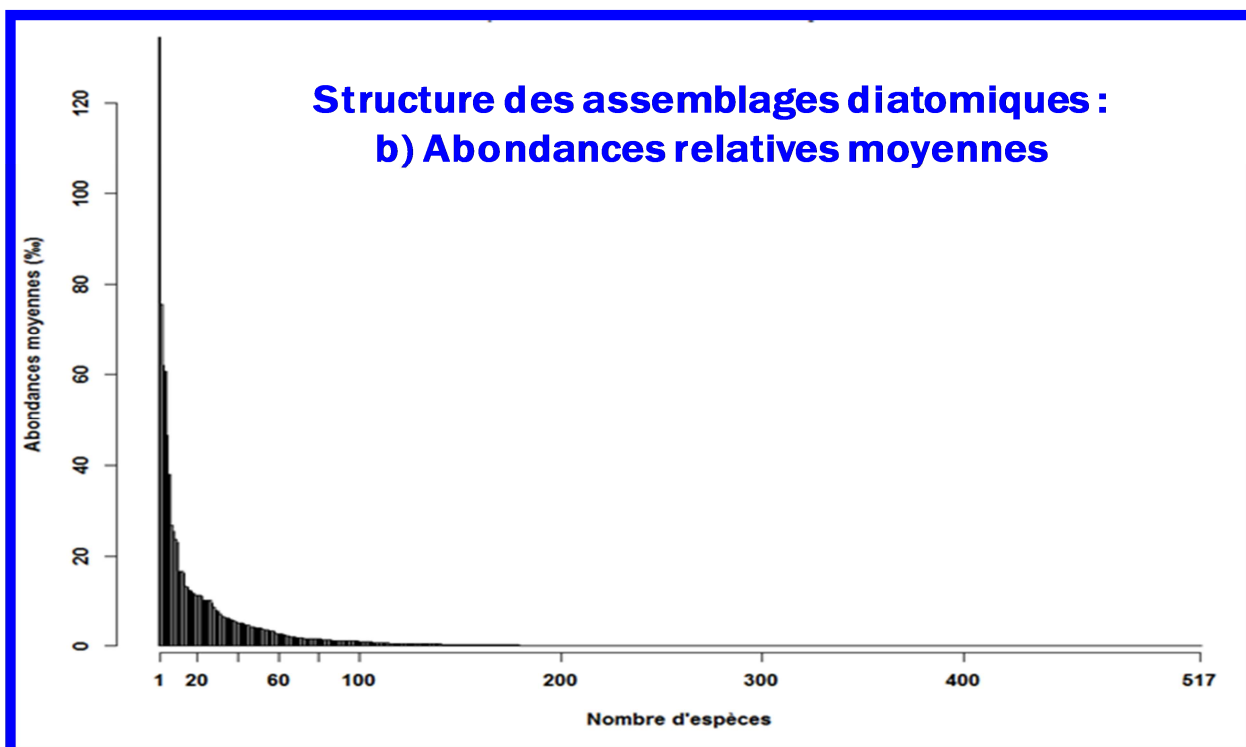
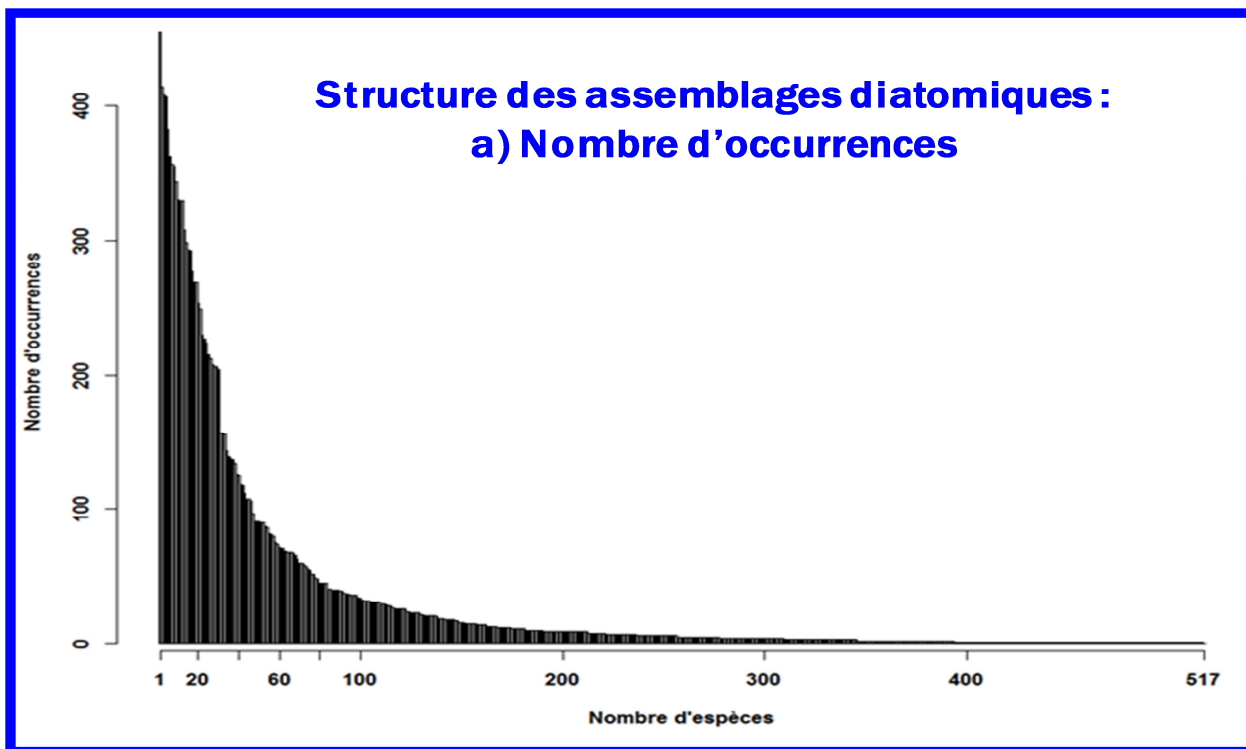


Figure 8 : Caractéristiques de distribution des taxons diatomiques des Antilles :  
a) Occurrence dans les relevés ; b) Abondances relatives moyennes

La **Figure 8** en page précédente, réalisée avant quelques derniers regroupements taxonomiques de formes très proches intervenus tardivement (517 taxons différents répertoriés au total pour l'élaboration de cette figure, réduits à 512 à l'heure actuelle) illustre bien la structure de distribution particulière des taxons diatomiques aux Antilles, très comparable à ce qui est aussi observé dans d'autres DOM-TOM îliens (Réunion, Nouvelle-Calédonie...).

D'après ces deux courbes de distribution, on peut tout d'abord faire le constat de la forte dominance d'un faible nombre de taxons, soit bien adaptés aux conditions locales dominantes, soit plus spécifiques à un contexte hydrochimique donné, mais présentes systématiquement quand ce contexte est rencontré (substrats à minéralisation faible à modérée de l'eau pour les cours d'eau des massifs volcaniques de Martinique ou Guadeloupe *versus* zone fortement minéralisée des Mornes ou de la Plaine du Lamentin en Martinique). Ainsi, répondant à ces caractéristiques, **13 espèces seulement sont occurrentes dans plus de 50% des 607 relevés exploités** (voir **Figure 8**, partie **a**), ainsi que l'**Annexe 3**, colonne « Total des occurrences »), et 10 taxons seulement dépassent 20 % d'abondance relative moyenne dans le jeu de données (voir **Figure 8**, partie **b**). Ces taxons les plus fortement présents mis de côté, la représentation des autres taxons diminue rapidement : 75 taxons seulement sont occurrents dans plus de 50 relevés, soit moins de 15 % du nombre total de taxons présents dans seulement 8% des relevés.

**Environ 85 % des 512 taxons actuellement recensés aux Antilles sont donc peu rencontrés**, au moins en termes d'occurrence, puisqu'on les trouve **dans moins de 8% des relevés**. Selon le cas, ils peuvent être qualifiés d'urbains (présents à peu de sites mais abondants dans certaines situations qui leur conviennent), et présentent dans ce cas un intérêt pour la bio-indication. De nombreux autres sont presque anecdotiques à la fois en occurrence et en abondance relative et constituent la longue queue de comète sur le côté droit des 2 diagrammes de distribution **a)** et **b)** présentés en **Figure 8**.

Cela a pour conséquence opérationnelle immédiate qu'il ne sera pas possible, pour ces taxons trop peu occurrents et/ou trop peu abondants, d'établir un profil de qualité fiable car leur distribution dans les relevés, souvent en petits effectifs, ne pourra pas être suffisamment appuyée sur des conditions abiotiques qui leur correspondent, laissant planer un gros doute sur la représentativité de l'optimum de positionnement du profil qu'on pourrait leur calculer (on a plus de chances de les retrouver plusieurs fois dans une rivière colonisée où on les a déjà trouvés, même sur des sites décalés de leur optimum écologique, que dans les bonnes conditions qui leur correspondraient dans plusieurs rivières).

Donc, afin de garantir un minimum de fiabilité aux profils de qualité calculés et de limiter la longueur de la liste de taxons participant de façon plus que marginale au calcul du nouvel indice, ainsi que celle des listes de fiches-taxon à renseigner dans le guide d'aide à l'identification (qui contiennent des informations de chorologie et d'auto-écologie liées à l'analyse du jeu de données), il a été décidé de mettre en oeuvre des seuils en-dessous desquels le taxon, non suffisamment rencontré, ne peut pas encore se voir attribuer des conditions auto-écologiques suffisamment fiables (notamment sur le plan de sa sensibilité ou de sa tolérance aux différentes catégories d'altérations anthropiques).

La **Figure 9** ci-dessous détaille l'étude réalisée sur les 2 types de seuillage envisagés : partie **a)** en haut : seuillage sur l'occurrence dans le jeu de données complet ; partie **b)** en bas : seuillage sur l'abondance relative minimale rencontrée dans au moins un relevé, et présente les niveaux de seuillage finalement retenus (en rouge).

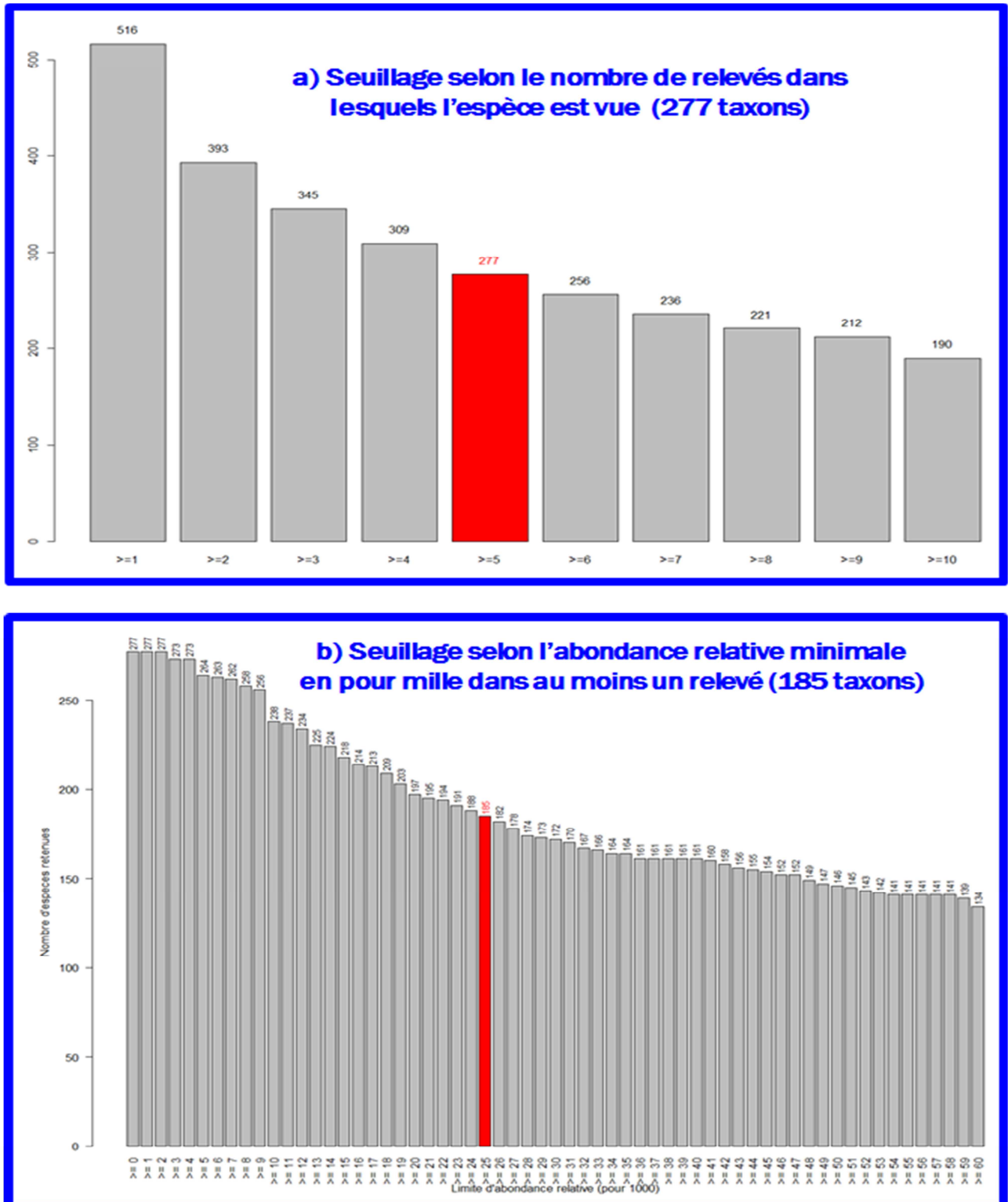


Figure 9 : Etude des seuillages de sélection des taxons contributifs à l'IDA-2 : a) selon occurrence dans le jeu de données complet ; b) selon abondance relative minimale dans au moins un relevé.



Le but de l'opération de seuillage est de préserver les **taxons intéressants pour la bio-indication** tout en réduisant la très longue queue de comète de taxons qui ne seront présents que de façon très marginale dans les relevés. Pour ces derniers, dont l'auto-écologie est encore mal cernée (trop peu de recul de données sur chacun d'entre eux), ils n'exerceraient de toute façon qu'une influence marginale sur la note indicielle finale du fait de leur rareté d'occurrence et des très faibles effectifs dans les rares relevés où ils seraient présents.

Il n'y a pas de méthode très précise sur le plan graphique pour fixer le seuil qu'il est préférable d'utiliser pour chacun de ces 2 critères, l'important au final étant d'obtenir, suite aux deux seuillages successifs, le résultat opérationnel pré-cité. Ainsi, les seuils qui ont été retenus sont des valeurs assez « rondes » qui ont le mérite d'être mémorisées facilement, leur combinaison donnant le résultat final en termes de taxons retenus pour le calcul du nouvel indice et de fiches-taxons à implémenter pour faciliter son application par de nouveaux opérateurs.

Ainsi, le premier seuil appliqué est celui d'**au moins 5 occurrences** dans le jeu de données global, et le deuxième est celui d'une **abondance relative supérieure ou égale à 2,5 % dans au moins un relevé**. Les taxons ne remplissant pas ces critères sont considérés comme d'intérêt marginal pour la bio-indication opérationnelle.

L'application automatique de ce double seuillage a conduit à la sélection de **185 taxons** pour lesquels un profil de qualité allait être calculé dans l'IDA-2. Le taxon du genre *Gomphonema* GO75, taxon présent seulement dans 4 relevés mais appartenant au type « urban », avec de fortes abondances possibles dans les relevés où il est recensé, a été rajouté par expertise car sa prise en compte ou non peut impacter assez sensiblement la note des 4 relevés concernés. De plus, on sera amenés à le rencontrer régulièrement et en effectifs non négligeables lors des suivis réguliers qui continueront de s'exercer sur le cours d'eau concerné. Il a donc été jugé préférable de l'inclure d'emblée dans le calcul de l'indice afin qu'il ne pose pas de problème ultérieur de fort effectif de comptage assorti d'une non-prise en compte dans le calcul indiciel.

La liste exhaustive des **512 taxons répertoriés aux Antilles au cours de ce programme**, incluant l'identification taxonomique à ce stade (beaucoup ayant un nom de genre mais étant encore sous numéro au niveau de l'espèce) et l'abréviation utilisée pour les inventaires, est récapitulée en **Annexe 3**. Cette annexe mentionne aussi la somme des occurrences rencontrées pour chacun d'entre eux dans le jeu complet de données, qui a été le premier des deux critères utilisés pour seuiller les taxons contributifs à l'IDA-2. Les taxons contributifs y sont figurés en trame blanche, les taxons non contributifs (trop faible représentation) apparaissent en trame grise. Enfin, 8 taxons assez représentés pour être sélectionnés mais à écologie halophile, ont été représentés d'une manière particulière (trame bleu turquoise). Il est intéressant de les connaître, car ils pourront être retrouvés à des effectifs significatifs sur certains sites sous influence littorale.

Suite au double seuillage quantitatif automatique légèrement amendé par expertise, **186 taxons** ont donc été finalement retenus pour la réalisation de l'ACC restreinte et se sont ensuite vus calculer un profil de qualité pour participer au calcul de l'IDA2 (cf **Annexe 5**). En effet, il était important de disposer d'une information minimale suffisante sur les taxons constitutifs de l'indice afin de pouvoir leur calculer un profil écologique non fantaisiste.

Les principaux éléments relatifs à ces taxons contributifs, dont certaines informations ayant permis d'en faire la sélection quantitative (score d'abondance relative cumulée et rang de classement selon ce critère), sont reprises dans des colonnes de l'**Annexe 4**, qui donne aussi les résultats des calculs de leurs profils de qualité (la procédure d'établissement des profils étant exposée un peu plus loin dans ce rapport).

Il sera bien sûr possible ultérieurement, à échéance fixée et au prix d'un nouveau travail d'analyse sur un jeu de données actualisé, de compléter cette liste avec des taxons soit nouveaux, soit à représentation jugée insuffisante au stade actuel mais qu'on aurait l'occasion de retrouver de façon plus marquante dans les inventaires à l'avenir.

Plusieurs raisons pourraient contribuer à une augmentation de détection et de comptage d'espèces jusqu'à présent marginales ou non encore repérées. Une séquence temporelle un peu inhabituelle pourrait conduire à des conditions hydro-climatiques plus favorables pour elles que celles rencontrées dans le programme initial. Il peut aussi s'agir d'espèces que l'on n'a pas encore rencontrées avec la stratégie d'établissement de réseaux et avec la pression d'échantillonnage appliquées dans le cadre de l'étude qui, dans le cadre des limites matérielles allouées, ne pouvait pas ambitionner d'inventorier et compter exhaustivement tous les taxons rares d'un réseau hydrographique. Il pourrait enfin s'agir de taxons exogènes nouvellement introduits dans ces départements, qui réussissent avec le temps à s'acclimater et à faire partie des cortèges habituels de ces cours d'eau.

Il est aussi important à ce stade de faire remarquer que les taxons les plus occurrents et/ou abondants ne sont pas forcément porteurs de la plus importante information écologique et du plus grand intérêt pour venir asseoir le diagnostic d'altération. En effet, ce sont le plus souvent des taxons plutôt euryèces (à assez large amplitude écologique), bien adaptés aux conditions environnementales dominantes dans les régions naturelles des Antilles, mais qui présentent aussi assez souvent une certaine adaptabilité et plasticité à l'altération anthropique. Ces caractéristiques font qu'on peut les trouver depuis des situations de référence qui leur conviennent jusqu'à des sites moyennement altérés.

En appui à ce constat, les 8 taxons de ce type les plus fortement représentés sur le plan du croisement occurrence / abondance, qui présentent un score d'abondance relative cumulée **supérieur à 25 dans l'Annexe 4**, voient leur positionnement écologique re-situé dans le cadre des 9 biotypes trouvés à l'aide de la SOM dans le rapport final du programme initial, pages 105 à 107. Ce sont, par ordre décroissant :

- *Nitzschia inconspicua* (NINC, score de 136,86). Cette espèce a des exigences écologiques sur le plan de la charge minérale de l'eau et de sa conductivité électrique (clusters 5 et 8) et semble aussi avoir des exigences de minimum thermique assez élevé, ce qui la rend apte à coloniser surtout les cours d'eau à forte charge carbonatée situés en faible altitude. Dans ces conditions, elle colonise depuis les cours de référence sur géologie de tufs, ou elle peut être l'espèce dominante, jusqu'à des sites moyennement pollués. Par contre, elle régresse fortement ou disparaît dans les sites à forte pollution (cluster 9), qui sortent manifestement de ses préférences. Du fait de sa préférence vers une minéralisation de l'eau de moyenne à forte, l'apparition de pollution anthropique modérée peut aider NINC à lever le facteur limitant d'une trop faible conductivité électrique dans les cours d'eau à faible minéralisation naturelle (rivières polluées sur substrats de lave volcanique, ou aval d'entrées thermales sur ces mêmes rivières).

Cependant, son message vis-à-vis de l'anthropisation étant ambigu (elle a surtout des exigences vis-à-vis de la minéralisation de l'eau et de la thermique in situ), ce n'est pas un taxon fiable pour l'indication de pollution anthropique. Aussi, comme nous le verrons plus tard, elle n'a finalement pas été retenue comme taxon d'alerte dans l'IDA-2.

- *Gomphonema designatum* (GDES, score de 76,75) et *Planothidium robustius* (PRBU, score de 27,15) ont une écologie intermédiaire dont l'optimum semble s'établir dans les zones moyennement minéralisées à l'aval des massifs volcaniques (clusters 3,4,5). Contrairement aux cinq espèces suivantes, elles sont moins présentes et rarement dominantes dans les parties amont des cours d'eau sur laves volcaniques aux eaux peu minéralisées, sauf cas particulier d'entrées thermales qui augmentent la charge minérale des eaux.
- *Cocconeis euglypta* (CEUG, score de 63,01), *Achnantheidium subhudsonis* (ADSH, score de 61,63), *Eolimna sp 06* (EO06, score de 47,37), *Eolimna sp 01* (EO01, score de 38,75), *Gomphonema bourbonense* (GBOB, score de 25,76). Ces 5 espèces présentent des préférences écologiques assez comparables, elles sont euryèces et plutôt plastiques, et on les retrouve en Guadeloupe et en Martinique dans des conditions assez similaires de cours d'eau peu minéralisés sur massifs volcaniques. Elles peuvent appartenir aux clusters 1, 2, 3, 4 (préférences écologiques correspondant à l'amont peu minéralisé et très lotique des cours d'eau à faible minéralisation implantés sur lave volcanique peu altérée) et étendre leur présence jusqu'aux situations plus minéralisées et à occupation agricole plus marquée en périphérie de ces massifs volcaniques (cluster 5),

Au bilan, donc, les espèces les plus currentes ou abondantes dans le jeu de données ont des préférences écologiques assez larges (espèces qualifiées d'euryèces) dans la mesure où l'hydrochimie de base liée au substratum géologique leur convient. Elles sont peu porteuses d'information pertinente pour le diagnostic d'effet des pollutions anthropiques. L'information intéressante au niveau du diagnostic d'anthropisation semble beaucoup plus apportée par l'apparition de certains taxons dont la présence est liée de façon non ambiguë à la présence, même très localisée, de conditions de forte altération à l'amont (exemple : aval immédiat de rejet ponctuel). Cette caractéristique du jeu de données biologique des Antilles est comparable à ce qui a été constaté à la Réunion pour l'élaboration de l'IDR. C'est dans ce contexte qu'il a été pris le parti de créer, non pas un indice qui se calculerait en fonction de la probabilité de présence de chaque taxon présent par classe de qualité (mode de fonctionnement de L'IPS et de l'IBD 2007 en métropole), mais en ciblant le calcul d'indice sur l'information d'altération apportée par l'apparition dans les relevés d'une liste restreinte de taxons d'alerte.

Suivant une pratique qui a déjà largement montré son intérêt dans le cadre d'expériences antérieures de l'équipe CARMA, la matrice biologique a subi 2 pratiques spécifiques avant sa mise en œuvre dans la réalisation de la CCA restreinte :

- Par l'application successive des 2 critères quantitatifs indiqués précédemment, la liste des espèces a été réduite à 186 taxons (dont il a été vérifié par la suite que 8 sont des taxons halins apportés par des influences littorales).

## Rapport final

- Il a ensuite été réalisé une transformation  $\log(x+1)$  sur la matrice de données biologiques ( $x_i$  = abondance relative de l'espèce  $i$ ). Cette transformation permet de modérer l'importance des trop grandes valeurs d'abondances relatives, signe d'espèces plutôt ubiquistes dans les conditions biogéographiques locales, et d'augmenter le signal porté par les abondances faibles sans altérer les importances relatives entre les différentes espèces.

Cette pratique est sous-tendue par la connaissance écologique sous-jacente suivante :

- En pratique, notamment en conditions environnementales instables, les abondances relatives des relevés peuvent être dominées par de petites espèces pionnières se multipliant très vite alors que d'autres espèces, et notamment celles de taille beaucoup plus importante, ont un temps de doublement d'effectifs beaucoup plus long. Les abondances relatives ne sont donc pas forcément un reflet représentatif des biovolumes ou biomasses par espèces d'un assemblage.
- D'autre part, certaines espèces peu abondantes de grande taille peuvent être illustratives de préférences écologiques précises, certaines peu compétitives et souvent sensibles aux dégradations de l'habitat (espèces indicatrices de très bonne qualité), d'autres souvent plus compétitives étant indicatrices nettes de l'apparition d'effets de l'altération anthropique (on peut alors parler de taxons d'alerte qui témoignent de façon non ambiguë du début de dégradation anthropique des milieux).

La pratique de cette transformation log, souvent jugée intéressante dans le cadre de démarches d'analyse biotypologique d'assemblages multi-spécifiques, a donc été employée ici dans le double objectif :

- de mieux représenter la biomasse par rapport à l'effectif (cas d'espèces d'une grande à très grande taille, ce qui limite de fait leurs valeurs d'abondance relative),
- de faire ressortir un peu plus nettement les messages écologiques intéressants souvent apportés par des espèces non dominantes dotées d'une signification écologique particulière (sensibilité à la dégradation du milieu et faible compétitivité face à des espèces plus ubiquistes *versus* taxons d'alerte commençant à apparaître avec l'existence d'une dégradation anthropique).

Au bilan, en fonction des spécificités observées de la distribution des taxons dans le jeu de données des Antilles et du faible recul-données disponible, il a été pris le parti d'adopter cette pratique afin d'amener un avantage pour le calcul du profil de qualité d'espèces moins occurrentes ou abondantes que d'autres, mais qui sont cependant porteuses d'informations structurantes pour le diagnostic de qualité du milieu.

### III.4-4 Examen de l'autocorrélation des variables :

La matrice d'autocorrélation des variables abiotiques sélectionnées comme descripteurs d'anthropisation, présentée en **Tableau 3** ci-dessous, a fait l'objet d'un examen particulier.

**Tableau 3** : Matrice d'autocorrélation de Spearman pour les 10 variables sélectionnées pour représenter les gradients d'anthropisation

Variables	C_Org	DB05	MES	NH4	NKJ	N02	N03	P04	Ptot	Sat. 02
C_Org	1	0,525	0,323	0,384	0,282	0,409	0,201	0,407	0,532	-0,229
DB05		1	0,051	0,335	0,350	0,478	0,105	0,205	0,503	-0,103
MES			1	0,081	0,090	-0,054	0,359	0,498	0,087	-0,310
NH4				1	0,362	0,627	0,002	0,282	0,424	0,023
NKJ					1	0,376	0,052	0,242	0,528	-0,102
N02						1	0,124	0,166	0,506	-0,029
N03							1	0,411	0,200	-0,087
P04								1	0,475	-0,248
Ptot									1	-0,121
Sat. 02										1

Code couleurs :

Noir : $X < 0,20$	Bleu : $0,20 < X < 0,35$	Orange : $0,35 < X < 0,50$	Rouge : $X > 0,50$
-------------------	--------------------------	----------------------------	--------------------

Si l'étude des auto-corrélations a souvent été utilisée comme une aide à la simplification ultérieure d'analyses par une sélection des variables à la fois pertinentes et les moins redondantes, elle n'a rien d'un processus automatique seuillé et doit faire appel à de l'expertise basée sur la bonne connaissance des relations cause(s)-effet(s).

En effet, l'auto-corrélation peut avoir deux origines complètement différentes :

- Deux variables peuvent être liées de façon organique par des processus, l'une dépendante de l'autre et les deux étant porteuses d'une information comportant une part importante de redondance pour raison de causalité (par exemple, il peut y avoir une relation statistique cause-effet de la DBO5 sur la saturation en oxygène, la première induisant une corrélation négative sur la 2<sup>ème</sup> en cas de conditions de milieu peu favorables à la ré-oxygénation de l'eau).
- Il est aussi possible de rencontrer des « corrélations » apparentes uniquement liées à une co-évolution fortuite de variables dans les conditions spécifiques du jeu de données et de la distribution des sites des réseaux dans l'étude particulière en cours. Dans ce cas, ces variables n'apportent pas une information spécialement redondante mais sont simplement le signe de cette co-évolution non-organique liée aux particularités locales du jeu de données (distribution du réseau de terrain dans le contexte spécifique local, co-existence de co-gradients sans relations cause-effet entre eux).

Il serait dans ce cas dommageable de simplifier hâtivement l'assortiment de variables sur la base des  $R^2$  entre variables, en assimilant de façon mécanique à une corrélation et à une redondance d'information ce qui ressort simplement d'une co-évolution factuelle de facteurs dans le contexte du jeu de données locales, sans véritable lien de cause à effet.

Comme on pouvait s'y attendre *a priori* (colonne la plus à droite du **Tableau 3** page précédente), l'examen des valeurs d'autocorrélation montre bien une **corrélation négative du pourcentage de saturation en oxygène de l'eau avec la plupart des autres variables d'anthropisation retenues**. Cependant, la liaison n'est pas directe, elle n'est jamais forte et peut être qualifiée de modérée (couleur bleue) ou faible à nulle (couleur noire). C'est le signe que malgré l'altération et son intensité, les conditions environnementales locales viennent assez fortement moduler les valeurs de cette variable. Par exemple, des conditions locales de renouvellement et de brassage de l'eau liées à un tronçon à assez forte hydrodynamique et / ou à la saison (saison des pluies à écoulements soutenus *versus* saison sèche à étiage prononcé) peuvent compenser en partie une demande biologique ou chimique en oxygène et atténuer le déficit en O<sub>2</sub> de la colonne d'eau. Inversement, dans un secteur aval calme et en période d'étiage liée à la saison sèche, une demande en O<sub>2</sub> assez modérée se traduira par un déficit en O<sub>2</sub> dissous dans la colonne d'eau. C'est la forte influence des conditions spatio-temporelles locales qui vient diminuer la qualité de la relation entre le pourcentage de saturation en O<sub>2</sub> et les 9 variables directes d'anthropisation retenues.

Cette variable est le plus associée à la teneur en MES, ce qui peut résulter pour partie d'une situation aval des sites concernés divergeant le plus des valeurs normales pour ces 2 paramètres (conditions lenticules, charge en particules liée à des effets diffus de l'agriculture et de l'érosion des terrains), et pour partie de situations à l'aval de rejets de STEP, qui émettent notamment une charge en MES et génèrent statistiquement une certaine demande en oxygène avant de pouvoir aboutir à l'auto-épuration complète des rejets. De façon logique, en liaison avec les natures d'altération précitées, les variables suivantes les plus corrélées à la saturation en O<sub>2</sub> sont la teneur en orthophosphates et en carbone organique.

Enfin, les STEPs ou les infrastructures agro-alimentaires polluantes sont raccordées à des réseaux de collecte gravitaires et se situent le plus souvent à l'aval des bassins versants, à faible altitude et plus faibles pentes à l'approche de la bande littorale (contexte également favorable à la présence de teneurs accrues en MES).

Concernant l'examen des autres descripteurs d'anthropisation, les plus forts coefficients d'autocorrélation entre variables ont été figurés en rouge (valeurs fortes supérieures à 0,5) et en orange (entre 0,35 et 0,5). Entre 0,35 et 0,20 (corrélation modérée), les valeurs ont été figurées en bleu et les corrélations faibles à nulles (<0,20) sont reportées en couleur noire.

Beaucoup de variables apportent une information en propre qui domine sur la part de redondance d'information.

La plus forte autocorrélation constatée, signalée en rouge, s'établit entre NO<sub>2</sub> et NH<sub>4</sub>, signant les pollutions composites de type STEP, industries agro-alimentaires dont les rejets sont en cours de minéralisation et libèrent des formes transitoires d'azote, soit complètement réduites (NH<sub>4</sub>, résultant de l'ammonification de l'azote issu de la matière organique), ou encore incomplètement oxydées (NO<sub>2</sub>).

A l'instar des 2 précédentes, les variables qui présentent des valeurs les plus importantes de coefficient d'auto-corrélation (valeurs figurées en couleur rouge ou en orange) illustrent le fait qu'aux Antilles, les pollutions sont le plus souvent composites (ici encore, rejets de STEPs, d'industries agro-alimentaires, rejets domestiques diffus et rejets d'élevages...) et associent matière organique, formes du phosphore, carbone organique, formes de l'azote...

On peut ainsi constater un degré relativement conséquent d'autocorrélation entre C Org, DBO5, P Tot, PO4, NO2 et dans une moindre mesure NH4, traduisant cette dominance de rejets mixtes associant matière organique en cours de minéralisation et diverses formes de nutriment minéraux transitoires, encore non complètement oxydés, apparaissant au cours du processus d'auto-épuration.

La présence forte de nitrates, forme la plus oxydée de l'azote, suit un autre patron d'organisation. Elle n'est fortement liée avec aucun autre paramètre. Ses liaisons les plus notables sont constatées avec le PO4 (0,411) et avec les MES (0,359), traduisant indirectement le fait que les situations les plus typiques de pollution diffuse par les nitrates sont associées avec des sites localisés les plus à l'aval de bassins versants. L'origine peut en tenir d'une part à la fertilisation agricole (lien de la teneur en NO3 avec le phosphore soluble et l'érosion de MES, venant refléter l'intensité des pratiques agricoles sur le territoire du bassin versant) et d'autre part à la minéralisation complète de toute autre pollution azotée diffuse venant de l'amont (notamment domestique, d'élevage) jusqu'à la forme d'azote la plus oxydée, l'azote nitrique.

Au bilan, si bien sûr une part de redondance existe, elle est loin d'être complète. En effet, chacun de ces descripteurs est porteur d'information générale ou parfois assez spécifique sur l'intensité de tel ou tel type d'altération anthropique. Il a donc été jugé pertinent de les conserver et de cumuler l'information dont ils sont porteurs pour représenter, de manière composite et globalement intégrative, le gradient d'altération anthropique présent aux Antilles.

### III.4-5 Résultats de l'ACC restreinte :

Pour se résumer, cette analyse met en relation 3 bibliothèques d'informations :

- des informations descriptives générales sur les stations et relevés (sites x dates) (nom de la station, du cours d'eau, de la commune, abréviation du site, du relevé, descripteurs permanents à la station, observations à la date du relevé (faciès, condition hydrologique, vitesse de courant, condition lumineuse etc...),
- des informations abiotiques résultant de mesures physico-chimiques *in situ* ou d'analyses chimiques de l'eau, représentatives des conditions hydrochimiques de vie dans le cours d'eau à une date de mesure et d'échantillonnage donnée (dans cette ACC restreinte, les informations utilisées se restreignent aux 10 variables retenues comme descripteurs d'anthropisation),
- des informations relatives à la composition spécifique des assemblages diatomiques à la même date, après sélection des 186 taxons ayant dépassé le double seuil de sélection (qui porte à la fois sur l'occurrence dans tout le jeu de données et sur l'abondance relative minimale sur au moins un relevé).

L'examen de la **Figure 10** ci-dessous montre un patron de structuration des variables abiotiques dites « d'anthropisation » du même type que celui qu'on l'avait déjà observé dans l'ACP complète.

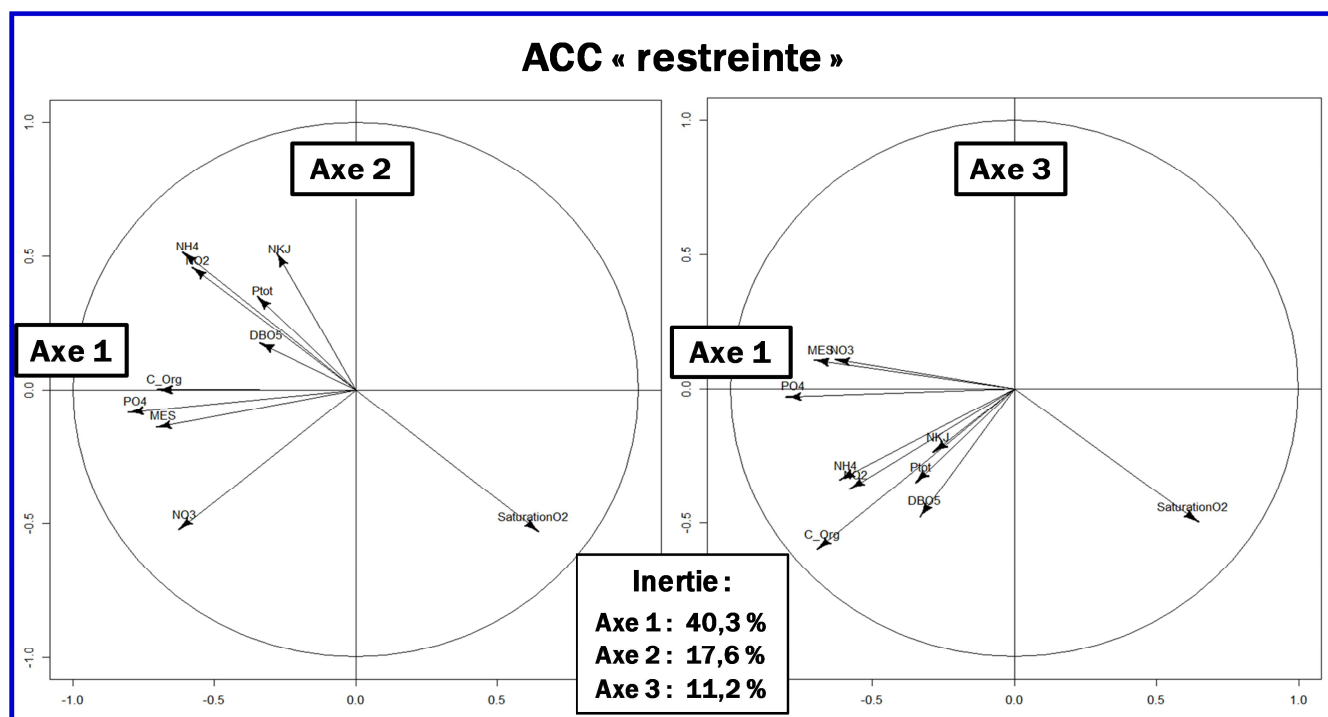


Figure 10 : Physionomie des vecteurs de variables abiotiques dans l'ACC restreinte

Le pourcentage de saturation en oxygène est plus ou moins opposé au gradient des 9 autres variables d'anthropisation, en particulier sur le croisement (Axe 1 \* Axe 2).

La seule variable atypique par rapport à ce patron dominant est la variable NO<sub>3</sub>, orthogonale à cette tendance et dont la teneur ne semble pas liée du tout à une désoxygénation de l'eau.

C'est assez logique, cette forme d'azote étant complètement oxydée, donc non-susceptible d'induire une déplétion supplémentaire en oxygène.

A noter qu'on trouve plus couramment ce type de pollution à l'aval des bassins versants soumis à des pollutions diffuses agricoles liées à la fertilisation des parcelles (lixiviation et export de nitrates), ou en liaison avec des pollutions ponctuelles, **soit ayant fait l'objet d'un traitement épuratoire spécifique plus élaboré que dans la pratique usuelle** (procédé incluant une étape de nitrification), **soit qui ont eu le temps d'être largement auto-épurées dans le milieu naturel** par la minéralisation complète des matières organiques azotées, après réalisation de l'étape ultime de nitrification.

Concernant l'influence des variables abiotiques, on peut remarquer qu'une part plutôt importante de l'information structurante de cette ACC restreinte est prise en charge par le croisement des 2 premiers axes (près de 58 %), et tout particulièrement par l'Axe 1 (40,3 %).



Cet Axe 1 (axe figuré horizontalement) prend donc en charge une représentation assez correcte et intégrative du gradient d'à peu près toutes ces variables. Au long des Axes 2 et 3, par contre, on peut noter une prise en charge plus différentielle des variables, ce qui rend ces axes intéressants car ils sont plus porteurs d'éléments typologiques sur des natures diverses de pollution :

- Par exemple, l'Axe 2 est complètement orthogonal aux gradients de MES, C Org, PO<sub>4</sub>, ce qui signifie qu'il ne les prend pas du tout en charge. Par contre, il propose une certaine prise en charge de typologie de pollutions, en opposant plusieurs descripteurs assez typiques de pollution domestique et de STEPs vers le haut (par ordre d'importance, NH<sub>4</sub>, NKJ, NO<sub>2</sub>, P Tot, DBO<sub>5</sub>) et la pollution diffuse par les nitrates (vers le bas).
- L'Axe 3, pour sa part, refléterait aussi un patron différent entre pollution par les MES associées aux nitrates (pollution diffuse agricole typique d'aval de bassins versants, vers le haut) et les pollutions ponctuelles composites de rejets d'eaux usées de type STEPs, industries agro-alimentaires, pollutions domestiques (autres descripteurs, orientation dominante vers le bas de cet axe).

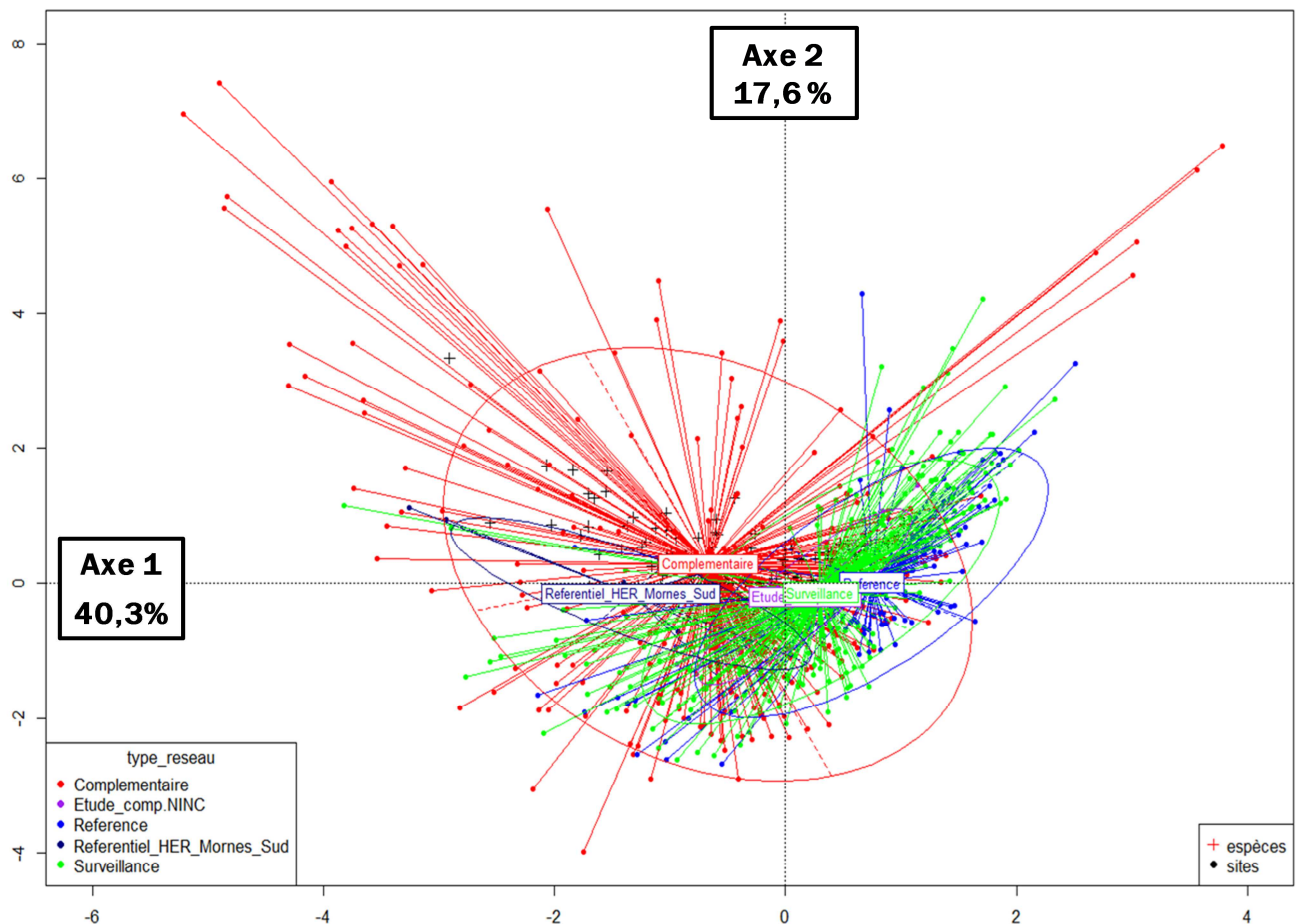
Cependant, ces 2 nouveaux axes prennent déjà en charge une part déjà assez minoritaire d'information structurante sur le gradient global d'anthropisation (à eux deux, 28,8 % de l'information structurante) par rapport à l'Axe 1, qui à lui seul représente 40,3 % de la variance expliquée de l'analyse. Il faut de plus remarquer que cette analyse ne permet pas vraiment d'isoler proprement des catégories typiques de pollutions sur un axe ou un autre. Enfin (non montré ici), la contribution des axes suivants de l'analyse à partir de l'Axe 4 diminue pour devenir rapidement négligeable sur le plan quantitatif et de plus, inintelligible sur le plan écologique.

Aussi, afin de représenter la contribution des variables dans l'analyse et pour élaborer de façon judicieuse un gradient composite d'anthropisation, **il a été décidé d'utiliser de façon intégrée l'information structurante des variables d'anthropisation portée par les 3 premiers axes de l'analyse** (cf plus loin le paragraphe dédié à l'élaboration du gradient).

En recouplement avec la partie gauche de la **Figure 10** présentée à la page précédente, la **Figure 11** page suivante permet d'étudier l'organisation de la structure des données de relevés dans le plan croisant les informations des axes 1 et 2 de cette ACC restreinte, en fonction du type de réseau auquel appartiennent les sites de prélèvement.

Pour chaque type de réseau, une ellipse est tracée dont le centre correspond au centre de gravité du type de relevé. La longueur des axes égale 1,5 fois la racine des valeurs propres de la matrice de covariance, c'est-à-dire 1,5 fois l'écart-type des coordonnées des projections sur les axes.

La distribution des relevés (site x date) de référence, figurés en bleu, forme une ellipse allongée dont, malgré la non-prise en compte directe des valeurs d'hydrochimie naturelle dans cette analyse, la plus grande longueur correspond à la représentation du gradient de conductivité et de carbonatation naturelle des eaux du domaine de référence.



**Figure 11 : Projection des relevés dans la CCA restreinte (croisement Axe1 x Axe 2) selon le type de réseau**

Ainsi, la partie du nuage bleu située en haut à droite correspond aux situations de référence aux eaux naturelles les moins minéralisées et carbonatées de tout le jeu de données Antilles, surtout situées sur le massif volcanique de la Basse-Terre en Guadeloupe.

Les sites de référence du massif volcanique de la Montagne Pelée en Martinique occupent un positionnement intermédiaire (eaux en général un peu plus minéralisées qu'en Guadeloupe). Les relevés situés le plus en bas à gauche de ce nuage correspondent aux sites aux eaux les plus minéralisées qu'il est possible de rencontrer en situation de référence, localisés dans la région des Mornes de Martinique (hydrochimie naturelle très marquée par les placages de tufs).

On peut noter que quelques relevés sites-dates du réseau complémentaire (figuré rouge) ou du réseau « Référentiel Morne Sud » (figuré noir) suivis en 2013 viennent conforter ou même augmenter l'étendue de ces situations de référence aux 2 extrémités. C'est normal, certains sites ayant été choisis spécifiquement pour renforcer la représentation des conditions de référence ou pseudo-naturelles du jeu de données initial, notamment dans la zone des Mornes de Martinique (rajout de sources fortement minéralisées) ou dans d'autres conditions géochimiques particulières.

Certains de ces points noirs et rouges, qui correspondent à de vraies situations de référence pour la zone (sources très minéralisées typiques du contexte géochimique des Mornes de Martinique) viennent étendre la largeur du nuage de référence vers le bas et la gauche du plan.

D'autres sites complémentaires ont été choisis pour venir mieux renseigner l'écologie de l'espèce *Nitzschia inconspicua* (NINC) en Martinique et Guadeloupe et en particulier pour illustrer les facteurs limitants de la présence de cette espèce en liaison avec l'absence ou la présence de pollutions, l'altitude, le niveau de minéralisation de l'eau.

Situés dans ou au-delà de l'aire d'extension du nuage de référence vers le haut et la droite, les points les plus éloignés représentent des sites amont de cours d'eau très peu minéralisés situés sur des laves peu altérées du massif volcanique de Guadeloupe (relevés du Site Rivière Rouge à Matouba – ROMg- , comme on peut le repérer un peu plus loin sur la **Figure 13** du rapport).

L'ellipse des sites de surveillance (réseau RCS) correspond à des cours d'eau faiblement à moyennement altérés. De ce fait, selon le statut du site, l'intensité des usages anthropiques saisonniers et la loi de dilution liée à l'hydrologie saisonnière, les relevés peuvent se positionner depuis la condition de très bon état (idem relevés de référence) jusqu'à une situation sensiblement plus altérée (points situés vers le haut et la gauche de cette ellipse).

Cependant, comme ces sites de ce réseau RCS sont choisis pour représenter un état moyen représentatif des cours d'eau des Antilles à rapporter périodiquement auprès de l'Union Européenne, ils conservent des conditions assez dilutives caractéristiques des cours d'eau des Antilles d'une certaine taille et ne correspondent donc pas aux situations de pollution les plus aigües du jeu de données.

Par contre, certains points du réseau complémentaire ont été choisis spécifiquement pour essayer de prendre en compte les situations les plus polluées qu'il est possible de rencontrer en Martinique ou en Guadeloupe (aval immédiat de STEPs, de rejets d'industries agro-alimentaires, de lotissements à système d'assainissement défectueux etc...). Le but recherché était d'augmenter, dans le jeu de données disponible, la représentation des gradients de pollution jusqu'aux situations les plus altérées qu'on peut trouver aux Antilles, et de bien repérer les espèces indicatrices des plus fortes pollutions.

Ainsi, les points rouges situés le plus en haut à gauche du plan factoriel représentent les relevés ayant subi les plus forte pollutions qu'il est possible de trouver dans ces cours d'eau. Leur situation précise dans ce quart de plan est variable selon la typologie et l'intensité d'altération rencontrée à ce point et à cette date.

Un schéma interprétatif simplifié de la structuration spatiale des relevés (site x date) (losanges noirs) et des espèces (croix rouges) dans ce plan factoriel est proposé sur la **Figure 12** en page suivante.

## ACC restreinte : variables abiotiques, relevés et taxons

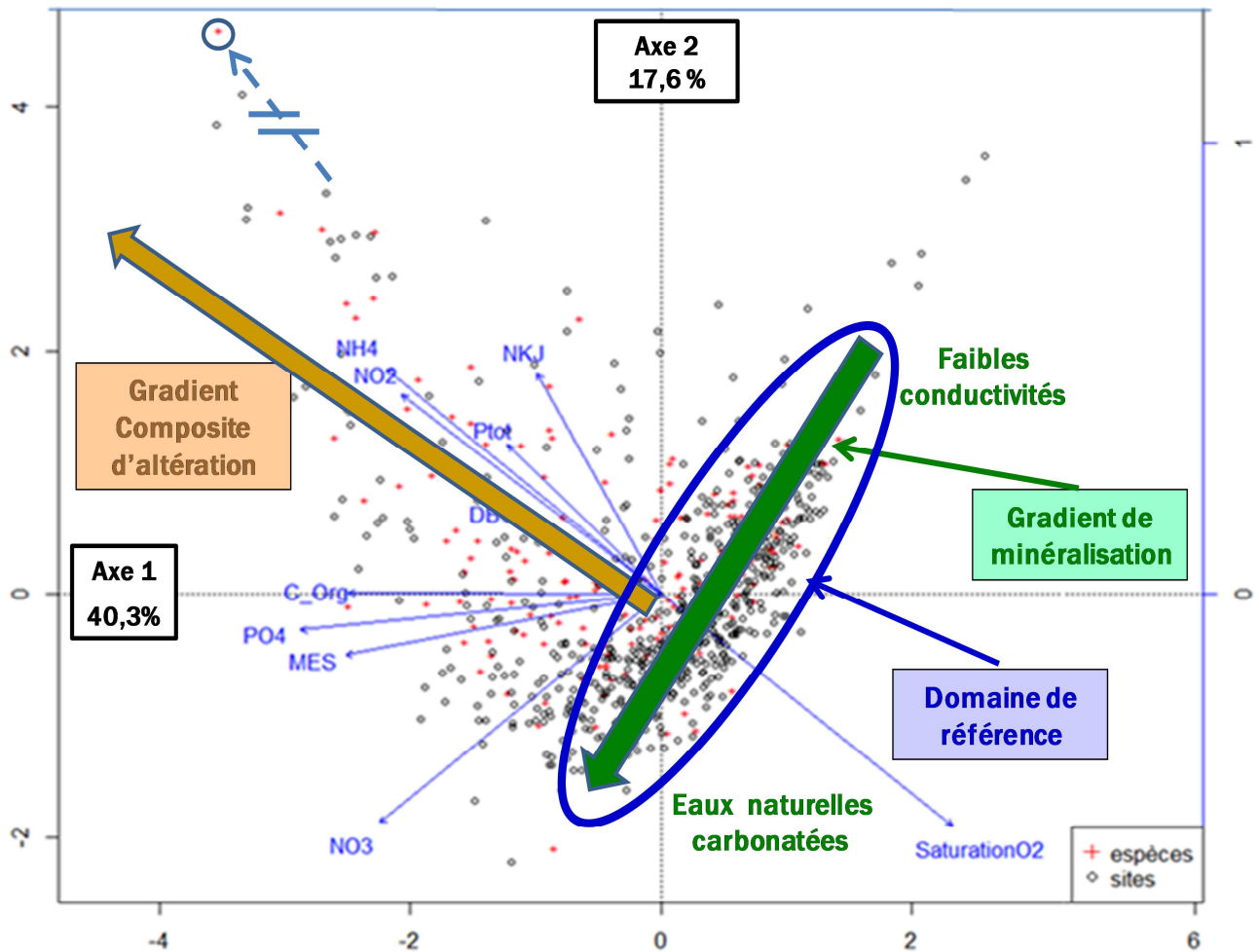


Figure 12 : Interprétation schématique des gradients contenus dans le premier plan factoriel de l'ACC restreinte (basée sur les 10 variables d'anthropisation)

**Remarque :** Un taxon particulièrement présent dans quelques relevés du site à l'aval de la STEP de Ste Luce en Martinique (FHSm), *Nitzschia sp 50* (NI50), était projeté à une grande distance du reste du nuage d'espèces, son intégration en distance réelle écrasant le reste du nuage. Il a donc été repositionné manuellement avec interruption de son axe directionnel, afin de pouvoir mettre l'échelle relative du nuage de taxons plus en rapport avec celle du nuage de relevés et de rendre plus lisibles les étiquettes de positionnement des relevés et des taxons (renseignées en clair en **Figure 13** page suivante).

Selon le degré de minéralisation des eaux des régions naturelles des Antilles, les situations de référence correspondent au domaine couvert par l'ellipse bleue et s'étendent de cours d'eau faiblement minéralisés sur laves peu altérées des massifs volcaniques (partie en haut à droite de cette ellipse) jusqu'à des eaux naturelles très minéralisées de la Zone des Mornes de Martinique (eaux de lixiviation des placages de tufs qui recouvrent cette région naturelle, partie en bas à gauche de cette ellipse).

Le gradient composite d'anthropisation (flèche marron) s'étend depuis la zone de référence jusqu'au secteur en haut à gauche du plan factoriel, les points les plus extrêmes correspondant aux sites les plus pollués. On peut constater que la typologie des pollutions influe sur le positionnement des relevés et des espèces, les cas de plus forte pollution correspondant à des STEPs sous influence de pollutions plutôt azotées (NKj, NH4, NO2) et amenant une charge de P total, et d'autres sites pollués s'étirant plus vers la partie gauche de l'axe 1 (pollutions de STEPs, d'élevage ou d'IAA plus organiques et fortement influencées par PO4, MES et COrg).

La **Figure 13** ci-dessous et la **Figure 14** page suivante permettent d'identifier certains relevés illustratifs des principaux gradients résumés en **Figure 12**, ainsi que quelques espèces fortement illustratives de ces conditions environnementales particulières.

### ACC restreinte : variables abiotiques et relevés

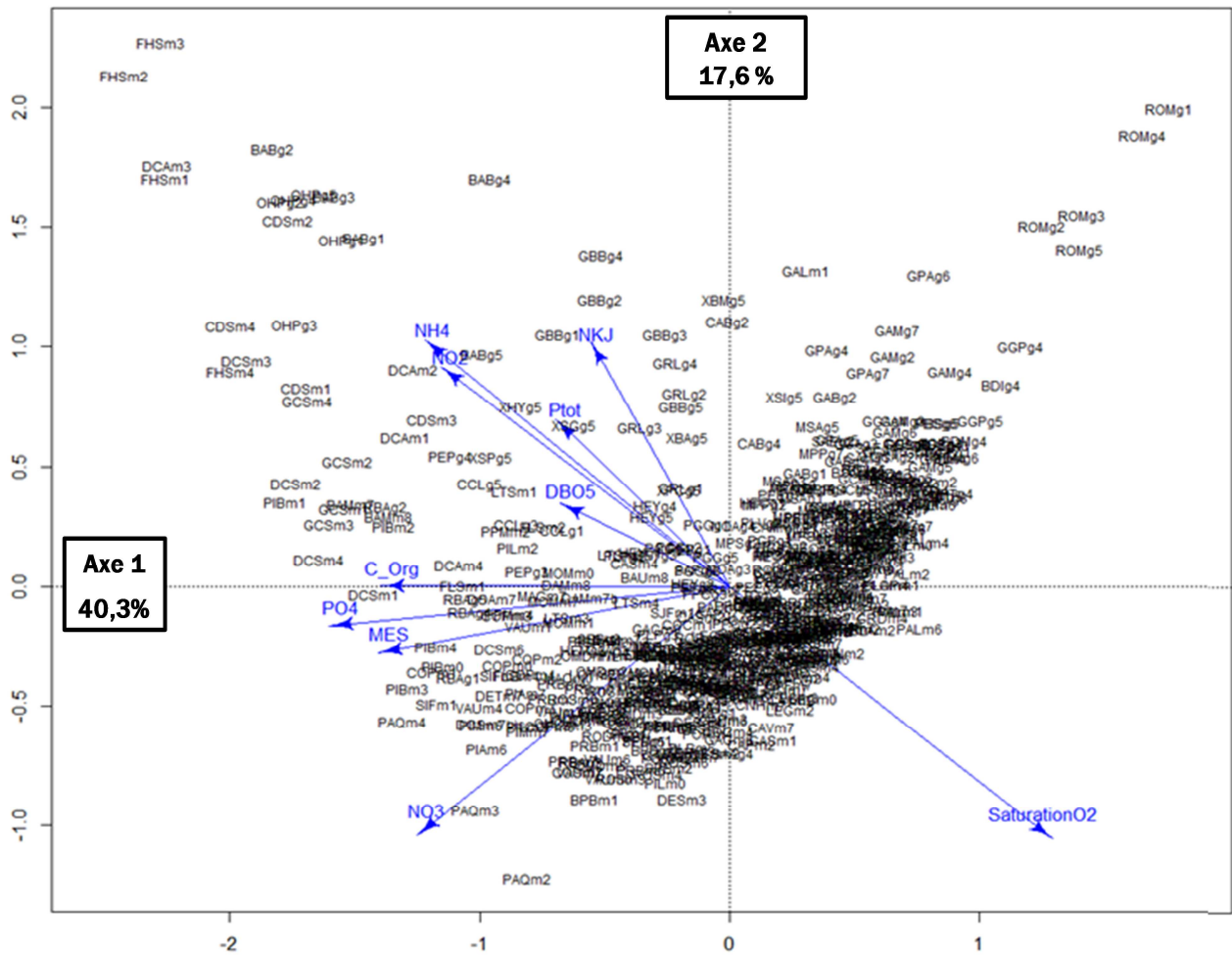


Figure 13 : Projection des relevés (site x date) dans le 1er plan factoriel de l'ACC restreinte

Ainsi, à la partie haute de l'ellipse de référence matérialisée en bleu dans la **Figure 12**, Certains relevés des sites GGPg (Grande Rivière à Goyave), BDlg (Bras Rivière à David aval - INRA), GAMg (Rivière Grande Anse amont), toutes situées sur substrats de laves peu altérées du Massif volcanique de Guadeloupe, correspondent à des sites de référence ou de TBE aux eaux très peu minéralisées.

Des taxons plutôt acidobiontes aimant les eaux peu minéralisées et les conditions oligotrophes se retrouvent dans le secteur correspondant de la **Figure 14** ci-dessous, comme *Eunotia exigua forme 1* (EEX1), *Eunotia exigua* (EEXI), *Gomphonema sp82* (GO82) etc ...

### ACC restreinte: variables abiotiques + taxons

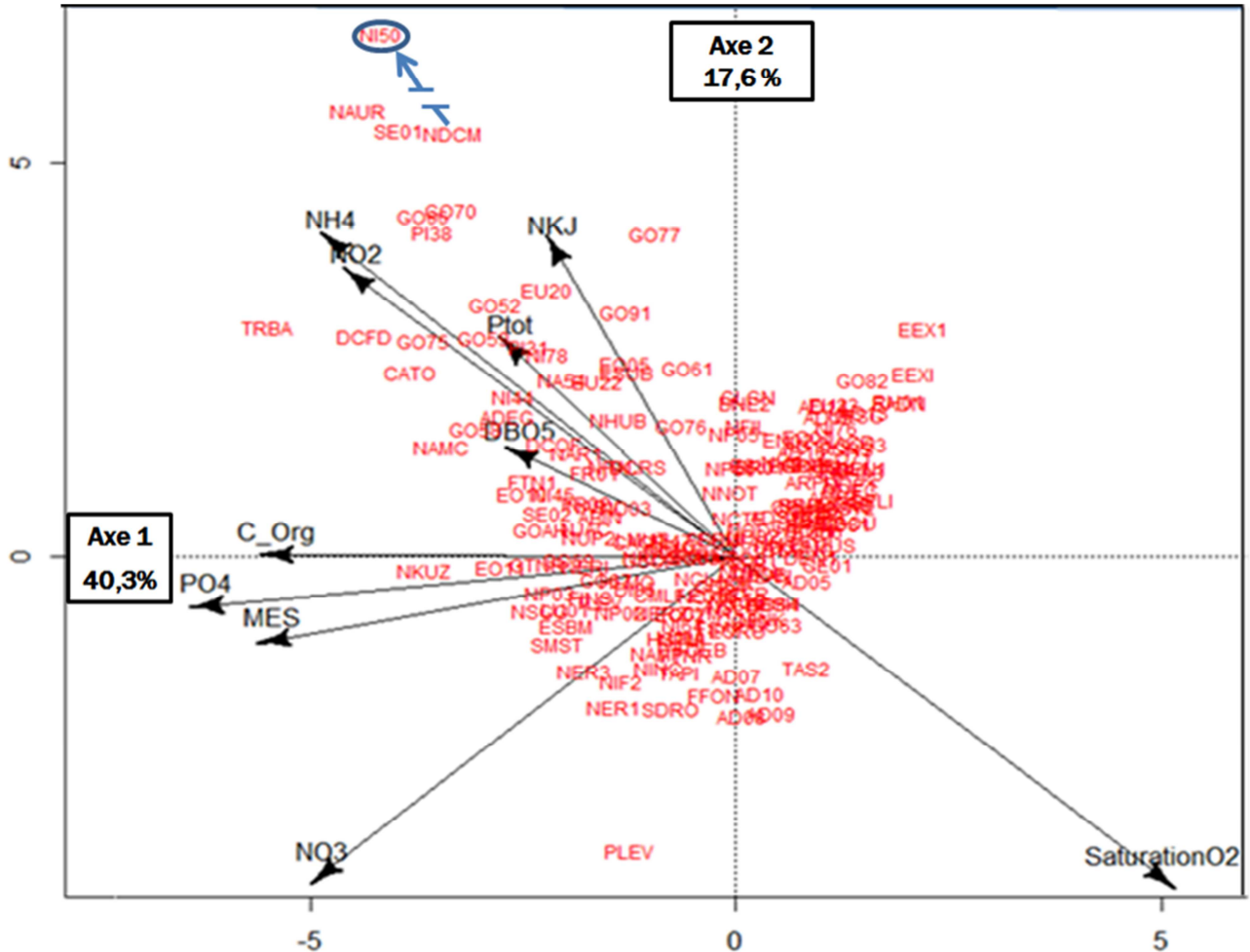


Figure 14 : Projection des espèces dans le 1er plan factoriel de l'ACC restreinte

A l'autre extrémité (vers le bas et la gauche) de l'ellipse bleue de référence telle que représentée en **Figure 12**, on retrouve en **Figure 13** des relevés de sites très minéralisés représentatifs de conditions géochimiques particulières (placages de tufs) pouvant être considérés comme de référence ou en très bon état (TBE) à certaines dates, comme PAQm (Paquemar), PILm (Rivière-Pilote amont), VAUm (Vauclin au Pont D5)...

On peut aussi trouver dans ce secteur du plan factoriel des relevés représentatifs de conditions indemnes de pollutions trophiques ou organiques, hors nitrates, que l'on peut retrouver à certaines dates sur certains sites de surveillance ou de réseau pesticide.

En sortant du domaine de l'ellipse bleue dans le secteur en bas à gauche, on tombe sur des sites à la fois sous l'influence d'une forte minéralisation naturelle et pouvant être soumis à une charge plus importante en nitrates (cf orientation de cette variable abiotique dans l'ACC).

Le gradient de nitrates suit assez logiquement le gradient d'altitude amont-aval donc concerne plus particulièrement des sites situés à l'aval de bassins versants, ou étant implantés à faible altitude sur la région des Mornes de Martinique. Le site de Paquemar (PAQm), situé à une altitude modérée, subit à certaines dates ce type d'influence, ainsi que les relevés DESm3 (Quartier Desroses, 3<sup>ème</sup> campagne), BPBm1 (Amont Bourg Basse Pointe), PIAm6 (Rivière Pilote amont bourg...).

Dans ces eaux fortement minéralisées et, pour certaines, sous influence de nitrates, on peut retrouver des taxons comme *Navicula erifuga forme 1* (NER1), *Nitzschia frustulum forme 2* (NIF2), *Fragilaria fonticola* (FFON), *Simonsenia delognei* (SDRO), *Tryblionella apiculata* (TAPI). Un assez grand nombre d'autres espèces également typiques de ces conditions hydrochimiques très minéralisées, dont *Nitzschia inconspicua* (NINC) apparaissent dans une partie plus dense du nuage et sont ainsi plus difficiles à faire ressortir de l'observation de cette figure. Leur écologie de l'altération (conditions plutôt naturelles versus influence des nitrates) a pu cependant être bien repérée dans une phase suivante de la démarche, via le calcul de profil tiré de cette ACC restreinte.

En s'orientant vers le haut et la gauche de ce plan factoriel, on arrive dans une zone de relevés (site x date) sous forte incidence anthropique. Deux typologies de pollutions dominantes émergent en fonction de la localisation des projections de relevés par rapport aux vecteurs de variables d'anthropisation, à savoir :

1) **relevés sous l'influence de pollution par des nutriments azotés non complètement oxydés** NKJ, NH<sub>4</sub> et NO<sub>2</sub> (d'où une influence conjointe de demande biologique en oxygène ou DBO5 et l'opposition radiale avec la saturation en O<sub>2</sub> dissous) **et par les teneurs les plus importantes en P total**, comme l'aval de la STEP de Ste Luce (FHSm), l'aval de l'abattoir de volailles sur la rivière Deux Courants à certaines dates (DCAm), Rivière Baret à Bellevue (BABg), Ravine de Onze heure à Petit-Bourg (OHPg), Ravine Grand Boucan à la Boucan (GBBg), liste non exhaustive... Dans ces situations de pollutions plutôt azotées en voie active de minéralisation, on peut retrouver par exemple les espèces suivantes : *Nitzschia sp 50* (NI50), *Nitzschia aurariae* (NAUR), *Sellaphora sp1* (SE01), *Naviculadicta cosmopolitana* (NDCM), *Gomphonema sp 52* (GO52), *sp 59* (GO59), *sp 70* (GO70), *sp 75* (GO75), *sp 77* (GO77), *sp 91* (GO91), *Pinnularia sp 38* (PI38), *Diademsis confervaceoides* (DCFD), *Cyclotella atomus* (CATO), *Eunotia sp 20* (EU20)...

A noter qu'on peut noter la présence de certains taxons (dont NAUR) crédités d'une écologie halophile, indiquant l'influence haline littorale exercée sur certains de ces sites aval très pollués.

2) En revenant plus bas, s'alignant sur la gauche de l'axe 1, on note une autre typologie d'influence anthropique plutôt représentative de **pollutions associant matières organiques fraîches, orthophosphates et MES**. Ce type de pollution est plutôt représentatif d'effluents domestiques et d'élevage, d'équipements de STEPs à dimensionnement insuffisant et/ou à qualité de traitement non optimale, par exemple sur le plan de la rétention des MES et/ou ne prenant pas en charge le traitement complémentaire des orthophosphates.

Ce type de pollution traduit une forte influence du PO<sub>4</sub> (formulations lessiviées, effluents domestiques et de STEPs, effluents d'élevage, engrais agricoles), on y rencontre les teneurs les plus élevées en carbone organique (idem + effluents d'IAA) et en MES (STEPs à traitement défectueux, sites aval de bassins versants + érosion agricole). Des sites emblématiques de ce type de pollutions, d'après recoupement de la **Figure 12** et de la **Figure 13**, sont par exemple Deux Courants aval Pont Séraphin (DCSm), l'aval de la STEP Vauclin 2 (GCSm), l'aval du bourg de Rivière Pilote (PIBm), Deux Courants aval Abattoir de volailles (DCAm), Fond Lahaye aval STEP Schoelcher2 (FLSm) en Martinique ; Canal issu Caféière – Distillerie Lonqueteau (CCLg) et Ravine Bleue, aval élevage de ouassous (RBAg) en Guadeloupe (listes non-exhaustives).

Dans ce secteur de la **Figure 14**, une assez forte superposition gêne la lecture facile de vignettes de taxons pourtant situées en bordure de nuage. Il est cependant possible d'en identifier quelques-unes dont *Nitzschia kurzii* (NKUZ), *Eolimna sp11* (EO11), *Nitzschia palea forme 3* (NP03), *Gomphosphaenia tenerrima* (GTNR), *Fallacia insociabilis* (FINS), *Nupella sp02* (NUP2), ainsi que *Gomphosphaenia oahuensis* (GOAH) dont la présence s'explique plutôt par une influence littorale haline dans certains relevés aval de sites pré-listés. Dans les espèces qui précèdent, certaines sont indiscutablement associées à un impact anthropique marqué (NKUZ, NP03, FINS), d'autres ont une écologie plus plastique et peuvent être retrouvées dans un gradient large de conditions trophiques (ex : GTNR), d'autres enfin seraient représentatives d'eaux de plutôt bonne qualité en conditions fortement minéralisées (ce serait plutôt le cas d'EO11, NUP2).

Comme on vient de le remarquer sur l'analyse de ce dernier type d'altération anthropique, l'examen des caractéristiques d'écologie de l'altération des taxons d'après ces 3 figures n'est donc qu'une première ébauche destinée à repérer et à commenter la co-structure et la co-évolutions des données dans le premier plan factoriel de l'ACC restreinte au long des gradients abiotiques pris en charge dans cette analyse (c'est-à-dire ceux relatifs aux 10 variables abiotiques d'anthropisation prises en compte ici).

Mais il faut garder en tête que ce premier plan ne contient pas la totalité de l'information structurante portée par les variables prises en compte (ce premier croisement d'axes en porte un peu moins de 58%). D'autre part, des variables abiotiques représentatives de variations naturelles autres que les gradients d'anthropisation (hydrochimie due aux substrats géologiques, place du site dans le gradient d'altitude amont-aval, conditions hydrologiques et thermiques saisonnières etc...) exercent aussi une influence structurante sous-jacente qui peut venir impacter et moduler le positionnement d'un relevé dans l'analyse.

Par exemple, alors que cette influence est complètement naturelle mais est retrouvée de fait sur des sites à très faible altitude proches du littoral, souvent plus soumis à influence anthropique que les autres, les relevés **sous influence haline littorale** et certains taxons halophiles qu'on y trouve se retrouvent assez systématiquement en bordure du nuage situé dans tout le quart Nord-Ouest de de cette ACC restreinte, alors qu'ils sont en réalité amenés depuis le milieu littoral aux caractéristiques ultra-oligotrophes.

Ainsi, ce positionnement particulier dans le premier plan factoriel pourrait nous conduire de façon erronée à **affecter assez systématiquement aux taxons concernés une écologie altérée** alors que ce n'est pas le cas.



Ils viennent se positionner dans ce secteur non pas du fait de leur préférence écologique pour l'altération (ils proviennent du milieu marin ouvert, milieu très oligotrophe par rapport à des conditions de cours d'eau), mais du fait qu'il y a, dans notre jeu de données, forte co-évolution statistique entre situation aval, augmentation du gradient de pollution et possibilité d'influence haline littorale en liaison avec la très faible altitude. Dans ce cas, la forte co-évolution de facteurs (halophilie *versus* altération), ne doit pas amener à la conclusion que tous les taxons repérés dans ces situations représentent l'influence de l'altération anthropique. Cet exemple, entre autres, vient illustrer le rôle important de l'expertise écologique pour l'interprétation judicieuse des résultats d'analyses biomathématiques.

D'autres sources de biais liés à d'autres variables naturelles sous-jacentes peuvent aussi intervenir de la même façon que ci-dessus et moduler un peu le positionnement des relevés et des taxons. Ainsi, on pourrait un peu trop hâtivement associer une co-variation positive de la minéralisation de l'eau et la pression anthropique dans le continuum amont-aval), alors qu'il peut aussi exister une forte influence hydrochimique des substrats naturels de type tufs, d'entrées thermales au long du cours d'eau sur ce paramètre, qui n'ont pas de relation particulière de causalité avec un enrichissement organique ou trophique du cours d'eau.

L'espèce NINC est particulièrement illustrative de ce dilemme, semblant plutôt liée à l'altération dans l'analyse globale du jeu de données associant la zone volcanique et la zone naturelle fortement minéralisée des Mornes de Martinique. Mais l'examen des données permet aussi de remarquer que cette espèce peut être présente en forts effectifs dans les sites de référence fortement minéralisés des Mornes et régresse en conditions de forte altération sur les 2 îles, ce qui montre bien que **l'altération anthropique n'est pas son principal facteur de forçage**. L'examen de son auto-écologie montre qu'elle nécessite des eaux suffisamment minéralisées pour pouvoir s'établir. Il en résulte une certaine ambiguïté sur la Basse-Terre de Guadeloupe dont les eaux sur sols de laves peu altérées ont une très faible conductivité électrique. Ce contexte naturel exerce donc un facteur limitant incontournable pour l'installation de cette espèce, qui peut arriver à être levé vers l'aval sous l'influence conjuguée de l'augmentation amont-aval du gradient naturel de minéralisation des eaux et de certains effets que l'anthropisation peut aussi exercer sur la conductivité électrique de l'eau. Une autre caractéristique écologique marquante de ce taxon étant sa thermophilie, une limitation de sa distribution est fortement liée à l'altitude et à ses conséquences sur la température de l'eau *in situ*. Pour ces deux types de raisons, on la retrouvera surtout dans les secteurs de cours d'eau situés à des altitudes modérées à faibles, une source de confusion venant du fait que la pression anthropique s'accroît aussi statistiquement dans ces secteurs.

L'écologie de l'altération des taxons sur laquelle se basera la construction de l'indice IDA-2 (cf chapitres suivants) nécessite donc une attention toute particulière. Elle sera donc déduite d'une **analyse rigoureuse de leur positionnement relatif dans le Gradient Composite Multimétrique d'Altération (GCMA)**, mais aussi d'une intervention d'expertise portant à la fois :

- 1) sur l'établissement de règles judicieuses pour définir l'appartenance des taxons à telle ou telle catégorie bio-indicatrice ;**
- 2) sur la robustesse du profil d'altération spécifique** rendue possible sur la base du jeu de données complet actuellement disponible.

## IV. Démarche de construction de l'IDA-2

### IV.1. Mise en place du gradient d'anthropisation

#### IV.1.1. Objectifs, analyse de contexte

Les objectifs attachés à cette phase de formalisation du gradient d'anthropisation sont :

- d'intercepter les divers gradients abiotiques du jeu de données complet **directement occasionnés par les pressions anthropiques** sur les cours d'eau des Antilles,
- d'en extraire une métrique composite rendant compte du cumul de ces impacts sur la qualité de l'eau, qui ont aussi pour conséquence une dégradation de la qualité des assemblages diatomiques *in situ*,
- de générer des classes de qualité d'eau calées entre une classe de très bon état, assise sur la variabilité habituelle rencontrée sur le domaine des sites de référence, et une classe très altérée calée sur les situations les plus dégradées qu'il est possible de rencontrer aux Antilles.

Les démarches méthodologiques réalisées antérieurement à la Réunion (démarche IDR 2008-2013) et aux Antilles (démarche précédente IDA-1 2009-2012) ont conduit au diagnostic tout-à-fait prévisible d'un certain **défaut de représentativité temporelle** liée à la stratégie de **prélèvements ponctuels d'échantillonnages d'eau** (et de mesures physico-chimiques de l'eau) pour rendre compte avec justesse du degré d'altération du cours d'eau à un site.

Le problème qui se pose à ce niveau est celui du **pas de temps caractéristique** associé à un référentiel de qualité des eaux (qui inclut des mesures physico-chimiques instantanées et un échantillonnage ponctuel de la colonne d'eau pour analyses en laboratoire de chimie) qui diffère sensiblement de celui de l'échantillonnage biologique que l'on veut lui associer.

En effet, dans cette démarche de mise au point d'un nouvel indice biologique, l'objectif est de relier de façon fiable la **qualité des eaux** avec la **composition spécifique des assemblages diatomiques**, afin de bien repérer les effets de la dégradation du milieu aquatique sur la liste des espèces présentes et sur leur abondance relative. C'est par **l'assise représentative de cette relation pression-réponse** qu'il devient possible d'affecter une valeur bio-indicatrice convenable aux taxons constitutifs du nouvel indice.

Il est important de garder en tête le fait qu'un échantillonnage ponctuel d'eau **donne un instantané de la qualité des eaux *in situ* au temps t** (on pourrait même dire à la seconde s), alors que la composition multispécifique d'un assemblage diatomique relativement à l'équilibre sur un assortiment de substrats naturels du cours d'eau rend plutôt compte d'une **qualité d'eau intégrée sur 1,5 à 3 mois** selon les milieux et les conditions hydrologiques. D'autres maillons biologiques ont d'ailleurs un temps d'intégration caractéristique sensiblement plus long que les diatomées (de l'ordre d'au moins l'année pour les invertébrés benthiques, de plusieurs années pour les assemblages de poissons).

L'échantillonnage biologique a donc, par nature, toutes les chances d'être largement plus représentatif des conditions de qualité du milieu intégrées à son pas de temps caractéristique qu'un échantillonnage ponctuel d'eau à la date précise du prélèvement biologique, et sa réponse peut être considérée comme plus assise et plus intégrative.

Cette meilleure intégration temporelle était une des raisons principales pour lesquelles la DCE a introduit divers éléments de qualité biologique (EQBs) dans le diagnostic d'Etat Ecologique des milieux aquatiques, l'autre étant que le milieu aquatique doit, en toute priorité par rapport à divers usages anthropiques (exemples : normes de potabilisation de l'eau, baignade etc...), ménager une qualité de vie adéquate aux maillons biologiques qui y vivent.

Il faut ici noter que la stratégie d'échantillonnage déployée lors de ces programmes n'était pas forcément calée à l'optimum souhaitable, mais a été contingentée par des problèmes d'enveloppe financière disponible dont une partie importante était assurée par les enveloppes de fonctionnement classique des réseaux de surveillance.

Ainsi, à la Réunion, il a été possible de faire correspondre 2 à 3 échantillonnages ponctuels d'eau à un prélèvement diatomique donné, grâce à la pratique routinière de prélèvements d'eau mensuels dans les réseaux de surveillance ou en liaison avec d'autres usages (par exemple, surveillance régulière de la qualité des points de captage pour l'AEP). De ce fait, **la donnée chimique associée à chaque prélèvement biologique dans ce DOM a été plus robuste**. Par contre, il a été procédé à l'ajout de peu de points supplémentaires de prélèvement en vue d'illustrer l'effet de points particuliers de pollution intense (4 à 5 sites seulement pour ce DOM), ce qui a réduit l'illustration de certains gradients anthropiques particuliers.

Aux Antilles, par contre, un effort important a été réalisé pour illustrer différentes conditions spéciales, soit au niveau géochimie-hydrochimie naturelle particulière, soit au niveau de la représentation de points de pollution typiques et intenses. Par contre, la limite financière a posé sa contrainte sur la réalisation d'une seule visite et d'un seul échantillonnage abiotique et biologique par site et par campagne de prélèvement (calage sur la date de l'échantillonnage diatomique *in situ*).

Cette limite de représentativité ne pose pas des contraintes égales aux deux extrémités du gradient d'anthropisation : Un prélèvement ponctuel d'eau a moins de chances de s'éloigner de la qualité des eaux intégrée à ce site si ce site est peu soumis à des perturbations anthropiques (environnement pseudo-naturel) et si le prélèvement est réalisé en conditions hydrologiques suffisamment stables et éloignées d'une forte perturbation (en conformité avec la pratique normative recommandée).

Dans le contexte des DOMs îliens qui, pour cause de fortes pentes et de climat, présentent des environnements plutôt préservés en altitude, le nombre important de prélèvements réalisés dans des conditions naturelles ou pseudo-naturelles, même sur la base de prélèvements ponctuels, a de fortes chances de donner une assez bonne représentation statistique globale de ces environnements peu perturbés par l'homme. Par contre, cette stratégie a beaucoup plus de chances de s'éloigner d'une bonne représentativité chimique si le site est soumis à des pressions anthropiques donnant une qualité plus variable et plus instable de la qualité de l'eau.

Ce problème de représentativité prend déjà une certaine réalité lorsque les activités polluantes sont porteuses d'une variabilité saisonnière indiscutable des usages ou pratiques (ex : activité polluante de certaines Industries agro-alimentaires de type sucreries, distilleries ; pratiques agricoles sur les fertilisants, les pesticides, en fonction de la saison et du type de culture...). Dans un tel cas, un prélèvement ponctuel a peu de chances d'être représentatif de la qualité hydrochimique moyenne sur 2 mois. C'est encore davantage le cas lorsque la qualité du rejet est complètement instationnaire (cas des STEPs avec leur rythmicité journalière et saisonnière dépendant de la qualité de l'influent), ou qu'on serait confronté à un rejet inopiné et fugace en un point du territoire (pollution accidentelle).

Au moment de générer un indice biologique adapté à un nouveau contexte biogéographique d'application, il sera donc important : **1)** de bien garder en tête les limites des référentiels collectés (l'aspect le plus sensible dans le cas du jeu de données Antillais étant le défaut de représentativité temporelle des référentiels de chimie collectés, dans la mesure où un seul prélèvement ponctuel de chimie a pu être mis en correspondance avec un prélèvement diatomique), et **2)** d'adapter si possible les pratiques afin de limiter les inconvénients posés par cette faiblesse repérée.

#### IV.1.2. Construction du gradient (GCMA) :

Le gradient d'anthropisation a été bâti sur la base des 10 variables d'anthropisation ayant servi à la réalisation de l'Analyse Canonique des Correspondances restreinte (ACC restreinte) présentée au chapitre précédent.

Rappelons juste que 9 variables abiotiques de qualité d'eau retenues (MES, DBO5, C. Org, P.Tot, PO4, NH4, NO2, NO3, NKj) sont porteuses d'un message non ambigu sur l'altération anthropique et l'enrichissement trophique du milieu aquatique qu'elle provoque, l'accroissement des valeurs de ces paramètres abiotiques étant indiscutablement une **conséquence de la pression d'anthropisation sur les milieux aquatiques**. S'y rajoute une variable inversement corrélées à la plupart des autres, le pourcentage de saturation en oxygène de la colonne d'eau (% Sat. O2), dont la dégradation est déjà une mesure de réponse du milieu aquatique aux effets de l'anthropisation (traduction au moins partielle de la demande en O2 générée par l'apport de matières organiques fermentescibles et par le déroulement de phénomènes fermentaires, en désaturation du milieu en O2). Ce dernier paramètre sera plus ou moins modulé par l'hydrodynamique et la capacité de ré-oxygénation du milieu sur le tronçon à l'amont du site de prélèvement, ses valeurs pouvant devenir très pénalisantes pour la vie biologique en cas de faciès lentique limitant les possibilités de ré-oxygénation de la colonne d'eau après l'arrivée d'un rejet polluant.

Il faut aussi rappeler qu'il a été pris le parti de ne pas appuyer le diagnostic abiotique d'anthropisation sur les référentiels de 2 autres variables physico-chimiques, le pH et la conductivité. Ce premier paramètre peut être influencé dans les 2 sens par une altération anthropique (pollutions acides *versus* alcalinisantes, aussi néfastes l'une que l'autre pour la vie aquatique).

La conductivité électrique est systématiquement influencée à la hausse par les pollutions anthropiques. Mais la plupart du temps, sauf à l'aval immédiat d'une industrie rejetant des composés chimiques très acidifiants ou très alcalinisants, cette influence anthropique exerce une influence beaucoup plus modérée sur la conductivité de l'eau que certaines conditions typiquement naturelles.

En effet, des substrats géologiques carbonatés conduisant à la saturation de l'eau en carbonates de calcium et de magnésium peuvent déjà fortement minéraliser l'eau et l'amener jusqu'à des conductivités de 600 à 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dans des conditions totalement naturelles. Des substrats de tufs (par exemple dans la Zone des Mornes de Martinique) peuvent générer une forte minéralisation des sources et cours d'eau, avec des conductivités pouvant s'échelonner de 800 à plus de 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en eaux douces sans aucune incidence anthropique, comme pour la station Paquemar en Martinique (PAQm). Le même genre de référentiels de conductivité peut aussi être rencontré localement juste à l'aval de sorties d'eaux thermales fortement minéralisées. Enfin, des stations à l'aval de cours d'eau sous l'influence d'entrées marines épisodiques peuvent selon le débit instantané du cours d'eau, le coefficient de marée et le moment dans le cycle de marée, se situer dans des valeurs de conductivité typique des eaux douces (moins de 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ou atteindre, voire largement dépasser les 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (selon intensité des entrées de coin salé, il est parfois possible de mesurer jusqu'à 40 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au fond de la lame d'eau sous forte influence haline littorale).

Il est ainsi très difficile, d'une part d'associer de façon univoque une valeur de dégradation anthropique à l'évolution du gradient de valeurs de ces 2 variables, d'autre part d'isoler correctement l'influence anthropique de gradients d'origine naturelle, qui sont susceptibles d'exercer une influence nettement plus forte. Ces variables conduisant à trop d'ambiguïté d'interprétation au sens du diagnostic de pression anthropique, il a été décidé de ne pas en tenir compte dans la construction du gradient composite d'anthropisation.

Préalablement à la réalisation des analyses multivariées, comme indiqué antérieurement, des opérations de **post-traitement des données abiotiques** ont pu se révéler nécessaires au cas par cas, selon les particularités de distribution de chaque variable, pour rentrer dans le cadre d'application possible de ces méthodes. Les motivations du choix d'une transformation préalable et leurs résultats ayant déjà été développés en liaison avec la **Figure 4** page 14, il est possible de se reporter plus en détails à cette partie du rapport. Ainsi, à l'exception de la variable % Sat. O<sub>2</sub> qui présentait déjà une distribution quasi-normale, la matrice de chimie utilisée pour l'ACP restreinte, ainsi que pour l'ACC restreinte, a subi une transformation de Yeo-Johnson (amélioration de la méthode Box-Cox) à l'aide du **package « car » sous R**.

La **matrice des assemblages biologiques** utilisée dans l'ACC restreinte a subi une transformation **log (x+1)**, l'objectif étant de conforter le signal porté par des taxons minoritaires en occurrence ou effectifs par rapport à la réponse des quelques taxons euryèces très nettement dominants au niveau du jeu de données Antilles, mais assez peu informatifs pour le diagnostic d'effets des altérations anthropiques.

La première démarche d'élaboration de l'IDA (se reporter au **rapport final IDA, version finale du 14-10-2013, pages 122 à 126**) avait déjà intégré le fait que le référentiel de chimie, basé sur un seul prélèvement ponctuel par relevé diatomique, présentait des lacunes de représentativité temporelle conduisant à affaiblir la relation entre le gradient abiotique obtenu et la composition des assemblages biologiques correspondants. Ce constat présentait un impact assez modéré sur le plan statistique général (augmentation de la largeur du nuage et de l'expression synthétique des résidus entre la plupart des relevés et la droite théorique d'ajustement linéaire pression-impact, diminution du  $R^2$ ), mais devenait vraiment manifeste si l'on s'intéressait au cas de certains sites particuliers, provoquant des incohérences de positionnement dans l'espace des données.

L'exemple détaillé à partir des Figures 58 et 59 du précédent rapport, basé sur le positionnement des différents relevés du site GRLg dans l'espace des données, était illustratif :

- du défaut de représentativité temporelle de la matrice de données abiotiques pour positionner de façon consistante, entre autres, les relevés de ce site-test choisi (Figure 58, projection dans l'ACP). Par ailleurs, cette représentativité insuffisante (un seul prélèvement ponctuel instantané d'eau pour représenter qualité abiotique du milieu intégrée sur 2 mois) était génératrice d'outliers assez manifestes dans la relation pression-impact si on construisait le gradient anthropique composite uniquement sur la base du référentiel physico-chimique.
- de la plus-value conséquente apportée lorsqu'on mobilise aussi la matrice-réponse des assemblages biologiques (Figure 59, projection dans l'ACC) , qui permet de bénéficier d'une estimation nettement plus consistante et cohérente de la qualité ou de l'altération du cours d'eau, du fait de la bonne intégration temporelle réalisée par ce maillon bio-indicateur à son pas de temps caractéristique (au moins 1,5 à 2 mois).

Suite au diagnostic de faiblesse de ce référentiel, il avait été jugé préférable de ne pas construire le **Gradient Composite d'Anthropisation (GCA)** uniquement sur le gradient d'anthropisation émanant du jeu de données abiotique (ACP restreinte), mais de conforter sa construction avec la matrice réponse du compartiment biologique dans l'ACC restreinte, la réponse biologique étant jugée nettement plus représentative de la qualité du milieu à l'échelle temporelle correcte (1,5 à 3 mois).

Comme il avait été illustré assez clairement à l'époque, sur l'exemple du site-test précité et sur la base d'analyses plus globales, que cette pratique apporte une réponse logique à un problème correctement diagnostiqué et améliore sensiblement la représentation du gradient d'anthropisation, ainsi que la cohérence du positionnement de sites particuliers, cette façon de faire n'a pas été remise en cause. Elle a été remise en œuvre exactement de la même façon pour élaborer le **Gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation (GCMA)** sous-jacent à la mise au point de l'IDA-2.

Le gradient est qualifié de « composite » car il intègre de façon composite les messages d'anthropisation portés par les 10 variables abiotiques retenues. Il est qualifié de « multimétrique » car il intègre 2 métriques rendant compte du gradient d'altération :

- la première basée sur l'exploitation du référentiel abiotique d'anthropisation (analyses d'échantillons ponctuels d'eau au site et à la date du relevé biologique) via une ACP réalisée sur la sélection de descripteurs d'anthropisation retenus,
- la seconde émanant de la matrice-réponse des assemblages biologiques au même assortiment de variables abiotiques dans l'ACC restreinte.

Avec exactement la même assise-données et les mêmes transformations initiales, 2 analyses multivariées restreintes séparées ont été effectuées, l'explication en tenant à une simple raison pratique d'ordre technique (inversion systématique des repères relatifs de l'ACP dans le package « vegan », avec effet-miroir conduisant à une inversion de sens des 2 gradients selon qu'on est sur la matrice abiotique ou sur la matrice de réponse biologique).

Le gradient d'anthropisation basé sur le référentiel abiotique de qualité des eaux a donc été calculé sur la base d'une ACP restreinte conduite avec la package « **ade4** » sous R.

Le gradient d'anthropisation basé sur la matrice-réponse des assemblages biologiques a été calculé sur la base d'une ACC restreinte conduite avec le package « **vegan** » sous R.

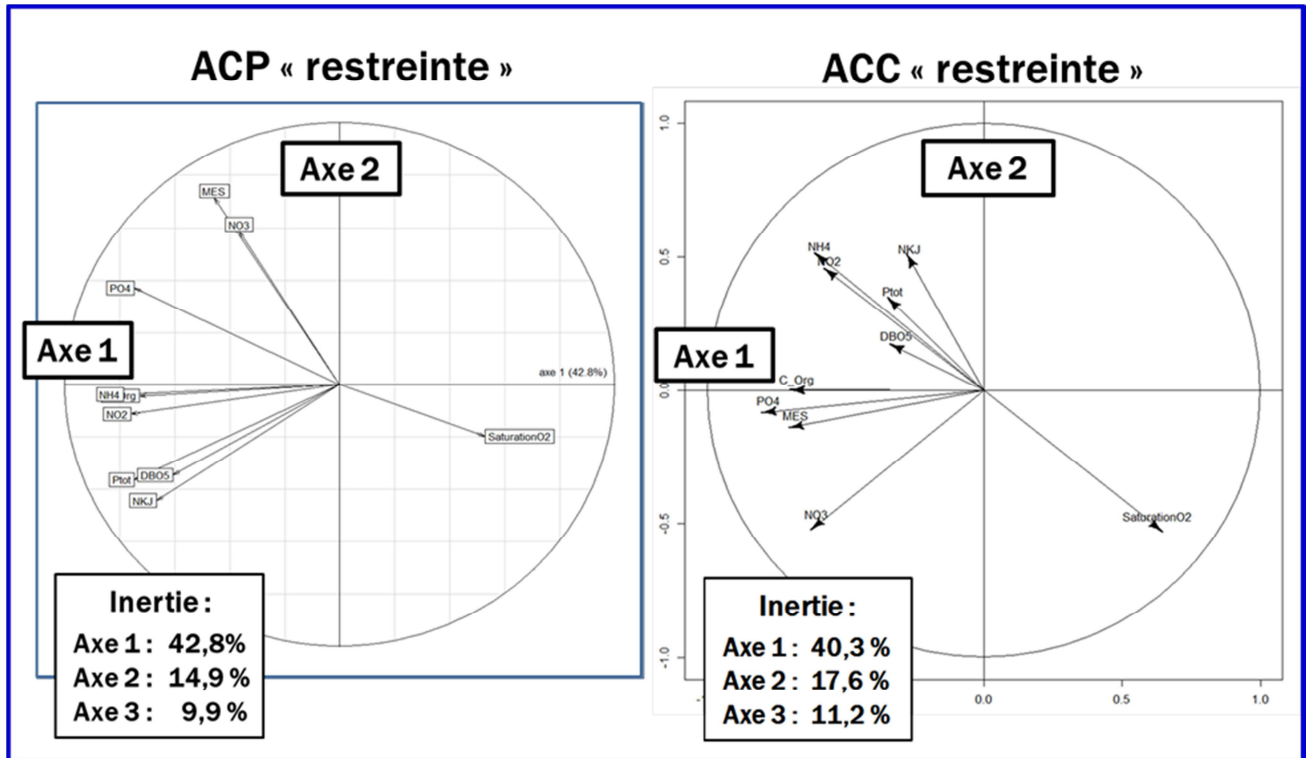


Figure 15 : Premier plan factoriel des Analyses multivariées mobilisées pour la création du Gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation (ou CGMA)

Si l'on examine plus en détails la nature dominante des informations et contributions portées par les 3 premiers axes de l'ACP restreinte (résultats déjà commentés dans le rapport précédent et non ré-illustrés spécifiquement ici), l'ACC Restreinte donnant d'ailleurs une physionomie générale assez comparable de l'influence des variables, il est facile de remarquer que le croisement (Axe 1 X Axe 2) porte l'information dominante sur la plupart des variables (cf **Figure 15** ci-dessus).

L'Axe 3, par ailleurs très sensiblement moins doté d'inertie que le premier plan factoriel (environ 10 % selon l'analyse), est cependant porteur d'une forte information structurante pour le déficit en O2 et le NKJ et d'une information dominante pour la teneur en NO3, ces 3 variables étant étroitement associées avec le positionnement des sites dans le continuum amont-aval et statistiquement en fort accroissement vers l'aval.

En ce qui concerne le déficit en O2 et le NKJ, la liaison est assez immédiate du fait de l'implantation de plusieurs sites de STEPs en situation très aval de bassin versant.

Pour le NO3, il s'agit plutôt d'une variable très intégrative des divers types de pollutions dans le continuum amont-aval, qu'elles soient diffuses (fertilisation agricole, minéralisation des pollutions domestiques et d'élevages...) ou ponctuelles (les rejets d'IAA, les STEPS peuvent en émettre aussi de fortes quantités).

Il a donc été jugé utile de construire le gradient d'anthropisation en intégrant l'information structurante portée par **les 3 premiers axes** des analyses multivariées restreintes précitées (au-delà, l'information écologique devient redondante, marginale et inexploitable) et la projection du positionnement de chaque relevé (site X date) sur chacun de ces 3 axes.

Ce Gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation s'écrit donc comme la somme des gradients « Gradient ACP » et « Gradient ACC » calculés en utilisant l'inertie des 3 premiers axes de chaque analyse :

GCMA = Gradient ACP + Gradient ACC, où :

Gradient ACP<sub>j</sub> =  $\sum_{i=1}^3 \text{inertieAxe}_i * \text{projection}_{\text{relevé}_j \text{Axe}_i}$ , où i = axe et j = relevé

Gradient ACC<sub>j</sub> =  $\sum_{i=1}^3 \text{inertieAxe}_i * \text{projection}_{\text{relevé}_j \text{Axe}_i}$ , où i = axe et j = relevé

**Équation 1 : Formule du Gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation**

Le principe schématique de construction du GCMA à partir du gradient ACP (Gradient "Anthropo") et du gradient ACC (Gradient "Réponse Bio") est présenté en **Figure 16** ci-dessous.

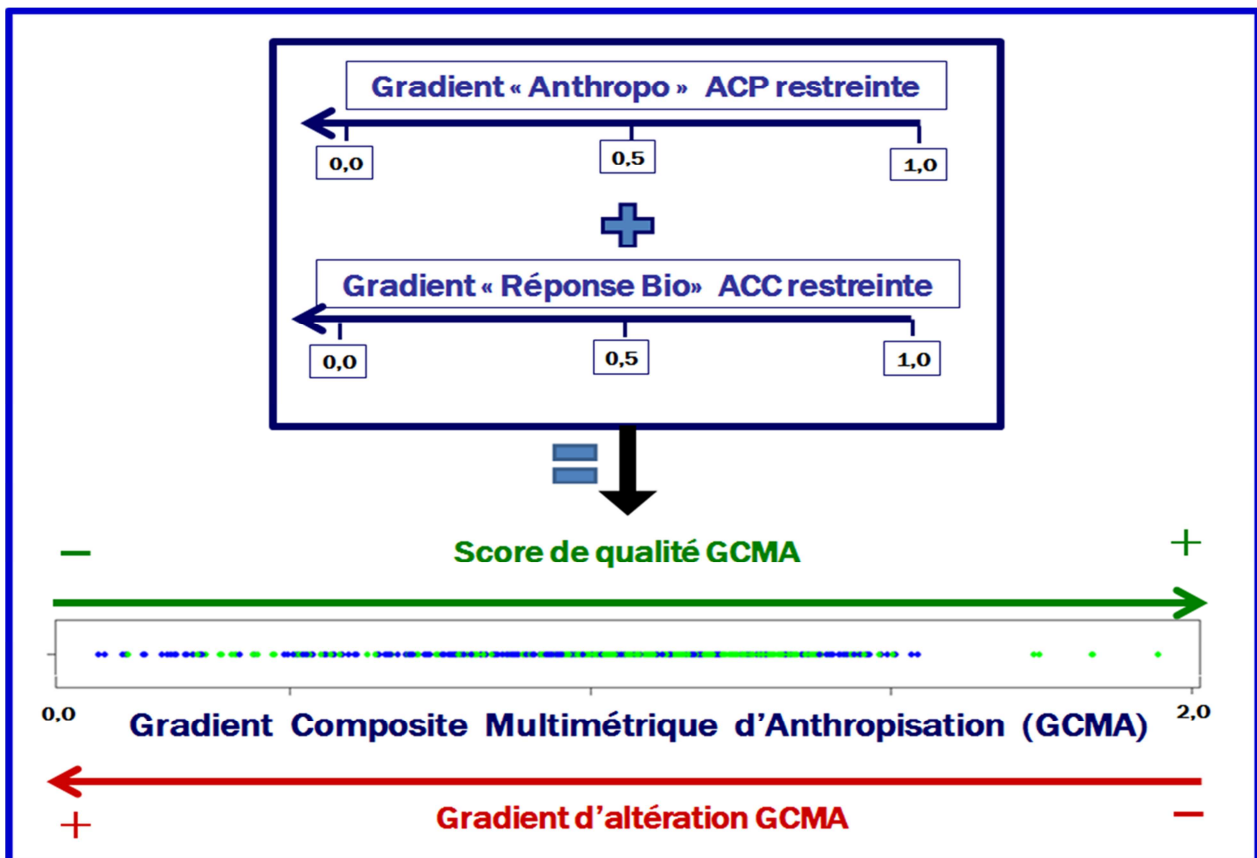


Figure 16 : Représentation schématique de la construction du GCMA à partir des 2 gradients composites d'anthropisation calculés (ACP restreinte, ACC restreinte)



Par construction, si l'on interprète le GCMA en **scores de qualité des eaux** (on aurait aussi pu réaliser la normalisation 0-2 en sens inverse, correspondant cette fois à des scores d'altération), les valeurs les plus faibles associées à un relevé (site x date) correspondent aux conditions les plus altérées rencontrées dans le jeu de données. Les valeurs les plus fortes, qui s'approchent de la valeur 1 pour les gradients individuels et de la valeur 2 pour le GCMA (cumul des 2 gradients précédents), correspondent aux meilleures qualités des eaux possibles dans les milieux naturels des Antilles.

De même qu'à l'issue du premier programme d'étude, on peut remarquer dans la partie basse de la figure que la projection dans le GCMA des relevés de Guadeloupe selon leurs scores de qualité des eaux (figurés en couleur verte) donne une distribution générale moins altérée que celle des relevés de Martinique (figurés en couleur bleue). Cet état de fait est partagé par les experts et praticiens locaux. Il marque déjà les sites de référence ou pseudo-référence. En effet, en Guadeloupe, les eaux situées à une certaine altitude sur les massifs volcaniques de Basse-Terre, très peu minéralisées, obtiennent les valeurs de qualité du score GCMA les plus fortes, correspondant aux meilleures qualités de l'eau de tout le jeu de données Antilles. Cette tendance générale se retrouve aussi du côté des sites altérés, les plus faibles scores de qualité des eaux exprimés par le GCMA se retrouvant surtout en Martinique. En effet, les conditions de sols à plus faibles pentes et à pression anthropique la plus intensive sont surtout rencontrés dans la zone naturelle des Mornes de Martinique (partie Sud de cette île), par ailleurs affectée d'une forte minéralisation naturelle des eaux (substrats de tufs) et d'un climat assez aride avec déficit pluviométrique saisonnier très intense à la saison sèche, au détriment de la dilution et de la qualité générale de la colonne d'eau.

Au bilan, on peut cependant constater un bon mélange des sites des deux îles tout au long du Gradient Composite Multimétrique d'Altération (GCMA), ce qui est intéressant pour la genèse d'un indice applicable indifféremment dans une île et dans l'autre.

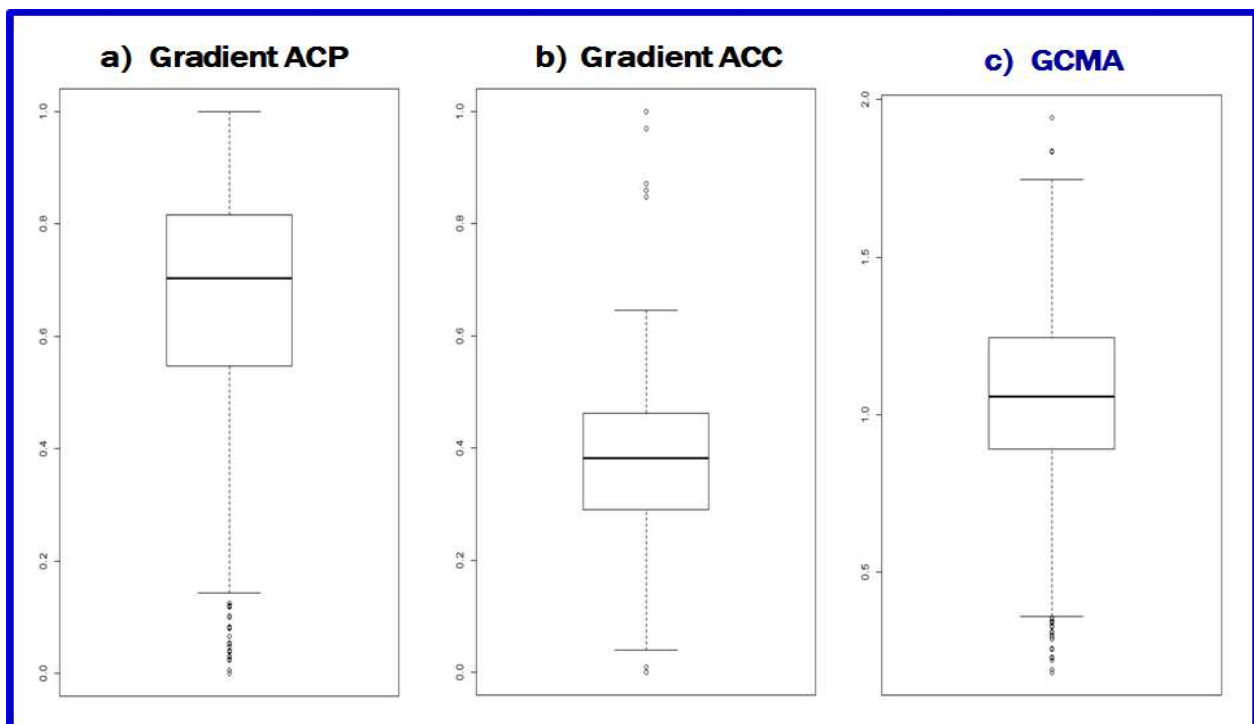


Figure 17 : Boxplots des gradients : a) ACP (gauche), b) gradient ACC (centre) et c) gradient GCMA (droite).

Les boxplots des gradients permettent d'étudier la dispersion de leur valeur sur un référentiel de valeurs renormé 0-1 pour le gradient abiotique ACP comme pour le gradient réponse biologique ACC, les valeurs dans le GCMA pouvant varier théoriquement entre 0 et 2, soit la somme arithmétique des 2 gradients précédents.

On peut remarquer dans la **Figure 17** en page précédente que le « gradient ACP » donne une appréciation sensiblement plus optimiste de la qualité des conditions au relevé que le « gradient ACC ». En effet la médiane du « gradient ACP » s'établit à environ 0.7 contre 0.55 pour le « gradient ACC », et une tendance générale identique se remarque sur toute la distribution des scores.

Ces figurations nous suggèrent que l'information apportée par l'ACC, qui rend compte de la composante "réponse biologique", est particulièrement intéressante car elle peut aider à rendre compte d'effets de pollutions sur le biote liés à des pics transitoires, ou à des épisodes de pollution irréguliers et aléatoires, qui ont de très fortes chances de ne pas être captés par la stratégie d'échantillonnage ponctuel de l'eau ; d'autant que, de par l'application de la norme AFNOR qui vient cadrer la pratique d'échantillonnage, le prélèvement de diatomées et les mesures et prélèvements d'eau qui l'accompagnent **ne doivent pas être effectués au moment d'une perturbation hydraulique en cours** (crue), ni dans les 15 jours à 3 semaines qui suivent une perturbation sensible du milieu.

De plus, même hors contexte hydrologique de crue venant déclencher un flux de polluants diffus depuis des zones contributives vers l'hydrosystème, les données abiotiques ponctuelles ont en effet de fortes chances de ne pas avoir été collectées au moment précis des pics ou la pollution est la plus intense, dont la durée est courte dans un hydrogramme ou un pollutogramme classique (exemple : pics journaliers liés à la rythmicité d'approvisionnement des STEPs, pics de pollutions d'industries agro-alimentaires dus à la mise en œuvre de process, de lavages, de bouffées de rejets etc...).

Cependant, même s'ils durent peu de temps, ces pics, qu'ils soient trophiques ou toxiques, sont assez fortement ressentis par la microflore en place, comme l'illustre le boxplot ACC restreinte pour lequel la réponse du compartiment diatomique donne une image médiane assez sensiblement plus altérée du milieu que les descripteurs abiotiques d'anthropisation de l'ACP restreinte. Les bouffées de pollution contribuent à sélectionner les assemblages les plus adaptés par régression des espèces sensibles. L'assise de l'indice sur le cumul de ces deux gradients, comme cela avait déjà été mis en œuvre une première fois dans le cadre de la démarche IDA-1, est de nature à améliorer la représentativité temporelle des échantillonnages et apporte un gage de meilleure stabilité et de meilleure robustesse du nouvel indice produit.

#### IV.1.3. Création des classes de qualité :

La **Figure 18** en page suivante présente l'utilisation de la méthode HCPC (Classification Hiérarchique sur Composantes Principales), publiée par *Husson et al (2010)*, pour la segmentation des effectifs de relevés en classes de qualité, ainsi que ses principaux résultats. Le principe général utilisé par la méthode HCPC pour sous-tendre l'opération de segmentation est de créer des groupes de relevés de qualité la plus semblable possible en interne, en maximisant l'inertie intra-classe par rapport à l'inertie inter-classe. Cette méthode a permis de découper le dendrogramme des relevés en **5 classes de qualité** selon leur score de qualité dans le GCMA, conduisant au final à des effectifs pas trop déséquilibrés par classe.

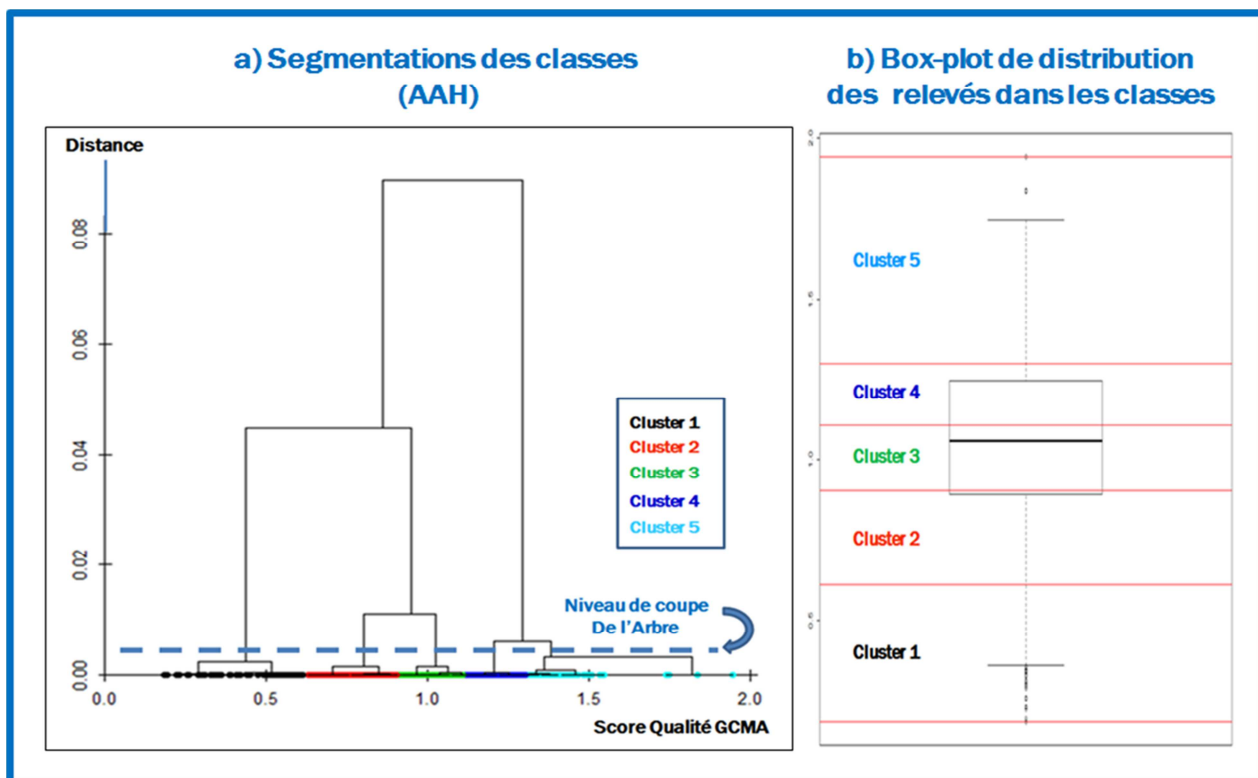


Figure 18: Création des classes de qualité : a) segmentation des classes basée sur l'homogénéité intra-groupe (méthode HCPC) ; b) Box-Plot de projection des relevés dans les classes

Il est à noter que l'équilibre des classes n'est pas un critère d'évaluation de la qualité de cette segmentation ni un but en soi. En effet, la distribution des qualités des cours d'eau des Antilles est une résultante un peu aléatoire du choix des sites d'étude, des conditions naturelles ou d'anthropisation qu'ils subissent, et le niveau d'altération est susceptible de changer en fonction des dates de relevés. Le jeu de données n'a donc pas de raisons *a priori* de conduire à un équilibre d'effectifs entre groupes homogènes. Il est plus important que chaque groupe corresponde bien à une typologie de degré d'altération, donnant aux classes obtenues une réelle signification de gradation de la naturalité *versus* / du degré d'altération des conditions au relevé (site x date).

Les éléments plus détaillés du résultat de cette segmentation sont donnés au **Tableau 4** ci-dessous.

**Tableau 4** : Caractéristiques des classes de qualité obtenues par segmentation (méthode HCPC)

Classe	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Qualité	TMQ	MQ	Qm	BQ	TBQ
Scores GCMA	(0.182 ; 0.611]	(0.611 ; 0.903]	(0.903 ; 1.11]	(1.11 ; 1.3]	(1.3 ; 1.94]
Effectif/Classe	62	101	183	159	102

A chaque groupe (ou cluster) représentatif d'un niveau typique de qualité a été affectée, selon son positionnement dans l'échelle des scores de qualité du GCMA, une signification en termes de **qualité des conditions de milieu** au site et à la date correspondant au relevé individuel.

Afin de ne pas engendrer de confusion avec le résultat d'évaluation d'état écologique à partir des relevés diatomiques, qui est traité dans un chapitre suivant, les classes de qualité assignées aux clusters ont été nommées de la façon qui suit : Classe 1 = TMQ (très mauvaise qualité, correspondant aux conditions les plus sévèrement altérées du jeu de données) ; Classe 2 = MQ (mauvaise qualité) ; Classe 3 = Qm (qualité moyenne) ; Classe 4 = BQ (bonne qualité) ; Classe 5 = TBQ (très bonne qualité, correspondant aux sites sans altération de qualité perceptible au niveau du score de qualité du GCMA, qu'il s'agisse de situations de référence ou de situations où un effet d'altération anthropique n'est pas perceptible à la date du prélèvement concerné.

Les bornes de valeurs-limites (valeur maximale, valeur inférieure) par cluster ou classe de qualité, exprimées en scores de qualité du GCMA, sont données en ligne 3 du **Tableau 4**.

Les groupes correspondant aux conditions les plus souvent rencontrées dans les cours d'eau des Antilles sont les plus dotés en effectifs (Classes 3 et 4), correspondant, dans les conditions de relief et d'hydrologie très dilutive des Antilles, à des conditions de pression anthropique de nulles ou marginales (Classe 5 et majeure partie de la Classe 4) à faibles à modérées (fin de la classe 4, Classe 3).

Le groupe de très bonne qualité (Classe 5), un peu moins doté en effectifs que d'autres, correspond le plus souvent à des situations ou dates très préservées sur des sites des massifs volcaniques antillais, souvent en altitude, à énergie plutôt forte en liaison avec les pentes et avec des substrats plutôt grossiers dans les cours d'eau, à températures plutôt faibles par rapport à l'équilibre du jeu de données, à des eaux plutôt faiblement minéralisées (substrats de laves volcaniques peu altérées) et à des conditions très oligotrophes. C'est dans ces situations que les scores de qualité du GCMA atteignent les plus hautes valeurs, les paramètres d'anthropisation y ayant des valeurs très basses.

En fonction des effectifs représentés et de la connaissance experte existante sur la qualité des milieux aquatiques antillais, ce positionnement relatif des classes 3, 4 et 5 est le signe d'une discrétisation plutôt raffinée sur le gradient naturel et le début du gradient d'altération anthropique (qui touche assez modérément la fin de la Classe 4 et vient plutôt se centrer sur la Classe 3). Ce résultat d'établissement des classes de qualité, dont la prise en compte pour l'établissement de l'IDA-2 va dépendre assez fortement des règles d'exploitation des profils d'espèces qui seront choisies un peu plus tard dans la démarche, présage déjà d'une bonne sensibilité de l'indice à venir pour le diagnostic du **début de la gamme d'altération anthropique**. Les classes 4 et 5, peu concernées par l'apparition indiscutable d'un début de gradient d'anthropisation (qui commence plutôt à se faire sentir à l'approche de la jonction entre la Classe 4 et la Classe 3), ont d'ailleurs été traitées de façon regroupée dans les règles d'affectation de valeur bio-indicatrice aux taxons constitutifs de l'IDA-2.

La Classe 2 (Mauvaise Qualité ou MQ) et surtout la Classe 1 (Très Mauvaise Qualité ou TMQ) représentent les situations avec un degré de pollution respectivement moyen et fort.

L'effectif en relevés de la Classe 1, sensiblement plus réduit que pour toutes les autres classes, illustre le fait que, même après avoir consacré une attention particulière à une prise en compte suffisante de sites spécifiquement choisis pour illustrer des altérations les plus sévères qu'il est possible de rencontrer aux Antilles (aval de STEP, de sucrerie-distillerie, de confiserie, d'élevage porcin etc...), le pire n'est pas rencontré à chaque date. En effet, les conditions d'usage et de milieu (intensité de l'activité et des rejets anthropiques, saison, régime hydrologique et coefficients de dilution attachés) peuvent venir moduler assez sensiblement, à la hausse comme à la baisse selon les conditions spécifiques du moment, le degré d'altération du milieu aquatique *in situ*.

Une conséquence de ce constat est que l'intensité des effets polluants au relevé peut être très forte sur un site très pollué à une ou plusieurs dates, mais atténuées à des saisons ou sous des conditions moins favorables à l'expression d'impacts. Il se révèle donc problématique *a priori* d'utiliser de façon judicieuse une même grille d'évaluation à l'échelle de **relevés individuels** et pour une **évaluation intégrée de sites**, même très impactés, ayant été échantillonnés à plusieurs dates, la valeur moyenne ou médiane du référentiel d'anthropisation ou, d'ailleurs, du référentiel de réponse biologique, venant mécaniquement **atténuer assez sensiblement la sévérité du diagnostic intégré au site** par rapport à l'étendue des possibles sur un relevé individuel.

La **Figure 19** ci-dessous résume la distribution des effectifs de relevés représentés par classe de qualité de l'eau, sous une codification à 5 couleurs assez conventionnelle par rapport aux pratiques habituelles de diagnostic d'état des milieux (cf par exemple la représentation de résultats du SEQ Eau pour la réalisation de cartes d'Etat abiotique...).

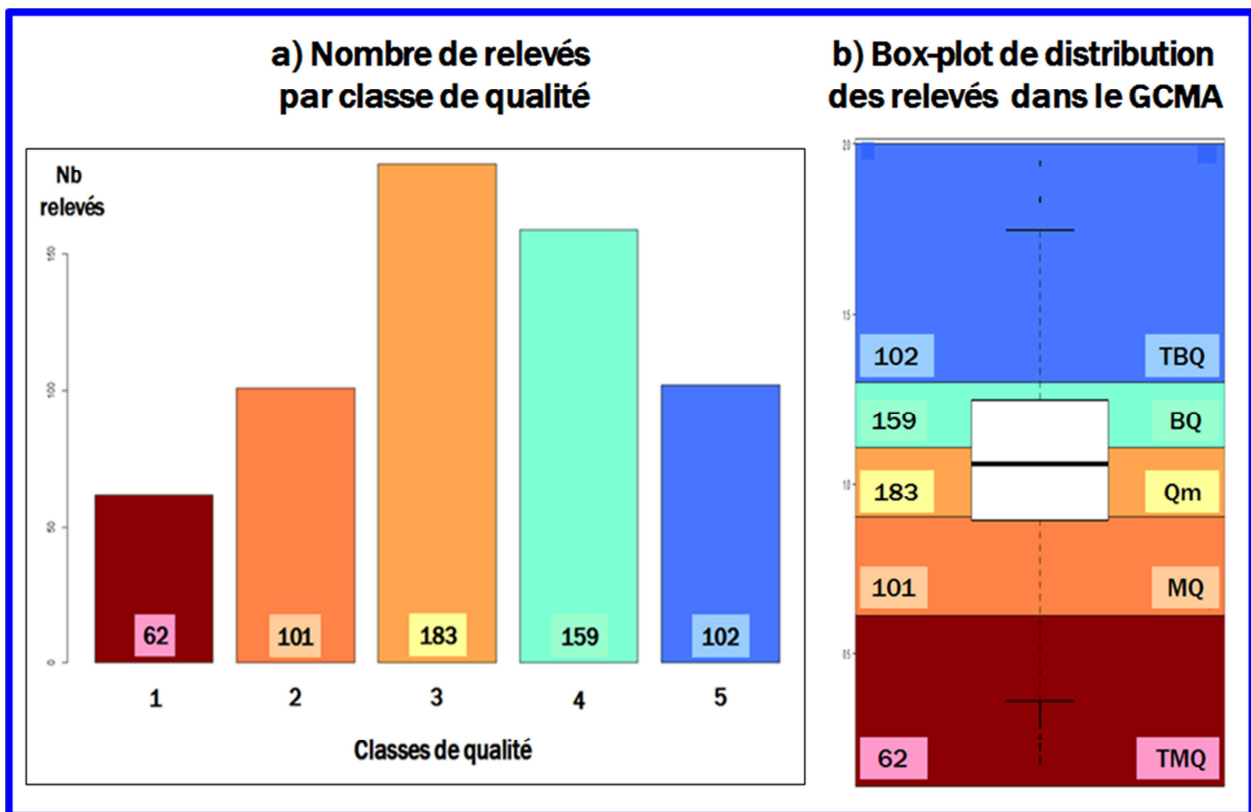


Figure 19 : Distribution des effectifs de relevés : a) par classe de qualité ; b) en fonction de la valeur de leur score de qualité dans le référentiel GCMA

Les classes sont ici représentées de 2 façons :

- en effectifs de relevés par classe (Partie **a**) à gauche de la figure)
- sous forme d'un Box-Plot construit à partir de la distribution des relevés individuels dans l'échelle des valeurs de scores de qualité du GCMA (Partie **b**) à droite).

On peut notamment voir que la médiane du jeu de relevés Antilles se positionne un tout petit peu en-dessous de la limite BQ-Qm. En conformité avec l'expertise locale existante, la moitié du jeu de données au-dessus de la médiane correspond à des relevés sous altération nulle à faible (dont beaucoup sont issus de sites sur bassins versants volcaniques soumis à un niveau faible d'altération anthropique). Comme déjà indiqué précédemment, les caractéristiques de cette distribution permettent donc d'escompter un diagnostic assez raffiné dans la zone du début d'apparition du gradient d'altération.

La classe la moins bien représentée est celle des relevés très pollués, montrant que, malgré l'effort volontariste pour augmenter la représentation de tels sites dans le jeu de données *via* le réseau complémentaire, l'intensité de l'altération ne reste pas maximale à chaque date (le même site peut voir ses relevés répartis entre 2 et même 3 classes de qualité selon l'intensité d'impact anthropique et les conditions naturelles du moment).

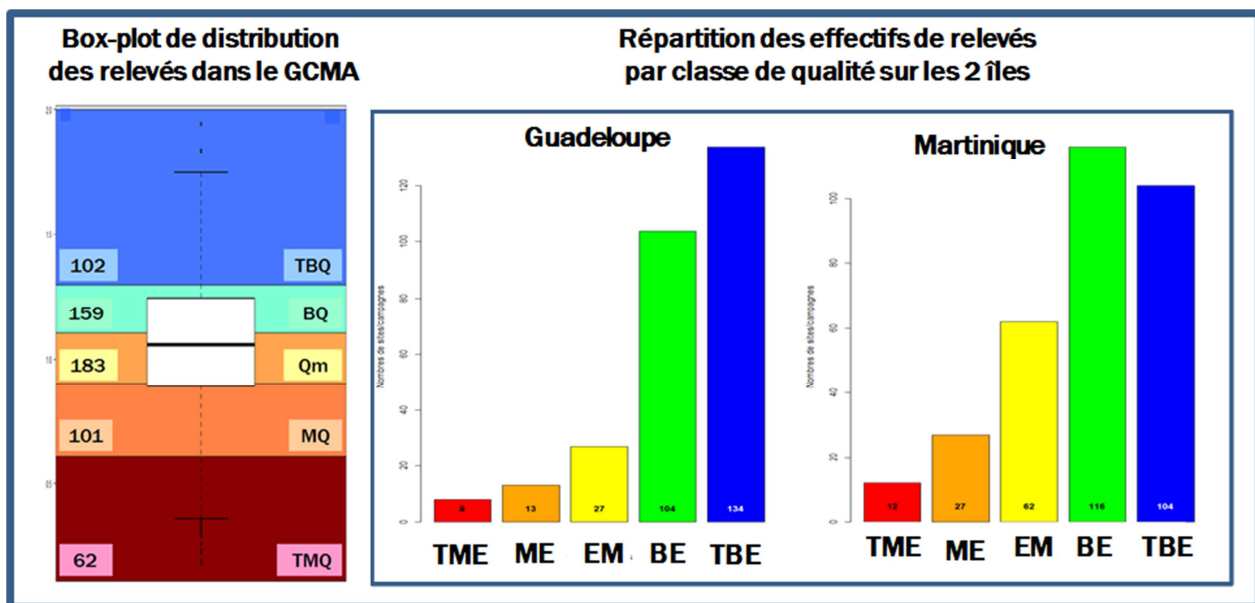


Figure 20 : Distribution des effectifs de relevés par classe de qualité pour chacune des 2 Antilles

Comme cela avait déjà été remarqué au moment de l'élaboration du gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation, la **Figure 20** ci-dessus illustre le fait que, dans la même échelle d'intensité d'altération, la Basse-Terre de Guadeloupe présente assez sensiblement moins d'altérations anthropiques que la Martinique. Cela se remarque aux 2 extrémités de l'échelle, la Guadeloupe étant plus pourvue en TBQ (Classe 5, couleur bleue) et moins pourvue dans les 3 classes altérées (Classe 1 à 3) que la Martinique. Cependant l'échelle des possibles est la même et ces 2 îles présentent chacune un gradient ou chacune des 5 classes de qualité est représentée, ce qui est un élément de plus plaidant en faveur de l'élaboration d'un indice unique pour les deux Antilles.

#### IV.1.4. Validation des classes de qualité :

Il est tout-à-fait prévisible que la structuration du jeu de données des relevés de l'étude n'ait pas exactement la même portée, ni exactement le même découpage de gradient en classes de qualité si l'on considère le gradient présenté par l'agrégation des 10 variables d'anthropisation retenues, ou descripteur séparé par descripteur séparé. On peut cependant vérifier si le même type de gradient et de distribution par classe se retrouve descripteur séparé par descripteur séparé, afin de confirmer la consistance du GCMA pour rendre compte de façon globalement représentative du gradient d'altération anthropique dans le jeu de données étudié.

Dans cet objectif, la **Figure 21** page suivante représente la distribution des valeurs de PO4 dans les 5 classes de qualité définies à partir du GCMA telles que présentées en **Figure 19**. On peut voir que pour ce paramètre, même si l'on n'obtient pas exactement le même résultat qu'avec le GCMA, le même gradient global est respecté et que chaque médiane et chaque quantile 50 de classe se distribue de façon comparable et logique par rapport à la distribution dans le GCMA. Nous avons pu vérifier aussi que 8 autres descripteurs d'anthropisation présentent quasiment le même type d'échelonnement entre classes de qualité que le PO4.

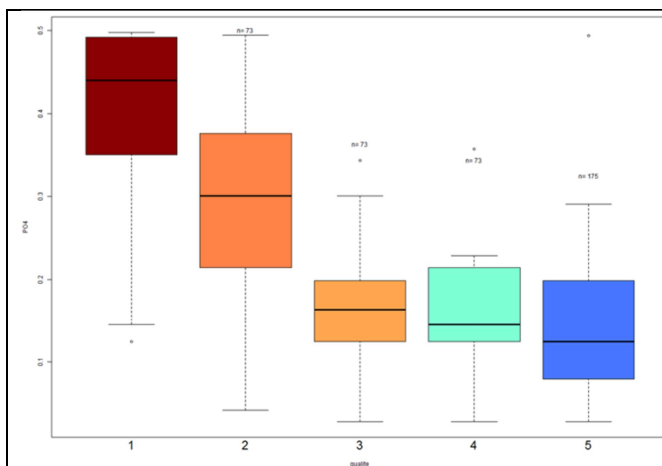


Figure 21 : Boxplot du paramètre PO4 (mg/L) selon les classes de qualités (attention, les valeurs sont transformées).

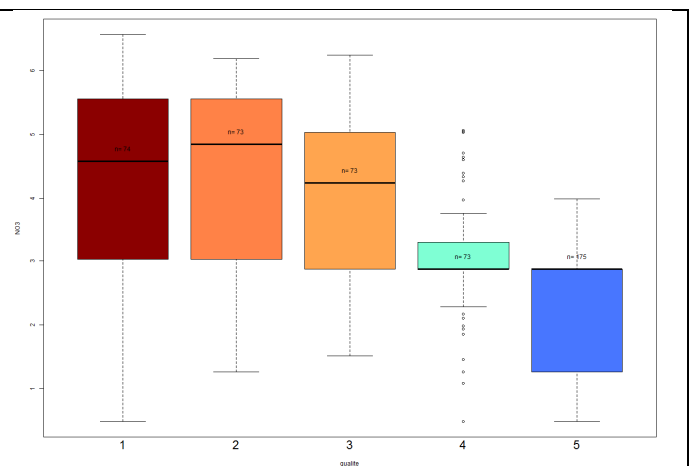


Figure 22 : Boxplot du paramètre NO3 (mg/L) selon les classes de qualités (attention, les valeurs sont transformées).

Le seul paramètre d'anthropisation dont la distribution des valeurs est plus influencée par les pollutions diffuses ou par la position du site dans le gradient amont-aval des cours d'eau, que par les rejets de pollution ponctuelle d'équipements collectifs (STEPS, rejets d'IAA etc...) est le paramètre NO3. On a pu voir dans le Chapitre III.4-5 (**Figure 9**) que le vecteur de ce paramètre était orthogonal, donc absolument pas corrélé au gradient général opposant la saturation en O2 dissous aux vecteurs des 8 autres paramètres d'anthropisation. Ce paramètre répond donc à une tout autre typologie d'altération et occupe un positionnement très spécifique dans l'espace des données.

Cette variable est donc celle qui aurait le plus de chances *a priori* de donner une physionomie de représentation du gradient anthropique différente de celle du GCMA.

La **Figure 22** en page précédente représente donc la distribution des valeurs de NO<sub>3</sub>. Même si l'ordination classe par classe de ce descripteur abiotique ne correspond pas exactement à la ventilation par classe du gradient composite, on repère nettement un gradient d'altération organisé dans le même sens.

Simplement, alors que les 3 classes des meilleures qualités s'organisent logiquement par rapport à ce gradient GCMA, les 2 classes les plus altérées ont pratiquement le même référentiel de valeurs de NO<sub>3</sub>, l'accroissement de l'intensité d'altération entre elles étant surtout apporté par les autres variables d'anthropisation.

Cet état de fait est normal, certains sites les plus pollués, situés immédiatement à l'aval d'infrastructures collectives polluantes, étant riches en formes organiques (NKj) ou en formes non complètement oxydées d'azote minéral (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>) du fait de la non-prise en compte de la nitrification dans le process de traitement et de la capacité d'épuration du milieu aquatique, qui ne peut pas prendre instantanément en charge cette nitrification complète de l'effluent (il faudrait au moins plusieurs kilomètres de cours d'eau présentant une agitation hydrodynamique suffisante, selon débit et loi de dilution). Les formes réduites d'azote dominant donc sur ces sites les plus intensément altérés (Classe 1), accompagnés de carbone organique, de demande en O<sub>2</sub>, de formes du phosphore et aussi de MES contenus dans l'effluent.

On peut cependant constater que le gradient d'anthropisation porté par la variable NO<sub>3</sub> est globalement organisé de façon comparable à celui du GCMA et en tout cas, dans le même sens, ce qui signifie que le GCMA prend aussi assez correctement en charge le gradient de pollution par les nitrates. La seule particularité notable est que, concernant ce paramètre, un découpage en 4 classes de qualité au lieu de 5 (regroupement des classes 1 et 2) aurait mieux reflété la gradation réelle de distribution du référentiel de valeurs.

On peut donc conclure que, assis sur 10 variables différentes d'anthropisation et sur 2 analyses mêlant forçages abiotiques et effet sur la matrice biologique des assemblages, **le Gradient Composite Multimétrique d'Altération procure une vision englobante et robuste des forçages anthropiques**. Il rend compte de façon satisfaisante et intégrée du référentiel d'anthropisation à l'échelle de tout le jeu de données de l'étude.

Il est cependant logique que la distribution examinée classe par classe et descripteur abiotique d'anthropisation par descripteur abiotique d'anthropisation, en correspondance avec des spécificités de types de pollution, ne puisse pas présenter une cohérence totale de profil avec la photographie donnée par une métrique intégrant des informations de 10 descripteurs en même temps.

Le gradient de pression anthropique contenu dans le jeu de données complet des Antilles ayant pu être assez fidèlement pris en compte par une métrique composite (le GCMA), dont on vient de vérifier qu'il rend correctement compte du degré de pression anthropique rencontré, tous descripteurs confondus, il devient possible de s'appuyer sur lui pour décrire et résumer l'écologie de l'altération dont sont porteurs les taxons que l'on compte utiliser pour construire la nouvelle version d'indice diatomique des Antilles (IDA-2).



## IV.2. Profils de qualité des espèces dans l'IDA-2

### IV.2.1. Principes généraux de sélection et de seuillage :

La distribution des taxons du jeu de données complet des Antilles, en occurrence et en abondance relative, a été illustrée en **Figure 8** et a déjà été commentée en pages 26 à 28 du présent rapport. Pour résumer, elle présente les caractéristiques principales suivantes :

- 1) faible nombre d'espèces dominantes (8 selon le critère de score d'abondance relative cumulée supérieur à 25), bien adaptées au contexte général local mais souvent porteuses d'un message assez diffus sur les conditions écologiques précises du site (taxons euryèces adaptables à une certaine variation des conditions écologiques et de la pression d'anthropisation),
- 2) longue queue de comète de distribution concernant des taxons souvent identifiés sous numéro, faute d'avoir observé un nombre suffisant d'individus pour pouvoir les relier avec certitude au type d'un taxon décrit quelque part dans la bibliographie. De même, il reste à ce stade difficile et aléatoire de tenter d'éclairer leur écologie précise, le faible effectif ne permettant pas de pouvoir garantir un minimum de fiabilité aux profils de qualité calculés.

De ce fait, afin de produire un outil indiciel présentant à la fois une assise taxonomique et écologique relativement fiable et garantissant une mise en œuvre opérationnelle plus aisée, il a été jugé raisonnable de limiter la longueur de la liste de taxons à documenter et à illustrer dans le guide taxonomique pour l'utilisateur. En effet, garder des taxons à très faible représentation, alors qu'ils ne participeraient que de façon très marginale au calcul du nouvel indice, reviendrait à inclure dans la démarche beaucoup d'information insuffisamment assise sur le plan taxonomique et auto-écologique. De plus, cela allongerait très sensiblement la liste de fiches-taxon à renseigner dans le guide d'aide à l'identification, avec une inclusion d'information additionnelle de qualité douteuse pour une plus-value complètement marginale (les informations de chorologie et d'auto-écologie affectées à ces taxons, déduites de l'analyse du jeu de données, devenant largement aléatoires pour cause de trop faible représentation). Il a donc été décidé d'établir 2 seuils quantitatifs successifs en-dessous desquels le taxon ne participera pas au calcul indiciel de l'IDA-2.

**186 taxons** dépassant le double seuil de sélection suivant dans le jeu de données final collecté, incluant les campagnes complémentaires 2013, ont été sélectionnés et ont pu se voir calculer un profil de qualité :

- 1) présence dans au moins cinq échantillons différents dans le jeu de données,
- 2) abondance relative > à 2,5 % dans au moins un relevé.

Parmi eux, 8 taxons identifiés à l'espèce, dont l'écologie déjà décrite dans la littérature est typique de conditions halines, se sont vus affecter un profil écologique « espèce haline ». Leur arrivée dans un relevé étant due à une influence naturelle littorale, donc n'ayant rien à voir avec un effet de l'anthropisation, ils ont été retirés de l'assise de calcul de l'IDA-2.

Cela porte à **178 le nombre de taxons participant au calcul effectif de l'IDA-2.**

#### IV.2.2. Calcul des profils de qualité des espèces :

Les 186 taxons ayant fait l'objet du double seuillage quantitatif précédemment indiqué ont été sélectionnés pour se voir calculer un profil de qualité dans l'IDA2. Ce seuillage préalable s'est appliqué sur la matrice-taxons qui a ensuite servi pour la réalisation effective de l'ACC restreinte. En effet, il était important, dans la procédure de création d'indice, d'avoir une information minimale suffisante sur les taxons constitutifs de l'indice afin de pouvoir leur calculer un profil écologique non fantaisiste.

La création des profils spécifiques a été calculée en s'appuyant sur la discrétisation du GCMA en 5 classes de qualité chimique telles qu'établies au Chapitre IV.1-3. Ils expriment la probabilité de trouver une espèce donnée dans les différentes classes de qualité.

La formule utilisée pour établir le profil de qualité des taxons constitutifs de l'IDA-2, exactement la même que celle utilisée récemment pour l'IDR (indice Diatomique Réunion) et pour la première version de l'IDA, est donnée ci-dessous :

$$P(sp_{classe}) = \frac{\left( OccTaxon_{classe} * \sum_{classe} abond Rel_{sp} \right)}{NbSites_{classe} * \sum A}$$

$$\text{ou } A = \frac{\left( OccTaxon * \sum_{classe} abond Rel_{Taxon} \right)}{NbSites_{classe}}$$

$$P(sp_{classe}) \in [0,1]$$

**Équation 2 : Formule de calcul de la probabilité d'abondance relative pondérée d'un taxon *sp* pour une classe de qualité donnée.**

Une fois calculée la valeur d'abondance relative pondérée pour chaque taxon et chacune des 5 classes de qualité, il devient possible de représenter graphiquement les profils de qualité de chaque espèce.

La **Figure 23** en page suivante résume la procédure de production et le principe de mise en place de règles d'interprétation des profils d'espèces permettant ensuite leur utilisation dans le calcul des notes d'IDA-2, en fonction de la composition spécifique de chaque inventaire en abondances relatives.

La première étape de la démarche (partie haute de la figure) a été de calculer la probabilité d'abondance relative par classe de chaque taxon pour chaque classe. A la fin de cette étape, la physionomie de répartition de chaque taxon par classe est connue, mais les modalités d'intervention de chaque taxon dans le calcul de l'indice ne sont pas encore décidées.

L'étape 2 résumée en milieu de figure consiste, en faisant recours à de l'expertise hydro-écologique pour conforter les bonnes limites de basculement, à édicter des règles de décision appropriées permettant d'assigner aux taxons leur valeur indicatrice (catégorie de taxon) et leur valence (poids dans le calcul) dans le futur indice.

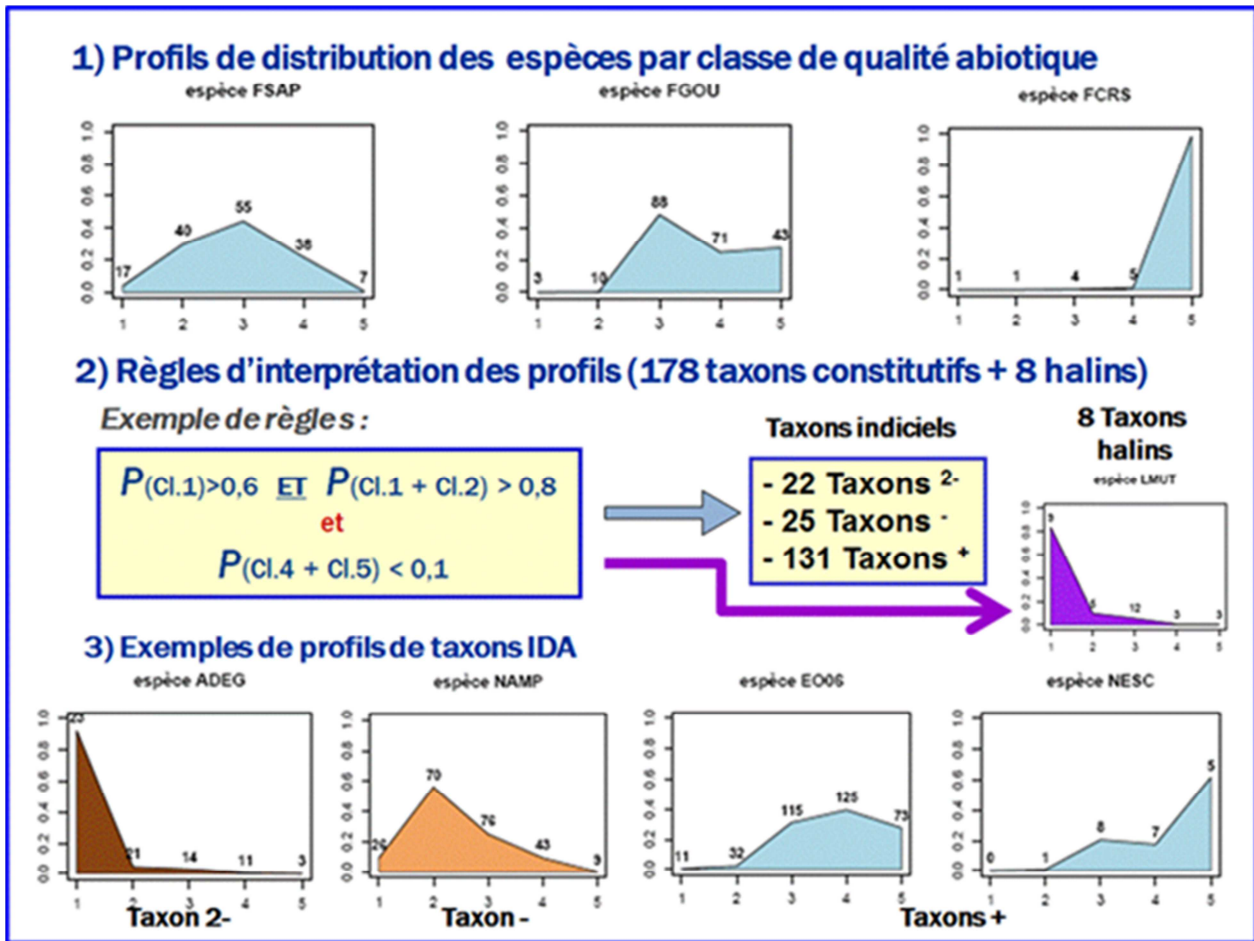


Figure 23 : Principes d'établissement des profils de qualité des taxons de l'IDA-2

La partie 3 de la **Figure 23** illustre, suite à l'application de ces règles, les 3 types de taxons qui peuvent être mobilisés pour le calcul de l'IDA-2.

Les choix qui ont été faits concernant le mode général de fonctionnement de l'indice et la façon d'utiliser les différentes catégories de taxons dans son calcul sont présentés plus en détails dans les chapitres qui suivent.

### IV.2.3. Interprétation des profils

Dans les conditions naturelles présentes dans les DOM îliens, qu'il s'agisse de la Réunion ou des Antilles, les conditions naturelles sont souvent assez fortement dilutives des altérations anthropiques qui s'exercent sur le territoire. Les raisons en tiennent :

- à une densité d'occupation anthropique assez modeste, surtout dans les zones pentues et en altitude situées sur les massifs volcaniques,
- aux conditions climatiques attachées au contexte îlien et tropical, avec une saison des pluies accompagnée d'écoulements forts et très dilués (pluies et tempêtes tropicales, voire épisodes cycloniques),
- au type et à la morphologie de ces cours d'eau, le plus souvent adossés aux gros reliefs volcanique et avec de fortes pentes au moins en tête de bassin.

De fait, ces cours d'eau s'apparentent plus à des torrents qu'à des rivières sur une partie souvent dominante de leur cours et rares sont les rivières qui, dans le contexte des DOM, présentent un tronçon conséquent à morphologie typique de rivière de plaine.

Dans ces conditions, l'examen de la structure des peuplements de diatomées (**Figure 8**) a révélé la présence d'un très faible nombre de taxons à forte occurrence et/ou à forte abondance dans les assemblages (8 selon le critère de classification retenu, associant occurrence et abondance relative dans le jeu de données), suivi d'une liste de nombreux taxons dont la présence dans le jeu de données, qu'il s'agisse d'occurrence ou d'abondance relative, décroît très rapidement pour s'effiloche en une longue queue de comète (512 taxons différents observés au total, 186 taxons au profil calculé après mise en pratique du double seuillage quantitatif).

De façon comparable à la Réunion, où un nouvel indice diatomique a aussi été mis au point depuis peu, il a été vérifié que les quelques taxons très dominants trouvés aux Antilles sont des taxons euryèces certes bien adaptés au contexte hydro-écologique général de l'endroit où on les trouve, mais ayant des préférences écologiques larges qui les rendent donc peu intéressants pour diagnostiquer de façon sensible le résultat d'une altération anthropique : se reporter au Chapitre III.4-3 « Données biologiques (assemblages diatomiques) ».

Comme indiqué à ce chapitre antérieur, ces taxons dominants peuvent avoir 3 types de préférences écologiques générales permettant de les re-situer dans une typologie d'assemblages diatomiques plutôt naturels qui avait été produite dans le rapport IDA-1, suite à la mobilisation d'un réseau neuronal non-supervisé, la carte auto-organisante ou SOM. On peut résumer les aspects importants qui en sont ressortis comme suit :

- certains de ces taxons, comme CEUG, ADSH etc..., préfèrent des eaux **plutôt faiblement minéralisées** et sont surtout retrouvés dans les cours d'eau des massifs volcaniques sur laves peu altérées ;
- D'autres, comme GDES et PRBU, préfèrent des **conditions intermédiaires de minéralisation de l'eau** ;
- Enfin, **NINC**, l'espèce la plus fortement représentée dans le jeu de données Antilles selon ce critère associant occurrence et abondance, **se complait dans des eaux très sensiblement minéralisées et carbonatées**. On la retrouve surtout sur des substrats géologiques de type placages de tufs, comme dans la zone des Mornes de Martinique ou en cas de particularités géologiques locales venant accroître la charge minérale de l'eau, par exemple en périphérie du massif volcanique de la Montagne Pelée (secteur de l'Anse Céron). Mais elle apparaît aussi sur les secteurs aval de bassins versants à partir du moment où certains facteurs limitants pour elle ont été levés : acquisition d'une minéralisation suffisante de l'eau, température de l'eau *in situ* atteignant ou dépassant 24 à 25 degrés.

Mais les analyses font aussi ressortir que, du moment que les conditions hydrochimiques globales de la zone leur conviennent, ces taxons dominants peuvent aussi faire preuve d'une assez forte plasticité écologique autour de leurs conditions optimales. De ce fait, ils apportent en général une information limitée et tout-à-fait relative sur le diagnostic de qualité des milieux aquatiques vis-à-vis des altérations anthropiques, pouvant s'adapter depuis des conditions de référence amont jusqu'à des situations de pollutions moyennes trouvées à l'aval de bassins versants.

D'autre part, comme ils sont fortement présents à l'amont des altérations, il existe en permanence un flux de colonisation de l'amont vers l'aval (ou drift) très significatif de ces espèces, ce qui les aide à dominer encore les peuplements jusqu'à ce que l'intensité excessive d'une pollution ne leur permette plus de boucler leur cycle de vie. Cependant, la plupart des équipements collectifs les plus polluants sont implantés à une faible distance du bord de mer, ne laissant plus la place physiquement suffisante pour une sélection longitudinale qui permettrait une bascule typologique nette des peuplements vers une dominance d'espèces caractéristiques de fortes altérations.

Dans un tel contexte, il a semblé inapproprié de fonder une méthode de bio-indication utilisant l'équilibre général de la totalité des taxons constitutifs de la méthode sur la totalité des classes de qualité, comme cela est le cas lorsqu'on utilise la formule de Zelinka et Marvan, qui a été utilisée pour établir le calcul de notation de nombreuses méthodes de bio-indication développées et appliquées en Europe et dans le monde, et notamment pour le calcul de l'IPS et de l'IBD en métropole.

De la même façon qu'antérieurement à la Réunion, il a semblé préférable de travailler sur le repérage d'un jeu plus limité 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.

Pour la mise en place de l'IDA-1, après plusieurs essais exploratoires, il avait 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 :

- les "**Taxons** **-**", que l'on pourrait décrire comme des **taxons d'alerte** indiscutablement liés à la présence d'une altération anthropique forte, au moins localement, en amont du site à diagnostiquer).
- Les autres taxons sans valeur particulière pour le diagnostic d'altération anthropique, qualifiés de **Taxons** **+**.

Depuis la production du rapport IDA-1, d'une part il a pu être pris un peu plus de recul sur les résultats d'analyse et sur l'écologie des taxons dans les conditions spécifiques des Antilles ; d'autre part, des données complémentaires ciblées sont venues combler le jeu de données sur des points qui restaient un peu en suspens à la fin du premier programme. En particulier, les campagnes supplémentaires 2013 ont pu venir conforter le jeu de données sur la description des conditions de référence dans la zone des Mornes de Martinique, insuffisamment décrites auparavant, par ajout sélectif de sites aux conditions non impactées, de type sources ou résurgences très minéralisées de ce secteur. D'autre part, le fonctionnement régulier des réseaux une année de plus, ainsi que le rajout sélectif de quelques sites sur des continuums amont-aval de cours d'eau volcaniques en Guadeloupe ont donné des éléments complémentaires permettant de mieux cerner l'écologie spécifique de l'espèce NINC.

Aussi, dans le contexte de démarrage d'un nouveau Plan de Gestion des masses d'eau pour la période 2015-2021 et de publication de nouveaux Arrêtés d'application, il a été décidé d'essayer de produire un **nouvel indice optimisé** tirant parti des référentiels complets disponibles à la date de fin 2013, l'IDA-2.

## Rapport final

Une voie intéressante d'amélioration pouvait être sérieusement escomptée en raffinant les règles d'utilisation des taxons pour la bio-indication. Ce travail devait permettre :

- de conforter l'intensité du signal d'altération porté par les espèces, certaines apportant un message très net d'altération intense (forte occurrence/abondance en Classe 1), d'autres apportant un message confirmé d'altération moyenne (forte occurrence/abondance en Classe 2, présence possible en Classe 1), ou un message net d'altération, mais sur la base d'un profil encore assis sur des occurrences ou des effectifs insuffisants pour le rendre très robuste
- de régler le problème posé par le fort niveau de saprobie naturelle rencontré au moins de façon saisonnière dans les DOM îliens tropicaux, y compris en têtes de bassins très préservées, qui ne correspond pas à une conséquence d'anthropisation mais à la chute de quantités importantes de fruits ou d'autre matériel végétal fermentescible (fleurs, feuilles) provenant des arbres du corridor fluvial directement dans les cours d'eau. La façon d'arriver à ce résultat a été d'établir un seuil-plafond d'occurrence des taxons d'alerte dans les 2 classes indicatrices des meilleures qualités abiotiques (Classe 5 et Classe 4), afin de ne pas confondre taxons d'alerte permettant de diagnostiquer l'altération anthropique et taxons saprobes naturellement présents sur sites tropicaux amont non-impactés par l'homme.

Dans cette optique, après avoir travaillé plusieurs itérations de scénarios de règles en étroite collaboration entre scientifiques et experts de terrain, il a été décidé de mobiliser 2 types gradés de taxons d'alerte pour fonder le nouvel IDA-2, au lieu d'un seul dans la version précédente.

Les règles de sélection adoptées ont été les suivantes :

- Pour les «**Taxons**<sup>2-</sup>», dotés d'une valence d'altération de (-3) dans l'IDA-2 :  
(Probabilité en Cl.1  $\geq$  0,6) **ET** [  $\Sigma$  Probabilités en (Cl.1 + Cl.2)  $\geq$  0,8]  
**ET** [  $\Sigma$  Probabilités en (Cl.4 + Cl.5)  $\leq$  0,1]
- Pour les «**Taxons**<sup>1-</sup>», dotés d'une valence d'altération de (-1) dans l'IDA-2 :  
[  $\Sigma$  Probabilités en (Cl.1 + Cl.2)  $\geq$  0,55] **ET** [  $\Sigma$  Probabilités en (Cl.4 + Cl.5)  $\leq$  0,175]
- «**Taxons +**» : Tous les autres taxons suffisamment représentés dans le jeu de données pour s'être vus calculer un profil dans l'IDA-2 et ne remplissant pas les conditions précédentes. Ils ne présentent aucun message particulier vis-à-vis de la détection de l'altération.

Donc trois types différents de taxons, dont la symbolique attachée à la figuration des profils est présentée en partie 3 de la **Figure 23**, interviennent dans le calcul de l'IDA. Suite à l'application des seuils précédents, ils représentent les effectifs suivants dans chaque catégorie :

**Taxons contributifs pour l'IDA-2 :**

- 22 «Taxons--», assortis d'une valence d'altération de -3 (couleur marron),
- 25 «Taxons-», assortis d'une valence d'altération de -1 (couleur beige),
- 131 «Taxons+» (couleur bleu clair), sans signification particulière vis-à-vis de la détection de l'altération.

➔ **Soit un total de 178 taxons intervenant dans le calcul de l'IDA-2.**

***Nota :** 8 taxons halophiles dépassant les seuils quantitatifs ont pu se voir calculer un profil. Néanmoins, ils ne participent ni à l'effectif du relevé servant à calculer la note indicielle, ni au calcul d'indice.*

Les caractéristiques (identification taxonomique, distribution dans le jeu de données, éléments du calcul des profils de qualité) des **178 taxons constitutifs de l'IDA-2**, ainsi que des **8 taxons à l'écologie halophile** non pris en compte dans le calcul d'indice, sont présentés de façon exhaustive dans l'**Annexe 4**.

Les profils de qualité calculés pour les 186 taxons précités, suffisamment représentés pour se voir calculer un profil, sont figurés dans l'**Annexe 5**. En fonction de son statut par rapport au calcul de l'IDA-2, chaque type de taxon présenté dans cette annexe fait l'objet d'une figuration particulière dont la légende figure en fin d'annexe :

- les profils des taxons d'alerte «Taxons<sup>2-</sup>» sont figurés en brun foncé,
- les profils des taxons d'alerte «Taxons<sup>-</sup>» sont figurés en couleur orangée,
- les «Taxons +» sont figurés en bleu,
- les 8 taxons halins, non utilisés dans le calcul de l'IDA-2, sont figurés en couleur violacée.

L'utilisation des profils de taxons pour le nouvel indice s'est largement basée sur la physionomie du profil obtenu par le calcul des probabilités d'abondance relative pondérée de chaque taxon dans chaque classe de qualité. Mais elle a aussi réservé une assez large place à l'expertise hydro-écologique existante, avec la mise en œuvre de synergies faisant converger des résultats de l'analyse de la bibliographie scientifique existante (sources ASCONIT et IRSTEA), ainsi que la connaissance plus particulière du contexte local (sites du réseau d'étude et situations dans lesquelles ont été trouvées les espèces typiques de ces flores des Antilles) spécifiquement apportée par les collègues d'ASCONIT.

L'expertise écologique est certainement assez délicate à mettre en œuvre sur des taxons nouveaux, ou pour des taxons connus ou rapportés à des taxons connus mais dont l'écologie peut différer entre Métropole et Antilles, ou entre bibliographie existante quelque part ailleurs dans le monde et Antilles. Cependant, les profils ont fait l'objet d'une validation par avis d'experts (IRSTEA et ASCONIT), qui a parfois conduit à un amendement d'application de règles.

Il faut à ce stade faire remarquer la difficulté attachée à la notion d'espèce décrite uniquement selon des critères morphologiques, l'écologie attachée à l'espèce dans un contexte biogéographique donné (ici, contexte îlien très spécifique et isolé, sur lequel une pression de sélection environnementale a pu s'appliquer dans une direction particulière) n'étant pas forcément la même que celle attachée à la même espèce en métropole ou ailleurs dans le monde. En effet, la morphologie ne rend pas forcément et automatiquement compte d'une éventuelle sélection écologique sur place, ces 2 aspects n'ayant pas de raison fondamentale d'être étroitement couplés. Il en serait d'ailleurs probablement de même sur la base de critères génétiques, la part de modification ou de déviation du génôme réellement en lien avec l'adaptation locale des préférences auto-écologiques du taxon n'étant certainement pas évidente à isoler ni à attribuer par rapport à ce qui ressort plus globalement d'un début de spéciation dans un contexte d'éloignement biogéographique.

Outre le fait que de nombreux taxons attachés à cette zone Antilles et assez méconnus, voire complètement nouveaux pour la science, ont été trouvés dans le cadre de cette étude, dont la description autre que très sommaire des caractéristiques écologiques (informations indicatives, plutôt qualitatives ou relatives, sur un petit nombre de descripteurs abiotiques généraux, comme pH ou conductivité électrique, absence de référentiel de valeurs quantifiées) n'était antérieurement disponible nulle part, cette possibilité de sélection environnementale locale vient donner un argument de plus en faveur du caractère indispensable de la création d'un indice spécialisé aux Antilles. En effet, il vaut mieux pouvoir associer aux **espèces locales** des informations écologiques suffisantes **issues du contexte biogéographique local**, qui résument leurs particularités de distribution entre sites d'étude en fonction des conditions écologiques et d'anthropisation qui y ont été analysées ou mesurées.

L'expertise réalisée sur les profils bruts calculés aux Antilles a pu s'appuyer assez largement sur les référentiels de chimie collectés sur place et sur des aspects quantitatifs liés au taxon, qui viennent plus ou moins conforter l'assise de la classification faite.

En effet, un taxon plus fortement fréquent et abondant dans le jeu de données donne plus de robustesse au profil calculé qu'un taxon peu représenté, dont le profil moins consolidé reste porteur à ce stade d'une part d'aléa plus importante dans l'information de distribution qu'il intègre.

Il est donc intervenu beaucoup d'expertise et d'itérations entre experts pour la **fixation définitive des règles et seuils qui allaient s'appliquer pour affecter un taxon à une catégorie ou à une autre**. Les règles adoptées au final, nettement raffinées par rapport à celles utilisées pour l'IDA-1, sont celles qui ont permis de classer les taxons et/ou certains sites-tests expertisés de la façon la plus consensuelle entre experts comme révélateurs de basculements écologiques.

Une décision importante qui s'est imposée a été de fixer non seulement des seuils d'altération de taxons d'alerte sur une présence cumulée minimale des taxons dans les 2 classes de qualités inférieures, mais aussi de plafonner leur intervention dans des sites de référence ou de très bonne qualité. Il était en effet primordial de bien sélectionner les taxons dont la présence est un signe indiscutable de présence d'une altération anthropique, afin de ne pas générer un bruit de fond faisant baisser les notes de façon injustifiée en l'absence d'altération anthropique.



Cette pratique a permis une prise en compte plus judicieuse des taxons représentatifs de la saprobie naturelle des milieux préservés des Antilles, sensiblement plus forte que dans les cours d'eau montagnards de métropole.

Les règles pré-indiquées page 65 ayant été stabilisées après consensus des experts et les taxons ayant été classifiés de façon automatisée sur la base de ces règles de décision, chaque profil a refait l'objet d'un examen-expert. L'objectif principal était de n'affecter une valence d'altération qu'à des taxons indiscutablement associés à une dégradation anthropique des milieux. L'application automatique des règles adoptées fonctionnant bien pour la plupart des taxons, seules 2 modifications de classification ont dû être introduites après expertise attentive (taxon GO75 et taxon NINC).

Dans ces 2 cas, une mention explicite permettant de garder en mémoire (\*) et d'assurer la traçabilité de cette pratique a été portée sur le profil correspondant en **Annexe 5**.

(\*) **Nota** : Avec des jeux de données confortés par plusieurs années supplémentaires de fonctionnement de divers réseaux, les occurrences de certains taxons pourront être confortées et il sera possible le moment venu, si le changement est justifié par des données suffisantes et cohérentes, d'amender le statut d'altération de certains de ces taxons.

**GO75** est un taxon qui n'a été rencontré que 4 fois, il s'est donc vu calculer un profil dérogatoire et participe à l'IDA-2 bien qu'ayant eu une occurrence de moins que le seuil minimal adopté pour la sélection sur les occurrences (4 au lieu de 5). Cependant, il n'a été trouvé qu'en Martinique ou il présente les caractéristiques de taxon « urbain » (peu d'occurrences, mais abondances relatives plutôt significatives aux endroits et aux dates où on le trouve). Comme il a toutes les chances à l'avenir de marquer fortement les effectifs de quelques relevés de réseau, l'expertise a conduit à l'inclure d'emblée à la liste des taxons contributifs afin d'éviter d'avoir à le faire plus tard et de faire changer ainsi les notes de la version d'IDA sur ces relevés.

Pour **NINC**, l'expertise a dû être beaucoup plus approfondie. En effet, ce taxon est l'un des plus occurrents et des plus abondants dans le jeu de données, malgré qu'il soit pratiquement toujours absent d'un nombre important de sites d'étude implantés sur laves volcaniques jeunes (cours d'eau à trop faibles conductivités électriques) et à plus de 200 m d'altitude.

Ayant des exigences limitantes sur le plan de la conductivité électrique et de minéralisation de l'eau (il ne peut pas s'accommoder d'eaux trop faiblement minéralisées), il est par contre présent et abondant sur tous les substrats carbonatés ou de tufs conditionnant une minéralisation de l'eau moyenne ou forte (de type conditions des Mornes de Martinique ou sortie d'eaux thermales minéralisées et plutôt alcalines).

Il a aussi des préférences thermiques à un niveau assez élevé, les eaux fraîches d'altitude empêchant son implantation sur la partie amont et même moyenne des cours d'eau prenant leur source sur les massifs volcaniques.

Sur le critère mixant occurrence et abondance relative, qui a servi à hiérarchiser la représentation des taxons du jeu de données Antilles, **c'est le taxon qui se classe en première position**. Le classer dans un statut de bio-indication ou dans un autre va donc avoir de lourdes conséquences sur le référentiel de notes de tout le jeu de données d'étude. Le schéma donné en haut de **Figure 24 page suivante** avait été élaboré au moment où la question sur le principe d'intervention ou non de NINC en taxon d'alerte de l'IDA-1 se posait.

Rapport final

Ce graphique figure le pourcentage de taxons d'alerte présent par classe de qualité servant de base aux profils de l'IDA :

- sans NINC en taxon d'alerte (croix rouges)
- avec NINC en taxon d'alerte (ronds noirs)

La zone hachurée matérialise la distribution et la contribution de NINC aux taxons d'alerte si on le place dans ce statut.

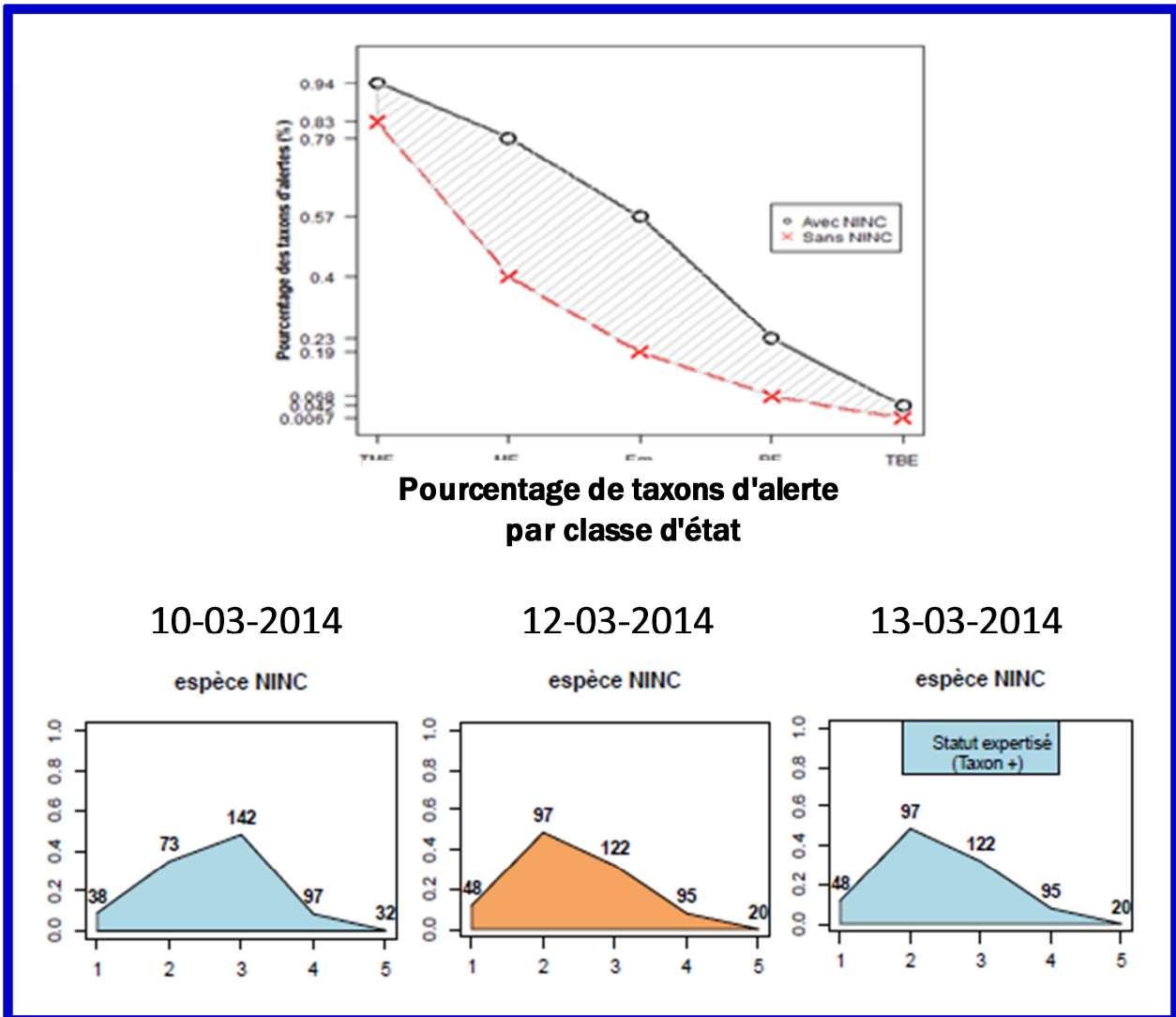


Figure 24 : Poids de NINC dans le jeu de données, profils de qualité envisagés

On peut voir que, à part pour les sites de classe de référence (classe 5), très sous-représentées dans la catégorie des eaux moyennement à fortement minéralisées (le jeu de données du programme d'étude avait un gros déficit de sites de référence de ce type, d'où une étude complémentaire 2013), cette espèce est présente à peu près partout à des pourcentages d'abondance relative assez élevée et qu'à elle seule, elle fait environ doubler les effectifs de taxons d'alerte sur la zone des classes 2, 3 et 4.

Son statut vis-à-vis de l'indice joue donc un rôle primordial sur le niveau de notation de tout le jeu de données et est susceptible de doubler le signal d'anthropisation. Mais cela correspond-t-il à une réalité d'altération anthropique ?

Même si ce taxon semble peu représenté en sites de référence dans le contexte du jeu global de données Antilles, ou les sites ou relevés sur laves volcaniques constituent les 4/5èmes du jeu total, cela vient artificiellement du fait que peu de sites de référence, et plus largement, peu de sites sur substrats fortement minéralisés sont présents dans le jeu de données Antilles (71 relevés sur 485 dans le contexte du jeu de données de fin du 1<sup>er</sup> programme sur la base duquel a été élaboré ce graphique, soit moins de 15% des sites et des relevés). Cela contribue à fausser la physionomie du profil de cette espèce par déséquilibre de représentation des situations naturelles, d'autant que la morphologie de la zone des Mornes (reliefs modérés, sols profonds et fertiles) en fait une zone à assez forte pression anthropique générale, sur laquelle l'effectif de sites de référence devient de fait très minoritaire. En effet, NINC est trouvée, parfois en abondance dominante, sur les quelques sites de référence de cette zone, ainsi que sur de petits placages de tufs situés en périphérie du massif de la Montagne Pelée au Nord de la Martinique (secteur de l'Anse Céron). Donc cette espèce s'adapte à de larges conditions écologiques à partir du moment où la minéralisation de l'eau n'est pas trop faible. On peut voir par contre que son abondance relative diminue fortement dans la Classe 1, ce qui montre que la forte altération lui pose un problème qui la fait régresser malgré le drift venant de l'amont.

En partie basse de la **Figure 24** en page précédente sont portées 3 interprétations de profils possibles pour NINC qui ont successivement été produites aux dates indiquées, dans le cadre d'essais de détermination des profils spécifiques visant à tester différentes règles de délimitation des classes en conjugaison avec différentes règles d'interprétation des profils (pendant la phase d'expertise de ces règles).

Le premier profil à gauche a été produit selon établissement des classes de qualité affectant à la Classe 5 des meilleures conditions abiotiques tous les relevés des sites de référence jusqu'au percentile 20. C'est une méthodologie valide d'établissement des classes de qualité abiotique, qui aurait pu être aisément défendue par rapport à des pratiques souvent appliquées pour la mise en œuvre de la DCE. Dans ce scénario du 10-03-2014 qui donnait une image assez juste de la variabilité naturelle sur sites de référence, en fonction des règles d'interprétation testées, NINC ressortait comme un « Taxon + ».

Le profil du milieu est celui qui ressort avec la méthodologie d'établissement des classes suite à l'application de la méthode de segmentation HCPC présentée en **Figure 18**, après application stricte des règles de décision finales indiquées page 65. Cette méthodologie donne assez bonne satisfaction au niveau global du jeu de données, mais ne « redresse » pas le déficit de relevés acquis en zone naturelle à eaux fortement minéralisées, ni le déséquilibre généré sur la physionomie du profil de cette espèce. Il peut donc être réservé une place à l'expertise pour limiter ce problème en connaissance de cause, d'autant que ce taxon avec son profil déformé est très proche de la limite de basculement Taxon - / Taxon + (c'est le taxon le plus en bascule entre ces 2 statuts).

Le 3<sup>ème</sup> profil à droite serait le statut modifié après intervention d'un arbitrage expert.

En complément des éléments de cette **Figure 24**, Il est intéressant d'étudier certains aspects de positionnement écologique de NINC en comparaison avec un taxon proche sur les préférences d'hydrochimie de base mais aimant l'enrichissement anthropique.

Rapport final

Cette comparaison de NINC avec un taxon (ADEG) dont l'affinité avec l'altération anthropique est très claire est présentée dans le cadre de la **Figure 25** ci-dessous.

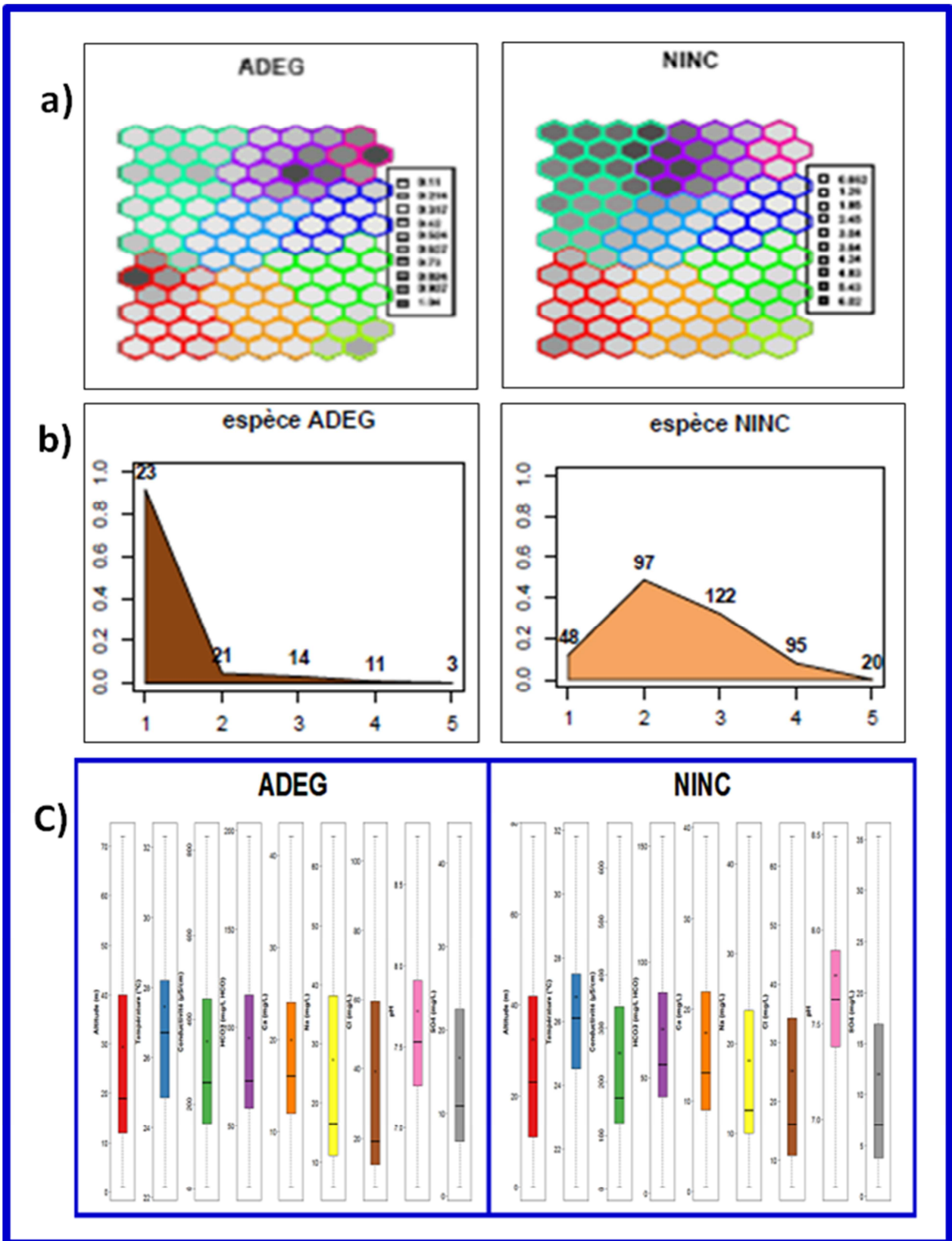


Figure 25 : Comparaison des taxons ADEG et NINC sur le plan écologique

La partie haute de la figure (partie **a**) présente les profils de répartition de ces 2 taxons dans la SOM ayant permis d'établir la biotypologie des peuplements des Antilles (rapport final IDA-1 du 14-10-2013, Figures 45 à 47 et Annexe 10).

On peut noter que NINC se positionne plus fortement en Martinique (partie gauche de la SOM) et s'accroît par un gradient curvilinéaire passant par les clusters 1 (rouge), 5 (verdâtre) et la partie gauche du cluster 8 (violet), cluster très minéralisé qui contient même des sites à influences halines tout en haut de la carte, mais à pollutions très modérées sur sa partie gauche. On peut aussi noter une colonisation modérée (fond grisé) dans les clusters 3 (vert jaune) et 4 (vert clair) en partie basse et droite de la carte, typiques de sites à altitudes modérées à faibles sur sols de laves peu altérées de Guadeloupe. En tout cas, l'espèce est peu représentée en partie droite du cluster 8 (violet) et dans le cluster 9 (les 4 cellules roses, au coin en haut à droite de la SOM), qui contiennent les sites les plus anthropisés du jeu de données, souvent à l'aval de STEPS qui dysfonctionnent.

Par contre, ADEG est fortement représentée dans cette zone, montrant son affinité avec les fortes altérations anthropiques. Cette différence de positionnement influe fortement sur la physionomie du profil de ces 2 espèces. ADEG est nettement plus représentée en Classe 1 que dans toute autre classe, et NINC a un profil nettement plus étalé malgré le grand déséquilibre d'effectifs de relevés entre références peu minéralisées et en altitude sur massifs volcaniques (où il ne peut pas vivre) et sites à forte minéralisation naturelle.

En bas de la **Figure 25** (partie c) sont portés les box-plots de quelques paramètres environnementaux non anthropiques permettant de résumer les conditions naturelles de prédilection de ces espèces (attention aux échelles auto-ajustées, qui peuvent différer pour le même paramètre et pour les 2 espèces, il faut donc s'y référer). Elles ont beaucoup de points communs (vie à faible altitude, le plus souvent largement en-dessous de 100 m d'altitude, besoin de températures plutôt élevées, de 24 à plus de 28 degrés, signant des conditions aval de bassin versant, conductivités électriques de l'eau moyennes à fortes (les conductivités inférieures à 120 ou 130  $\mu\text{s/cm}$  ne leur permettant pas de coloniser les milieux) etc...

La grosse différence entre ces 2 taxons est donc l'affinité avec les fortes pollutions pour ADEG, bien résumée dans son profil calculé avec ses plus fortes abondances en Classe 1 puis en Classe 2, en conformité avec le référentiel de descripteurs d'anthropisation. Par contre, malgré la forte influence du drift amont-aval pour NINC, qui est l'espèce la plus représentée de tout le jeu de données Antilles (voir Annexe 4 (4), 3<sup>ème</sup> ligne à partir du haut de la page 162), ressortant en N°1 de tout le jeu de données avec 382 occurrences et un score d'abondance cumulée relative de 136,86), NINC s'accommode de larges conditions écologiques et d'anthropisation depuis des sites typiquement de référence en conditions très minéralisées jusqu'à des situations de pollutions moyennes (classe 2), et régresse nettement dans les relevés représentatifs de la Classe 1, ce qui montre bien qu'elle est sortie de son domaine d'affinité, avec perte nette de compétitivité et/ou de viabilité.

En résumé, l'examen des conditions auto-écologiques de NINC montre que la répartition de cette espèce, la plus représentée de tout le jeu de données Antilles sur une prise en compte intégrée d'occurrence et d'abondance relative, est limitée de façon drastique par les trop faibles conductivités électriques et par les basses températures de l'eau, ce qui la cantonne **sur des substrats suffisamment minéralisés**, ou elle fait preuve d'une euryécie marquée (large amplitude des conditions écologiques qu'elle peut tolérer) et **dans la partie aval des bassins versants, à température de l'eau suffisante**.

En effet, l'altitude et l'abaissement des températures de l'eau qu'elle provoque *in situ* constituent un facteur important de limitation de sa distribution.

La sous-représentation de fait de sites de référence très minéralisés aux Antilles (la plupart de la surface ou existent des cours d'eau permanents sous faible pression anthropique étant constituée par les massifs volcaniques aux eaux à trop faible charge minérale) conduisent à un déséquilibre de son profil calculé par sous-représentation dans la classe 5.

Dans ces conditions souvent atteintes à l'aval des bassins versants, notamment sur substrats volcaniques à partir du moment où les 2 conditions limitantes précitées sont levées, l'espèce peut apparaître et atteindre de forts effectifs, ce qui a contribué à générer un peu d'ambiguïté sur sa signature. En effet, notamment dans le contexte de la Basse-Terre de Guadeloupe aux eaux très peu minéralisées, **la levée des 2 facteurs limitants** (minéralisation insuffisante de l'eau, levée de la contrainte thermique) **apparaît vers l'aval des bassins versants, alors que la pression anthropique augmente** (elle peut d'ailleurs jouer aussi sa part d'influence sur l'augmentation de la conductivité de l'eau, aux côtés du gradient naturel amont-aval qui s'exerce de façon statistique dans le jeu de données).

Mais en fait, il s'agit plus d'une relation de co-occurrence statistique que d'une relation cause-effet réelle liant de façon organique une présence obligatoire d'altération anthropique (et de l'enrichissement qui y est lié) à la représentation quantitative de l'espèce. Des contre-exemples nets existent en situations de référence sensiblement minéralisées ou l'espèce peut être très présente et même dominer nettement l'assemblage (zone des Mornes du Sud-Martinique, sites de référence VAUm et PILm, secteur volcanique Nord-Martinique avec 2 sites de référence indiscutables aux eaux naturellement minéralisées, CERm ou Anse Céron amont prise canal habitation Céron, GRDm Grand- Rivière Trou Diabliesse).

La philosophie sous-jacente à l'élaboration de l'IDA-2 est basée sur l'utilisation de taxons d'alerte **dont l'apparition est liée de façon indiscutable à la présence d'une altération anthropique marquée** à l'amont du site de prélèvement.

Même si une ambiguïté peut exister localement pour cause de levée de facteurs limitants avec conjonction de pression anthropique (aval des bassins versants périphériques des massifs volcaniques), NINC ne constitue pas un indicateur fiable de pression anthropique.

Afin d'éviter de générer un fort bruit de fond occasionnant une baisse aléatoire des notes d'IDA-2 sur plus de la moitié du jeu de données, pour des raisons dominantes qui ne sont pas l'affinité de ce taxon pour les conditions d'enrichissement en nutriments liées à l'anthropisation, il a donc été décidé après examen attentif, d'un commun accord entre tous les experts scientifiques, de requalifier ce taxon de Taxon<sup>-</sup> en Taxon<sup>+</sup>.

Le profil utilisé pour le calcul de l'IDA-2, tel que retenu dans l'**Annexe 5**, est donc au final celui présenté en bas de **Figure 24** à droite page 69 (profil du 13-03-2014 représenté en couleur bleue, interprétation amendée par expertise, **utilisation de NINC comme Taxon<sup>+</sup>**).

### IV.3. Formulation de l'IDA-2

La formule de calcul de l'IDA-2 est présentée ci-dessous :

Équation 3 : formule de calcul de l'IDA-2

$$\text{IDA-2} = \left[ \sum \text{Ab}_{\text{relative}}^{+} * (\text{NbrEsp}^{+} / \text{RS}) \right] - \left[ 1 * \left[ \sum \text{Ab}_{\text{relative}}^{-} * (\text{NbrEsp}^{-} / \text{RS}) \right] \right] - \left[ 3 * \left[ \sum \text{Ab}_{\text{relative}}^{2-} * (\text{NbrEsp}^{2-} / \text{RS}) \right] \right]$$

où **RS** = *richesse spécifique du site en taxons constitutifs*

Elle fait intervenir les abondances relatives de chaque taxon et une valence d'altération gradée entre Taxons - et Taxons 2-, le nombre d'espèces de chaque statut du relevé et la richesse spécifique du relevé (en taxons constitutifs de l'IDA-2).

De fait, cette formule de notation naturelle de l'IDA-2 cumule l'utilisation de 2 métriques :

- La première ligne, orientée « bonne qualité du relevé », consiste à calculer l'abondance relative globale du relevé en « Taxons<sup>+</sup> ».

Ce calcul étant normalisé par rapport à la richesse spécifique globale de l'assemblage, son résultat peut varier entre 100 (présence exclusive de « Taxons<sup>+</sup> » dans le relevé) et 0 (absence complète de « Taxons<sup>+</sup> » dans le relevé). A ce stade, le résultat de ce premier terme porte uniquement sur la représentation globale de l'effectif du relevé en « Taxons<sup>+</sup> » et ne préjuge pas de la composition de l'assemblage dans les 2 catégories de taxons d'alerte.

- Les 2 termes suivants constituent une seconde métrique orientée mesure de l'intensité d'altération anthropique. Ils viennent soustraire au résultat de bonne qualité du premier terme un score d'altération d'autant plus fort que le relevé sera riche en frustules indicatrices d'altération intense. A chaque frustule d'un « Taxon<sup>-</sup> », dont le profil est représentatif d'une affinité avec des altérations moyennes, va être affecté un coefficient d'altération modéré d'un poids de (-1). A chaque frustule de « Taxon<sup>2-</sup> », dont le profil est indéniablement représentatif d'une forte intensité d'altération, va être affecté un coefficient d'altération intense d'un poids de (-3).

Le résultat de ces 2 termes d'intensité d'altération va venir se soustraire au résultat de qualité générale du relevé obtenu par le 1<sup>er</sup> terme.

Quand le relevé ne comporte que des « Taxons<sup>+</sup> », le résultat du 1<sup>er</sup> terme s'établit à 100 et aucune baisse de note liée aux 2 termes suivants ne vient s'appliquer.

Un cas intermédiaire théorique d'altération est présenté pour bien illustrer le fonctionnement de la note naturelle d'indice.

Imaginons que tout le relevé soit constitué uniquement de « Taxons <sup>-</sup> ». Le premier terme s'établit à 0, et le résultat du calcul des 2 derniers termes s'établit à [-100], soit une note naturelle finale de [-100].

Imaginons maintenant le pire cas d'altération théoriquement envisageable, soit un relevé uniquement constitué de « Taxons <sup>2-</sup> ». Chaque frustule identifié étant affecté d'un coefficient d'altération de (-3), le premier terme s'établit à 0 (cas identique au précédent), et le résultat du calcul des 2 derniers termes s'établit à [-300], soit une note naturelle finale de [-300].

Dans la gradation des théoriquement possibles entre une intervention exclusive de « Taxons<sup>+</sup> » et une intervention exclusive de « Taxons <sup>2-</sup> » dans le relevé, le résultat du calcul d'indice peut donc varier entre (+100) au maximum et (-300) au minimum, correspondant à une échelle de notation naturelle de 400 unités.

Si la meilleure situation théorique possible est observée de façon assez courante sur certains sites des Antilles, qu'ils soient de référence ou sans altération détectable à certaines dates, conduisant effectivement à l'obtention de notes naturelles de 100, la pire situation théoriquement envisageable, ou l'on n'aurait un relevé constitué que de « Taxons <sup>2-</sup> » donnant une note de (-300), n'a aucune chance d'être réellement rencontrée dans un vrai milieu aquatique des Antilles, même altéré de façon extrêmement lourde.

En effet, les secteurs très altérés constituent des linéaires très courts avant d'atteindre le domaine marin (exemple de STEPS implantées à l'aval de réseaux gravitaires, donc à altitude extrêmement faibles et dont le rejet arrive dans le milieu naturel à moins de 100 m du littoral, de type FHSm, STEP de Ste Luce au Sud-Martinique. Dans ces conditions, le cours naturel de la rivière continue d'amener un drift de taxons + qui, même si les conditions locales ne leur conviennent pas, continuent au moins de sédimenter sur les substrats naturels. Il en est de même, en encore plus forte proportion, pour des « Taxons <sup>-</sup> » qui viennent affaiblir la note obtenue par le 1<sup>er</sup> terme de la formule, mais contribuent à chaque frustule comptée d'éloigner le résultat final du (-300) qui serait la note minimale atteignable si uniquement des taxons « Taxons <sup>2-</sup> » participaient à l'assemblage.

En pratique, en situation réelle de cours d'eau des Antilles et même dans les situations de pire pollution ponctuelle, il n'a jamais été possible jusqu'à présent de trouver une note naturelle inférieure à [- 148] et il est peu envisageable en pratique d'y être un jour confronté, vu que cette note a été atteinte directement à l'aval d'un rejet direct de STEP très polluante dans un cours d'eau avec débit instantané quasiment nul.

La notation sur 20 étant la plus couramment pratiquée dans le cadre des méthodes de bio-indication diatomique françaises (IPS, IBD) et de bien d'autres outils de bio-indication diatomique utilisées par des pays-membres de l'UE, il a été décidé, comme antérieurement à la Réunion :

- de re-normer la note d'indice d'une notation naturelle vers une notation [0 – 20] plus facile à utiliser pour le gestionnaire,
- d'adopter pour zéro un seuil minimal de note naturelle approché, mais jamais atteint dans les situations réelles (ici, cette limite inférieure a été arrêtée à [-150].



Cette dernière pratique permet d'utiliser efficacement toute la gamme des possibles en notation indiciaire en évitant de conserver une partie d'échelle qu'il ne sera jamais possible de mobiliser, donc préserve à la fois toute la sensibilité et toute la gradation de réponse permettant de quantifier le diagnostic d'état écologique en un site donné (qu'il soit parfaitement vierge ou le plus impacté possible dans les conditions locales).

La formule de re-normalisation de l'IDA-2 depuis sa gamme de notation naturelle possible [-150] - [+100] vers sa gamme de notation [0] - [+20] est la suivante :

Équation 4 : Formule de re-normalisation de l'IDA-2 en note sur 20

$$\text{Note IDA-2}_{\text{site}/20} = \frac{\text{Note IDA-2}_{\text{nat. site}} - \min(\text{poids Taxon}^{2-} * 100)}{[\max(\text{Note IDA-2}_{\text{nat. site}}) - \min(\text{poids Taxon}^{2-} * 100)]} * 20$$

**avec:**

**min = note naturelle minimale possible, soit (-150)**

**max = note naturelle maximale théorique, soit (+100)**

**poids Taxon<sup>2-</sup> = (-3)**

C'est la note sur 20 d'IDA-2, ainsi que sa conversion en EQR calculé dans le cadre spécifique de sa zone naturelle de rattachement, qui sera ensuite manipulée par les gestionnaires et utilisée pour l'évaluation d'Etat Ecologique du site au relevé.

#### IV.4. Résultats de l'IDA-2, performance de l'Indice

L'IDA-2 a en grande partie résolu certains problèmes détectés avec la première version d'IDA.

La première amélioration concerne une meilleure maîtrise de la saprobie naturelle, qui est bien plus élevée aux Antilles comme dans les autres DOM tropicaux (Réunion...) qu'en métropole, au moins saisonnièrement. Rappelons que cette particularité est due à la conjonction des conditions tropicales de faible altitude, ou subtropicales d'altitude, et aux importantes chutes de matériel végétal (pièces florales et fruits, feuilles...) des arbres constituant le corridor végétal immédiatement en bordure du cours d'eau.

Avec les règles actuelles d'établissement des profils, même s'il en existe encore un peu, le chevauchement entre la gamme de variation naturelle et le début du gradient d'altération anthropique est limité. La gradation du message d'altération porté par les taxons permet aussi une réponse plus fidèle de l'indice.

Enfin, cet indice est beaucoup moins impacté par des effets des fortes minéralisations naturelles de l'eau que les indices métropolitains, notamment l'IPS.

En effet, alors que la note de l'IPS est sensiblement impactée par l'élévation des valeurs de conductivité naturelle, il est possible de trouver certains relevés se voyant encore affecter la note maximale d'IDA-2 de 20/20 sur des sites à forte minéralisation stable (conductivités pouvant monter au-dessus de 4000, notamment sur le site de Paquemar dans la zone des Mornes de Martinique...).

Diverses facettes du comportement de l'IDA-2 ont fait l'objet d'un examen-expert plus satisfaisant que pour la version précédente. Cependant, les améliorations procurées par cette version, en extrayant et en diagnostiquant des séries de relevés au cas par cas sur des points particuliers à examiner, ne sont pas forcément faciles à formaliser de façon démonstrative.

La relation pression-impact entre notes brutes d'IDA-2 (toutes les notes obtenues sur les Antilles, régions naturelles regroupées) et Gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation (GCMA) est censée donner une information globale sur l'intérêt de ce nouvel indice pour diagnostiquer l'altération anthropique, en fonction de la physionomie et de la qualité de la relation.

En première approche, afin de représenter des classes de qualité biologique dans cette relation pression-impact et de pouvoir situer les éventuels décalages d'évaluation entre grands ensembles naturels, une grille provisoire unique de classes de qualité biologique, basée sur les niveaux de note d'indice sur 20, a été construite en basant le seuil de basculement entre classes TBE-BE au percentile 20 des notes des relevés de référence, toutes régions naturelles confondues. Le reste du vecteur est découpé en 4 classes selon l'algorithme de Jenks-fisher :

([http://en.wikipedia.org/wiki/Jenks\\_natural\\_breaks\\_optimization](http://en.wikipedia.org/wiki/Jenks_natural_breaks_optimization))

La grille d'interprétation des notes brutes d'IDA-2 en classes d'Etat Ecologique (jeu de données Antilles complet) est donnée en **Tableau 5** ci-dessous :

**Tableau 5 : Limites de classes d'Etat sur notes brutes d'IDA-2, toutes régions naturelles confondues**

TME	ME	EM	BE	TBE
[0-9,35]	]9,35-14,42]	]14,42-17,26]	]17,26-19.01]	]19.01-20]

Selon ce découpage en classes d'Etat, il est possible de figurer à la fois la relation pression-impact établie entre score de qualité GCMA et note brute d'IDA-2 au relevé (site X date) et le statut écologique de chaque relevé des Antilles selon cette grille unique d'interprétation (cf **Figure 26** en page suivante).

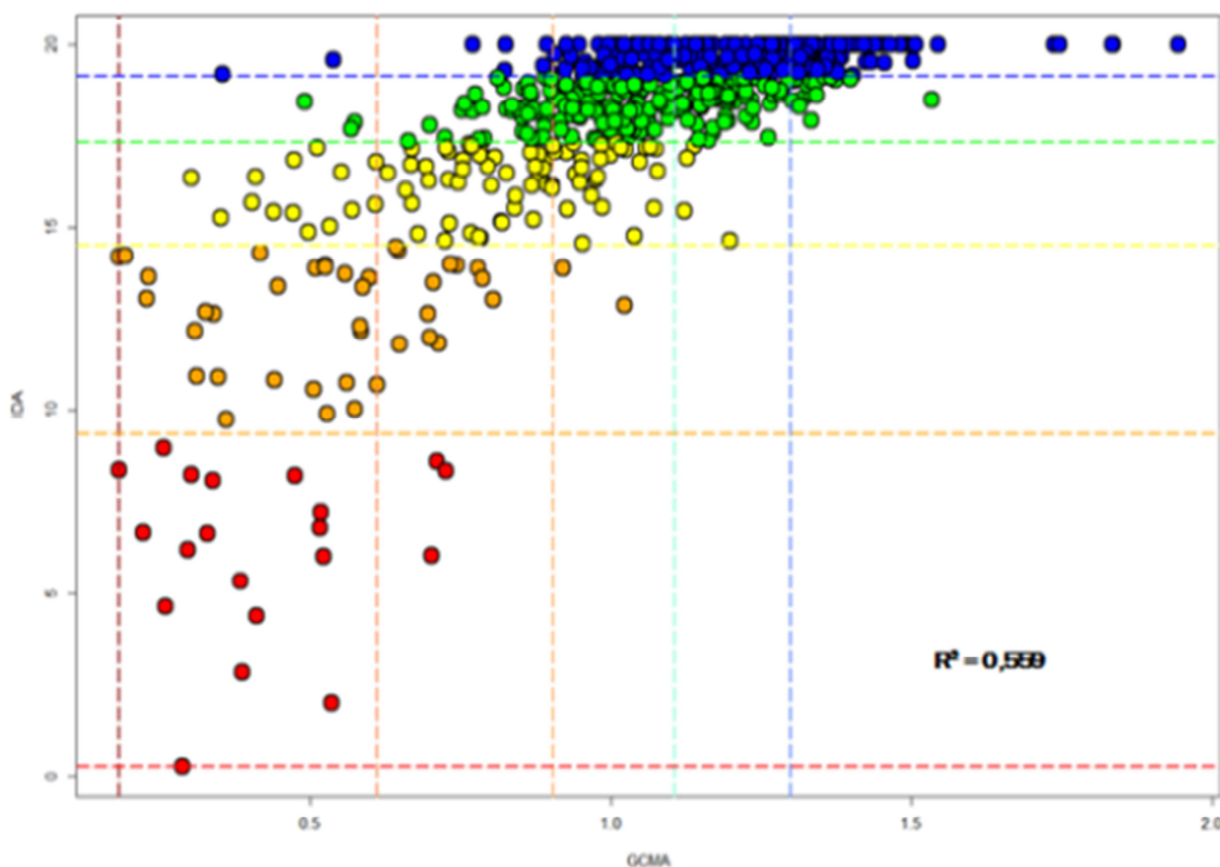


Figure 26 : Relation pression-impact entre score de GCMA et notes brutes d'IDA-2

Sans aucun toilettage de données, le  $R^2$  s'établit à 0,558, ce qui est déjà une valeur sensiblement plus élevée que pour les indices métropolitains de type IPS ou IBD ( $R^2 \approx 0,35$ ).

Il faut d'autre part noter que le GCMA est établi pour moitié sur les gradients abiotiques définis à partir d'**échantillons ponctuels uniques d'eau**, censés représenter les 2 mois de variation de qualité intégrée de l'eau qui ont contribué à sélectionner les assemblages diatomiques en place, ce qui en limite la représentativité temporelle et élargit le nuage de points (la correspondance entre pression et réponse s'ajustant moins bien point par point). Enfin, le  $R^2$  indiqué dans cette figure a été calculé sur une base d'ajustement linéaire, or il est manifeste, quelle qu'en soit la raison, que **le patron de cette relation est curvilinéaire**. Cette caractéristique est de nature à affaiblir la valeur du  $R^2$  calculé sur cette base linéaire par rapport au niveau réel de la relation selon un modèle d'ajustement qui correspondrait mieux aux données.

Au bilan, c'est une relation de qualité plutôt satisfaisante pour un indice de genèse si récente, en tenant notamment compte du fait que les référentiels et le recul acquis, en particulier sur la zone très minéralisée des Mornes de Martinique, sont encore très limités malgré la réalisation de 2 campagnes additionnelles en 2013.

Ces données regroupant des échantillonnages biologiques de 2 zones naturelles aux forçages très différents, il est envisageable que la relation pression-impact s'y exerce de façon différente et notamment avec une pente différente, ce qui serait susceptible d'entraîner comme conséquence opérationnelle le besoin d'une grille différente d'EQRs sur ces 2 zones.

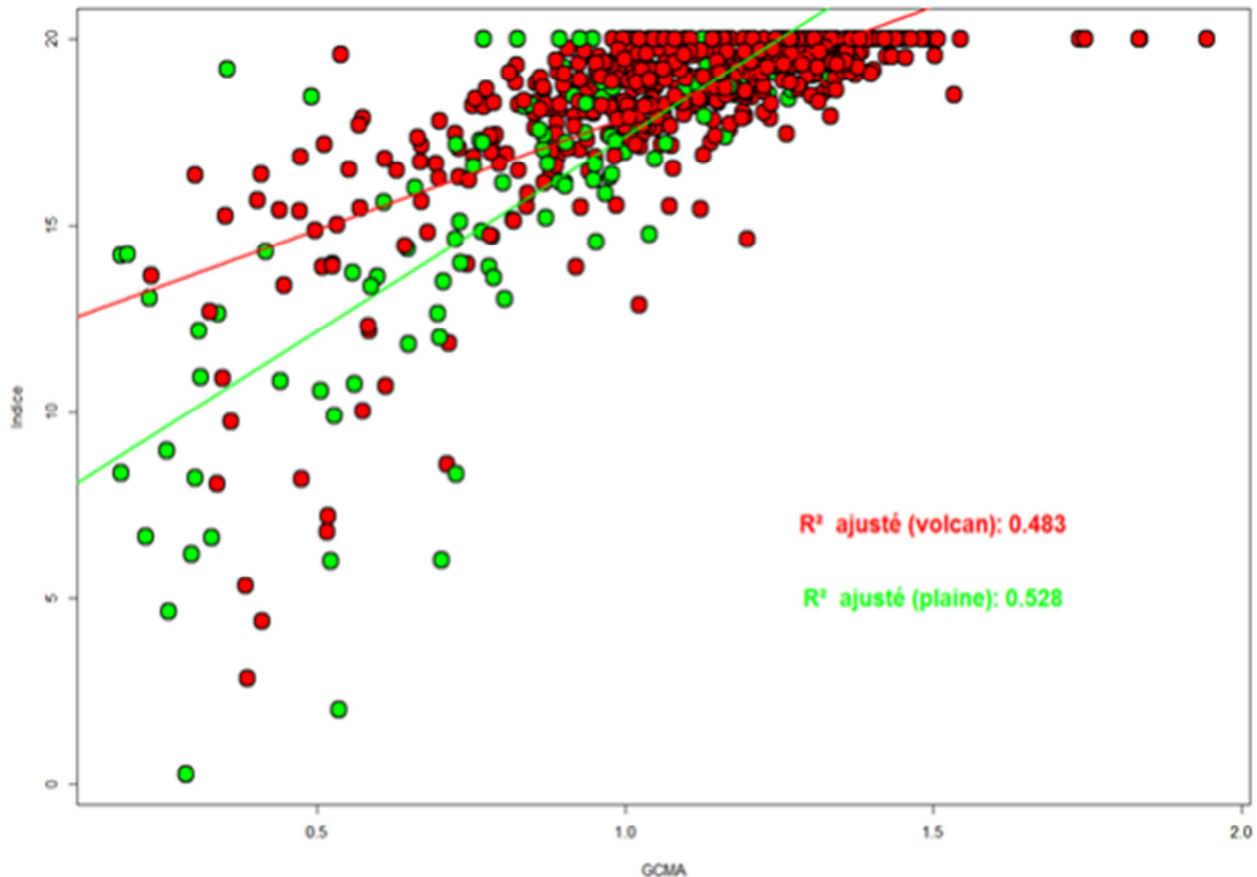


Figure 27 : Relations pression-impact sur jeux de données séparés « Plaine » (en vert) et Volcan (en rouge)

L'examen de la **Figure 27** ci-dessus montre dans les 2 cas une relation pression-impact incontestable et consistante mais effectivement, avec des pentes assez sensiblement différentes pour ces 2 relations, laissant présager la nécessité de grilles d'évaluation particulières pour chacune de ces 2 zones.

Il ne faut pas accorder une attention exagérée aux différences de  $R^2$ , les effectifs permettant d'asseoir ces 2 relations étant très sensiblement différents (4 fois plus pour la zone volcan que pour la zone Plaine).

*A contrario*, la Région Plaine présente un gradient d'altération plus marqué que la région Volcan, facteur qui contribue à amplifier à la fois la pente de la relation et la qualité du  $R^2$  pour cette première région.

En effet, vu le grand nombre de relevés de référence ou de TBE en zone volcan, un large groupe de relevés représentatifs d'une variabilité naturelle génère des résidus par rapport à l'ajustement optimal sans pour autant venir enrichir et illustrer le gradient d'anthropisation et ses effets.

C'est ce qui explique que le  $R^2$  de cet ensemble naturel soit plus faible que pour la zone Plaine, malgré des effectifs de relevés largement plus conséquents.

D'autre part, le défaut de linéarité du patron de ces relations est évident dans les 2 cas. Mais ce n'est pas parce que l'ajustement de la relation pression-impact est non-linéaire qu'elle serait de moindre consistance et de moindre qualité.

Ce point encore sujet à optimisation ne présente pas un verrou opérationnel et n'a donc pas constitué l'urgence la plus essentielle du moment. Cependant, il devrait pouvoir être trouvé par la suite un modèle d'ajustement optimisé pour chacun de ces deux nuages de points, qui permettrait de mettre en œuvre les équations les plus adéquates en correspondance avec la physiologie des données et de minimiser les résidus.

Il en découlerait presque à coup sûr un coefficient de détermination amélioré par rapport aux valeurs indiquées en **Figure 27**, pour cause de meilleur contrôle des résidus.

Toujours dans le but d'évaluer, dans une première approche globale, la qualité du diagnostic permis par cette nouvelle version IDA-2, il a aussi été produit des cartes de qualité au relevé par campagne dérivées de l'interprétation des notes brutes d'indice.

Les **Figures 28 et 29** données en pages suivantes présentent les résultats détaillés d'état diatomique par campagne obtenus sur la Martinique au relevé de terrain à partir des notes brutes d'IDA-2 et de la grille d'interprétation des notes présentée au **Tableau 5**.

Un premier constat ressortant clairement de ces cartes par campagne est que **l'IDA-2 diagnostique bien l'altération, de façon dynamique et gradée**. En effet, des sites réputés altérés peuvent être évalués en très bon état ou parfois en mauvais état selon les caractéristiques du moment de l'activité anthropique, qui d'une part ne s'exerce que rarement de façon constante (exemple : STEPS) et qui peut de plus, selon le cas, être soumise à un rythme d'activité calé sur les saisons (exemples : pratiques agricoles, industries carrières etc...).

Ainsi, globalement, l'évaluation relative de qualité des relevés et des sites entre eux est conforme au jugement-expert de pression anthropique qui s'applique sur le terrain.

On peut cependant remarquer un **décalage logique et assez conséquent de notation et d'évaluation entre la zone Volcan**, aux notes globalement plus élevées, **et la zone Plaine** qui est d'une part être plus anthropisée et altérée en général, mais qui subit aussi des influences plus importantes de variabilité naturelle, à savoir les effets conjoints d'une forte minéralisation de l'eau et de débits d'étiage très faibles (zone assez aride).

Ces caractéristiques d'origine plutôt naturelle pénalisent la notation, y compris en sites de référence.

De ce fait, dans la Zone «Plaine», les notes sont à la fois plus variables selon la date du relevé et les caractéristiques de la séquence hydroclimatique précédant l'échantillonnage biologique, et plus basses en moyenne.

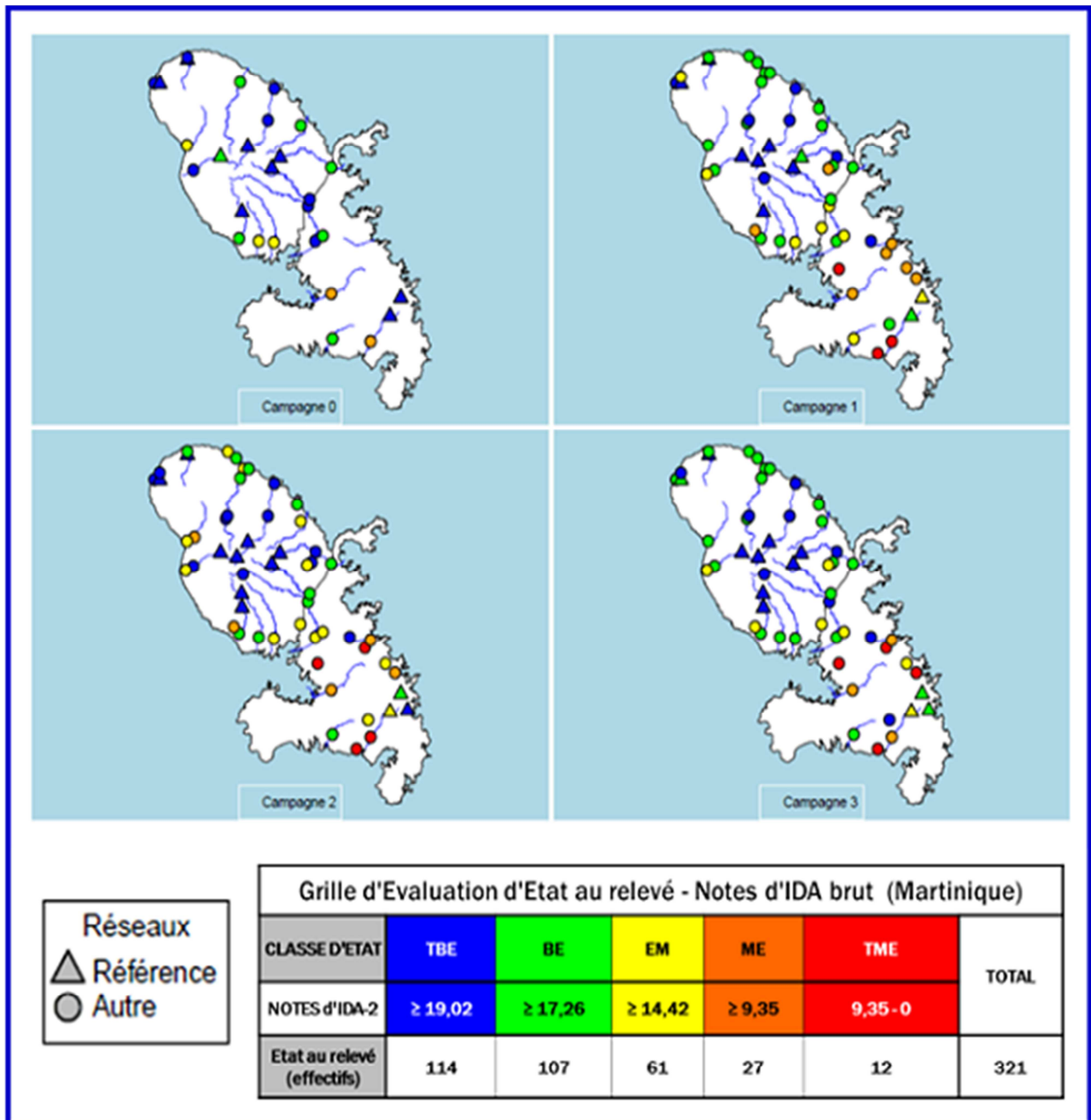


Figure 28 : Cartes d'état diatomique des sites de Martinique pour les quatre premières campagnes de terrain exploitées dans le cadre du programme de recherche-développement « Diatomées Antilles »

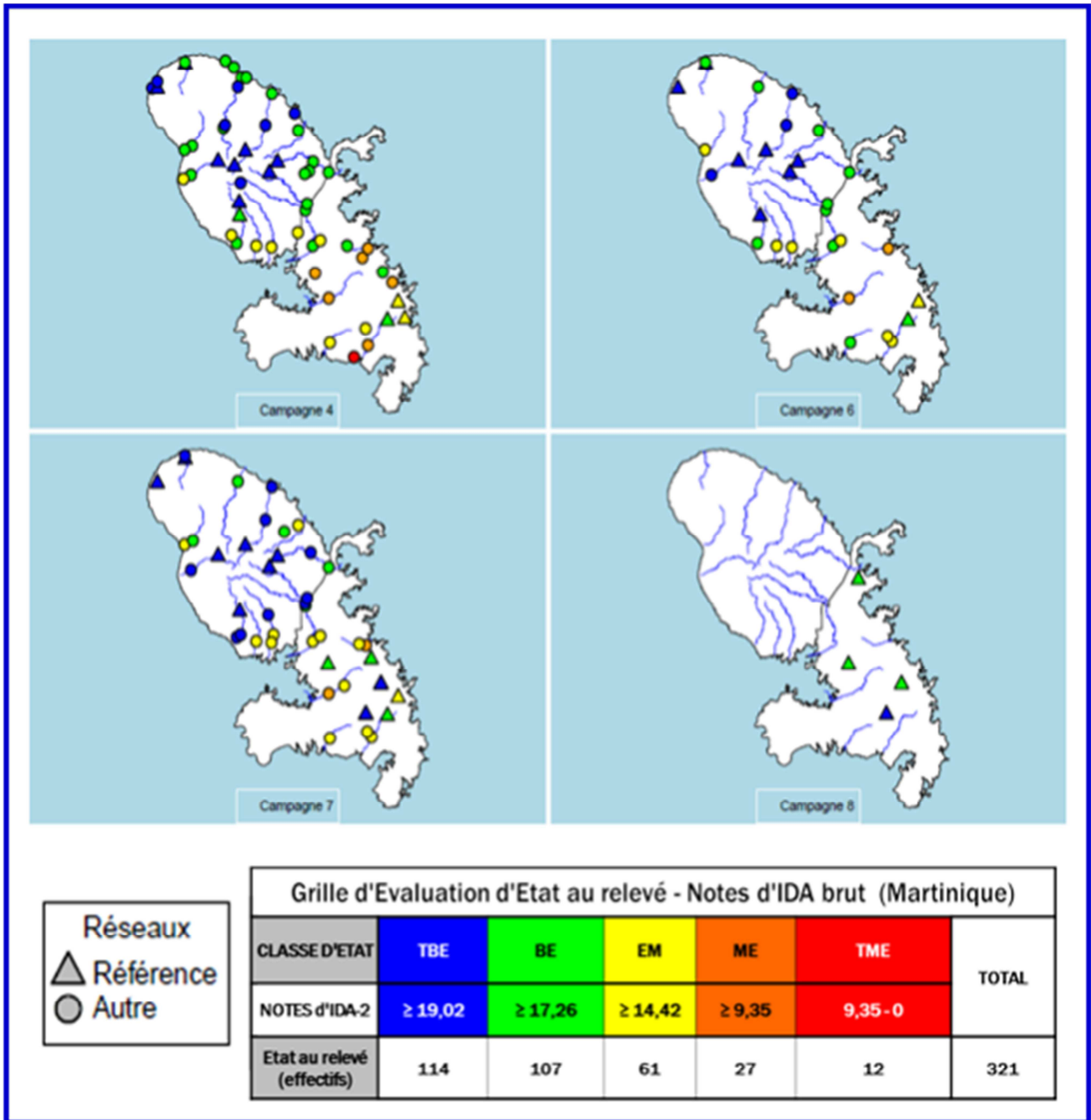


Figure 29 : Cartes d'état diatomique des sites de Martinique (Campagne 4 : dernière du programme de Recherche-Développement ; autres campagnes : réseaux 2012-2013 + campagnes complémentaires)

Pour la Basse-Terre de Guadeloupe (voir **Figures 30** et **31** pages suivantes), un premier constat est qu'il existe moins de variabilité naturelle entre les régions (les 2 HER à cours d'eau permanents concernant cette île ont d'ailleurs pu être regroupées dans un même grand ensemble naturel « Zone Volcan »).

Le diagnostic d'état écologique au relevé présente les mêmes qualités que pour la Martinique, à savoir une bonne concordance entre la réponse de l'indice diatomique et la connaissance du terrain, en particulier en fonction de la nature et de l'intensité des altérations anthropiques.

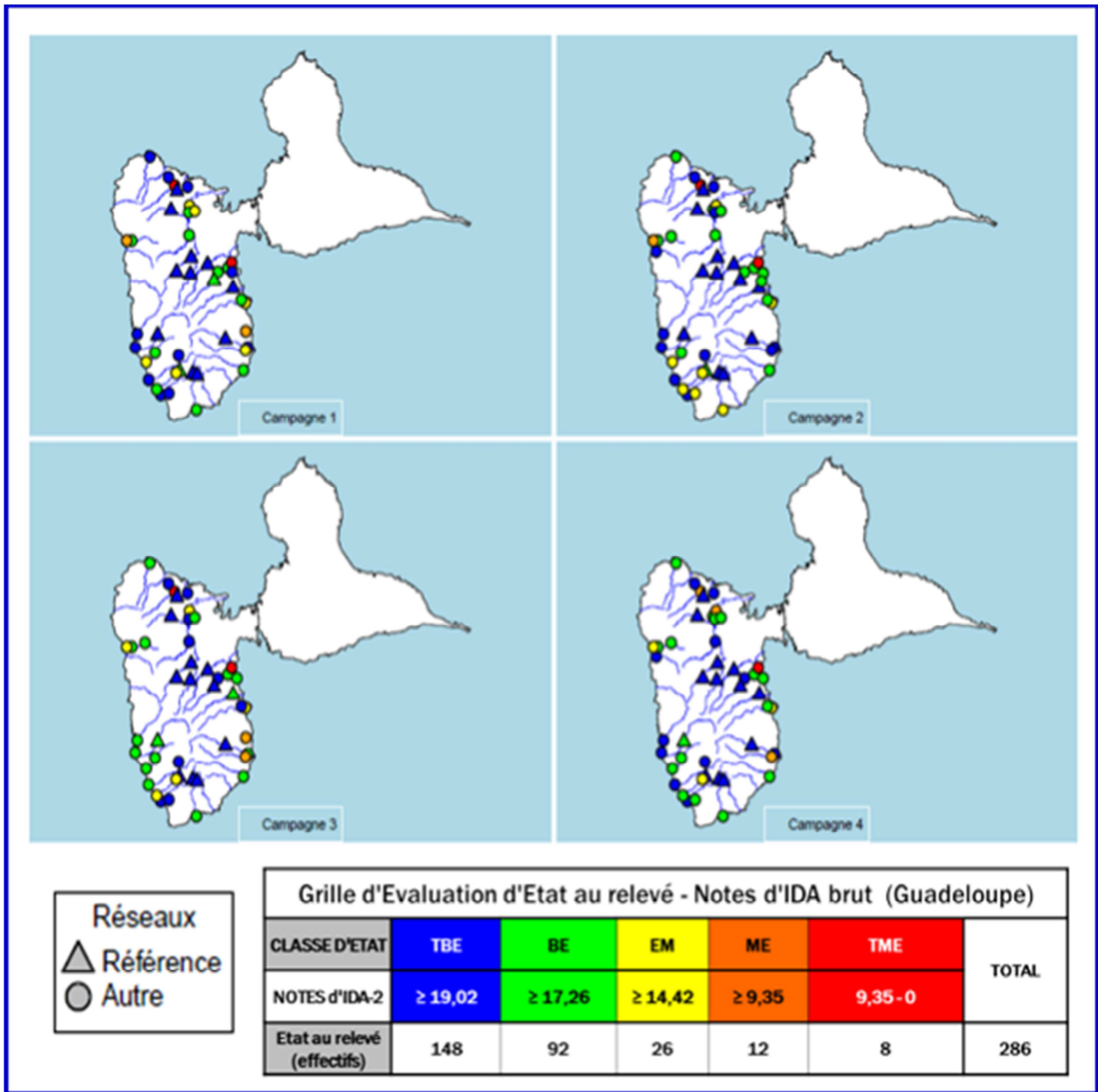


Figure 30 : Cartes d'état diatomique des sites de Guadeloupe pour les quatre premières campagnes de terrain, réalisées dans le cadre du programme de recherche-développement « Diatomées Antilles »

Le diagnostic d'état écologique au relevé présente les mêmes qualités que pour la Martinique, à savoir une bonne concordance entre la réponse de l'indice diatomique et la connaissance du terrain, en particulier en fonction de la nature et de l'intensité des altérations anthropiques.

En Guadeloupe, il est aussi possible de voir l'indice varier dans toute la gamme des possibles, qui peuvent varier depuis des notes de 20 régulièrement atteintes sur des sites non anthropisés du massif volcanique, à des notes très basses atteintes à l'aval d'une pollution ponctuelle type STEP ou IAA à certaines dates (cf Ravine de Onze Heures, OHPg, et Rivière Baret à Bellevue, BABg), faisant classer le relevé en TME (couleur rouge).



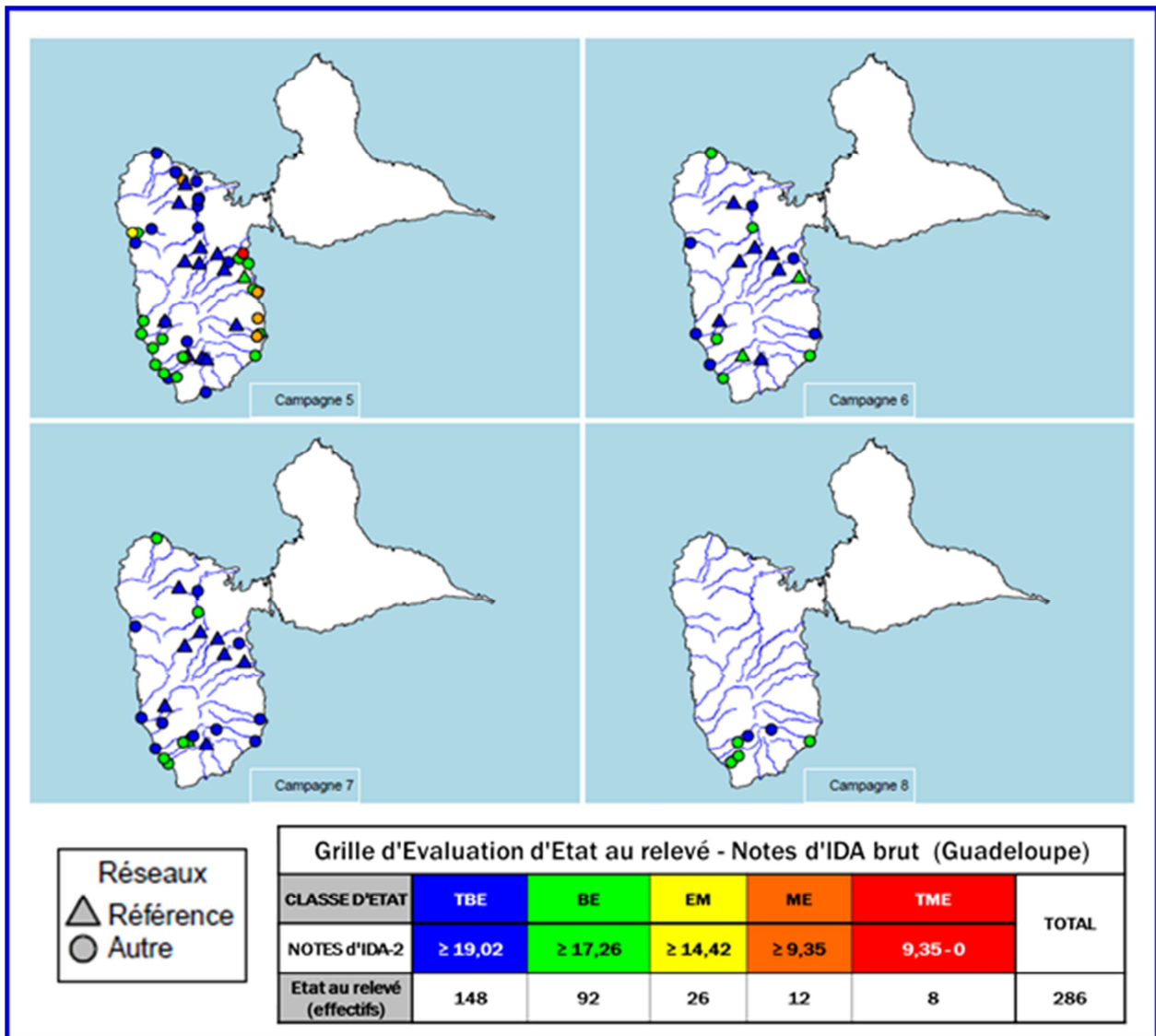


Figure 31 : Cartes d'état diatomique des sites de Guadeloupe (Campagne 5 : dernière du programme de Recherche-Développement. Autres campagnes : réseaux 2012-2013 + campagnes complémentaires)

Au final, par rapport à la première version d'indice produite, l'IDA-2 a apporté une consolidation du diagnostic d'altération et apparaît un bon outil (fiable, robuste, sensible) pour surveiller l'Etat Ecologique des cours d'eau des Antilles dans le cadre du prochain Plan de Gestion

Néanmoins, ce premier examen global permet de constater un décalage net de notation indiciaire entre les 2 grands ensembles naturels repérés (Zone «Plaine» fortement minéralisée de Martinique, Zone «Volcan» plus arrosée et sous l'effet d'une plus faible minéralisation naturelle de l'eau). L'effet différentiel de ces forçages naturels influe sur le niveau de notation des sites de référence et conduit inévitablement, par contrecoup, à de sensibles décalages de niveau d'évaluation entre ces deux ensembles naturels à fortes particularités (cf références régulièrement évaluées en TBE sur la zone Volcan, mais évaluées de façon plus variable et plus basse sur la zone fortement minéralisée des Mornes, cas de VAUm, de PILm, de PAQm).

Une conséquence opérationnelle évidente, afin de maîtriser l'effet que provoquent ces différences de forçages naturels sur les notes d'IDA, est qu'il est apparu absolument indispensable dans la suite de la démarche de **construire une grille d'EQRs centrée sur les niveaux de référence de chacune de ces zones**, afin de rendre un diagnostic plus juste d'altération anthropique qui s'affranchisse en grande partie de ces différences naturelles.

## V. Stratégie d'évaluation de l'Etat Ecologique aux Antilles

### V.1. Eléments de contexte

Dans l'optique de la publication d'un Arrêté d'Evaluation cadrant la pratique en la matière pour tout le Plan de Gestion des masses d'eau à venir publication prévue au Journal Officiel en janvier 2015), il existe un besoin opérationnel urgent pour les décideurs et gestionnaires des Antilles, à savoir la mise à disposition de grilles d'évaluation de l'Etat Ecologique basées sur le maillon diatomique qui permettent d'effectuer les opérations de surveillance et de rapportage auprès de l'Union Européenne dans le cadre du prochain Plan de Gestion 2015-2021.

Ces grilles doivent être construites et calées pour interpréter les réponses biologiques d'un outil indiciel existant. Dans cette optique, durant la période estivale 2013, le consortium ASCONIT-IRSTEA avait travaillé pour construire et proposer plusieurs scénarios de grille d'évaluation applicables sur la grande zone naturelle « Volcan » (la seule ou les référentiels étaient déjà suffisamment consistants).

L'intérêt de ce travail exploratoire était d'évaluer les effets des approches méthodologiques utilisables et les résultats de premiers scénarios de grilles, d'une part sur la statistique de classification des relevés diatomiques disponibles, d'autre part pour le classement intégré d'état écologique des sites à partir d'une intégration temporelle des notes d'indice diatomique obtenues sur chaque relevé diatomique prélevé au site.

Sur la Zone fortement minéralisée des Mornes de Martinique, par contre, les référentiels largement déficitaires disponibles à l'époque (seulement 71 relevés, avec très peu de données collectées sur les situations de référence), ne permettaient pas encore de réaliser un travail exploratoire intéressant.

Si le travail exploratoire réalisé à l'époque sur la zone « Volcans » a permis d'examiner différents principes de constructions de grille et les effets de différentes stratégies d'agrégation de l'information multi-dates au site, il s'est révélé en grande partie caduc sur le plan pratique puisqu'il est intervenu en cours de printemps (Mars 2014) la production d'une nouvelle version d'indice (l'IDA-2) qui présente de nouvelles particularités de construction (en particulier une construction plus raffinée des profils de qualité des taxons dans l'indice) et qui se comporte désormais de façon assez sensiblement différente par rapport à l'IDA-1, en niveau de notation comme en inter-classement des sites.

Cet état de fait a imposé de ré-étudier et re-caler complètement les grilles, sur une base de statistique de classement complètement différente par rapport à ce que l'IDA-1 permettait de produire à l'époque.

Il a cependant été diagnostiqué que les changements de classement des sites s'étaient fait dans le sens d'une plus grande justesse de l'évaluation au bénéfice de l'IDA-2, qui a grandement résolu les conséquences de certains bruitages naturels (problèmes de minéralisation naturelle de l'eau, problèmes du niveau parfois élevé de saprobie naturelle), ce qui a conforté l'intérêt et l'aspect judicieux du travail de refonte de l'IDA réalisé ces derniers mois.

Cependant, l'analyse de classement écologique au relevé basé sur l'exploitation des notes brutes d'IDA-2 (conclusions opérationnelles tirées en fin de Chapitre IV-4, page 84 et début de page 85) a bien montré qu'une importante différence de notation entre grands ensembles naturels altérerait la qualité de l'évaluation exprimée en notes brutes d'indice. Il est donc important de mettre en place un système basé sur une trame naturelle régionale qui permette de maîtriser l'effet de la variation naturelle des notes d'indice, différente selon les ensembles, et de rendre plus judicieux les résultats d'évaluation en les concentrant le plus strictement possible sur le niveau d'altération anthropique après avoir isolé la part de variation naturelle liée au contexte biogéographique local.

## V.2. Régionalisation de l'évaluation et EQRs

Les stratégies d'évaluation et les grilles d'interprétation de l'Etat Ecologique qui en découlent doivent se calquer sur la trame naturelle la plus pertinente, la DCE mettant en avant la notion de comparaison des sites à évaluer en comparaison avec la référence la plus adéquate.

### V.2.1. Principe de mise en place d'EQRs

Dans un rapport de *Wasson et al* de Décembre 2004, une trame HER établie sur la base de descripteurs strictement abiotiques a été proposée pour les zones à cours d'eau permanent des 2 Antilles. Les découpages proposés (cf **Figure 32** page suivante) tenaient compte de la géologie, de l'altitude, du climat. Ils ont de ce fait une pertinence pour définir les grands ensembles naturels de ces îles et servent de base pour la réflexion qui a été menée sur le maillon diatomique.

Cependant, une difficulté est que certains de ces ensembles naturels, de taille modeste et particulièrement anthropisés, ne présentent plus ou pratiquement plus de sites de référence valides.

Une autre difficulté est qu'indépendamment de la définition de grands ensembles naturels aux caractéristiques naturelles abiotiques proches, les bassins versants de cours d'eau adossés à de gros reliefs (c'est le cas pour les cours d'eau des massifs volcaniques) peuvent se trouver assez fortement isolés les uns des autres par des lignes de crête marquées et, dans ce contexte d'environnement cloisonné, développer des cortèges assez spécifiques qui pourraient apparaître comme très sensiblement différents dans le cadre d'une biotypologie.

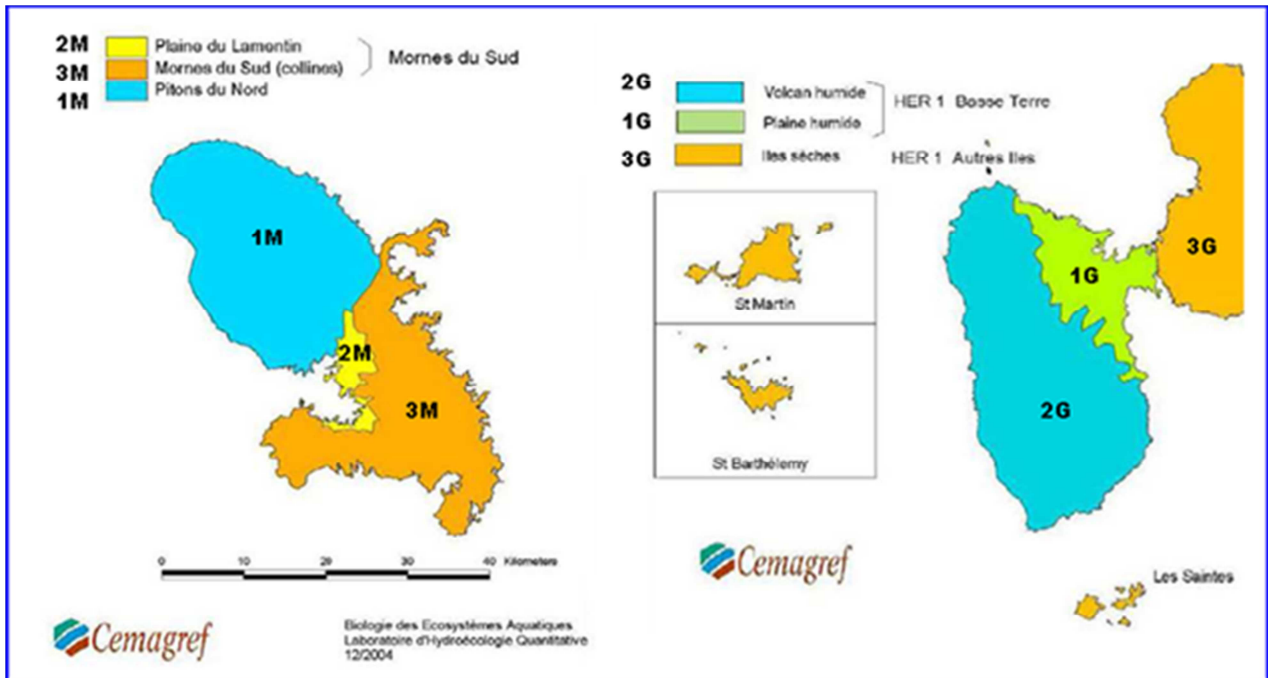


Figure 32 : Trame hydroécocorégionale (HER) proposée par Wasson et al pour les Antilles

Enfin, une dernière difficulté autour des massifs volcaniques est l'application inégale d'influences thermales, qui peuvent être très différentes d'un bassin à un autre et induire des différences hydrochimiques notables, auxquelles la typologie des assemblages diatomiques naturels se révèle particulièrement sensible.

De ce fait, la grande zone Volcan définie sur chaque île au moyen de cette typologie abiotique HER n'est pas forcément un ensemble homogène de ce point de vue (des cours d'eau ou parties de cours d'eau étant assez sensiblement minéralisés et d'autres beaucoup plus faiblement), et probablement encore moins sur le plan de la spécificité des flores qui peuvent s'y développer, en fonction des particularités hydro-climatiques locales et du cloisonnement inter-bassins que les reliefs déterminent.

A la réflexion, ce qui importe le plus pour bien évaluer l'incidence anthropique et l'isoler de variations d'origine naturelle n'est pas forcément la prise en compte de la typologie du milieu abiotique, ou de la biotypologie très précise des assemblages, mais **la façon dont l'outil indiciel intercepte de façon homogène ou non les variations naturelles sur des ensembles naturels donnés.**

Cela va influencer sur les niveaux de référence calculés et sur le niveau de fluctuation résiduelle des notes sur sites de référence sous l'assortiment des conditions naturelles (en particulier hydro-climatiques) qui peuvent y être rencontrés de façon non exceptionnelles dans une série temporelle habituelle. Et bien sûr, ce reliquat de variation naturelle qui influence sur les notes d'indice crée du « bruit » et vient au final impacter l'évaluation judicieuse de l'altération anthropique.

**Nota :** Les événements extrêmes qui peuvent se produire sur des territoires DOMiens, du type assèchement, tempête tropicale voire événement cyclonique très violent, ne sont pas intégrés dans ce propos et sont à considérer dans un autre registre, car les perturbations considérables qu'ils induisent sortent complètement du cadre normatif pour un échantillonnage diatomique représentatif de la qualité des milieux aquatiques.

### V.2.2. Zonage naturel proposé :

Le zonage naturel à retenir, sous-tendu par un manque de certaines données de référence, est bien sûr un compromis, mais qui doit conduire à des résultats opérationnels sur des ensembles relativement homogènes et à un schéma de mise en œuvre le plus simple possible.

Compte-tenu des limites pré-évoquées et notamment de la lacune absolue ou relative en références de plusieurs des ensembles naturels décrits (HER 2M « Plaine du Lamentin » de Martinique, HER 1G « Plaine Humide » de la Basse-Terre de Guadeloupe), nous avons procédé à des regroupements d'ensembles hydro-éco-régionaux sur la base d'analyses de données qui visaient à montrer avec quel ensemble naturel il était le plus légitime de regrouper, sur le plan de l'environnement abiotique et sur le plan de la biotypologie des assemblages diatomiques, une HER démunie de références.

Le critère principal de ressemblance ou de divergence biotypologique des flores de référence étant principalement calqué sur le **degré de minéralisation naturelle des eaux**, comme cela a pu être illustré par le croisement entre une biotypologie diatomique opérée par une SOM et son recouplement avec les données abiotiques des sites projetées dans une ACP (cf rapport final IDA-1 , VF du 14-10-2013) :

- L'HER 2M « Plaine du Lamentin » a été regroupée avec l'HER 3M « Mornes du Sud », formant un **grand ensemble naturel « Plaine »** aux eaux fortement minéralisées (cf **Figure 33** en page suivante : carte de présentation du zonage finalement retenu).
- Pour leur part, les 2 zones volcaniques de Guadeloupe et Martinique + la Plaine humide de Guadeloupe ont regroupées dans un **grand ensemble naturel « Zone Volcans »** dont les eaux ont le plus souvent une hydrochimie faiblement minéralisée, critère général qui subit quelques exceptions locales (cours d'eau à l'aval de sources thermales, petite zone volcanique de Nord Martinique concernée par des placages de tufs conduisant à une minéralisation de l'eau un peu plus élevée sur le secteur de l'Anse Céron et de Grand Rivière).

Cet ensemble avec quelques particularités hydrochimiques localisées est malgré tout homogène au niveau des notations indicielles de référence et peut donner un résultat opérationnel très correct à partir du moment où on est passés de l'IDA-1 à l'IDA-2 et où l'effet confondant de l'espèce NINC a été isolé et retiré de l'indice (NINC étant désormais passé au statut de « Taxon + », ne présentant pas d'affinité particulière et systématique avec l'altération anthropique qu'on cherche à isoler et à mesurer).

La représentation cartographique présentée en **Figure 33** page suivante permet de fusionner d'une façon simple et opérationnelle les HERs proposées par *Wasson et al* en 2 ensembles naturels regroupés, aux caractéristiques hydrochimiques et climatiques comparables. Ce sont ces 2 ensembles qui ont servi de trame naturelle sous-jacente à l'élaboration des 2 grilles d'EQRs qui seront très prochainement publiées dans le futur Arrêté d'Evaluation, et qui fixeront le cadre d'évaluation d'Etat Ecologique à partir du compartiment diatomique sur ces 2 zones naturelles des Antilles.

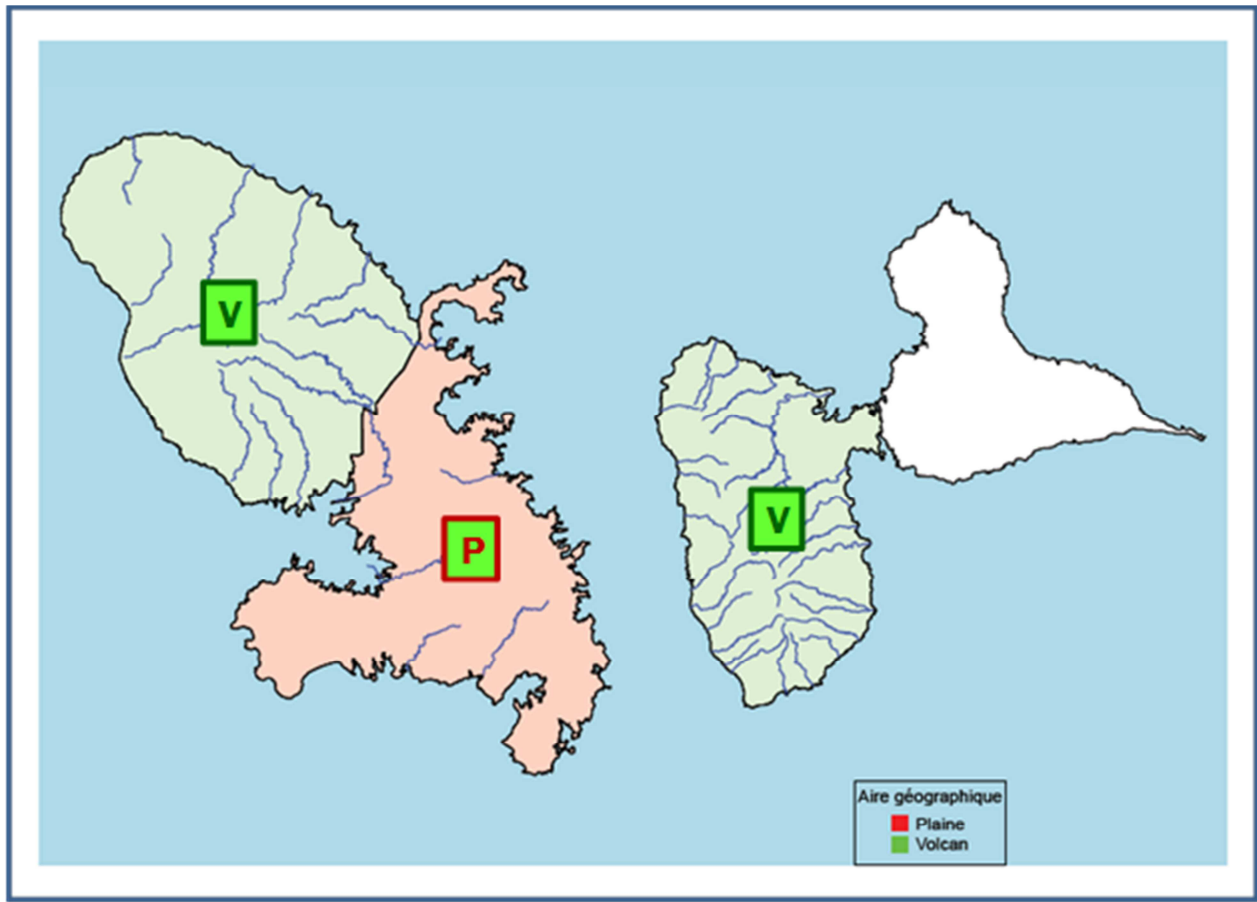


Figure 33 : Zonage naturel retenu pour l'élaboration et l'application de grilles de qualité diatomique basées sur les notes d'IDA-2 en Guadeloupe et Martinique

### V.2.3. Principe d'élaboration des grilles d'EQRs au relevé :

La définition des 2 ensembles précités a pour objectif de calculer et d'affecter un niveau de référence interne à chaque zone (notion de référence adéquate de la DCE) exprimé en note indicielle de référence, puis d'en dériver ensuite une grille d'interprétation de l'Etat Ecologique propre à la zone, basée sur des équivalents de Qualité Ecologique (EQRs évoqués dans la DCE). Par définition, la note de référence interne à une zone donnée constitue **l'EQR de référence (valeur 1) pour cette zone**.

Le principe général d'élaboration de grilles d'évaluation écologique sur la base d'Equivalents de Qualité Ecologique est présenté en **Figure 34** page suivante.

Ce schéma conceptuel a déjà été utilisé dans son principe général, avec quelques variantes d'ajustement permettant d'adapter son application en fonction des contextes locaux particuliers, afin de générer le cadre interprétatif de diverses méthodes indicielles en métropole, ainsi que dans d'autres DOM (dont à la Réunion pour ce qui concerne le maillon diatomique).

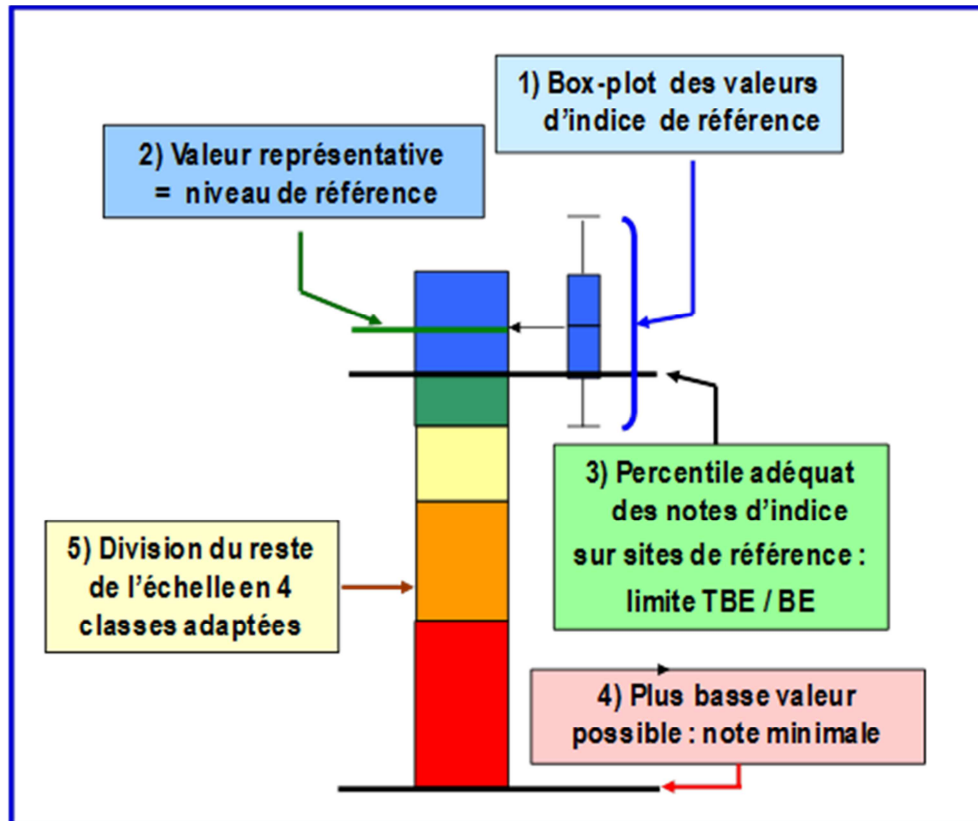


Figure 34 : Cadre conceptuel de référence pour l'établissement de grilles d'interprétation de l'Etat Ecologique à partir de notes de méthodes indicielles

Le but étant d'élaborer des grilles convenables pour bien interpréter l'Etat Ecologique dans le cadre de régions naturelles situées dans des environnements aux caractéristiques générales très différentes, pouvant aller de climats montagnards d'Europe continentale, voire du domaine Baltique (*cf* travaux hydroécologiques menés dans le cadre du GIG Central-Baltique), aux environnements tropicaux, qui structurent un cadre de forçage naturel particulier à chaque cas, le principe général doit à chaque fois être adapté pour correspondre au mieux au cadre d'application local. Les contraintes pouvant rendre utiles des adaptations sont par exemple les particularités hydroclimatiques, qui peuvent modérer ou augmenter la variation naturelle des notes de référence, certaines spécificités du jeu de données (par exemple, existence de contextes naturels plus rares que d'autres, avec peu ou pas de situations de référence disponibles) qu'il convient d'expertiser et pour lesquelles il peut se justifier d'adapter la pratique.

Les 2 objectifs qu'il faut ajuster au mieux sont :

- 1) l'affectation du **niveau de référence** le plus correct par rapport au contexte biogéographique des zones naturelles regroupées dans l'ensemble considéré,
- 2) l'adaptation d'un niveau de variabilité naturelle correctement dimensionné pour permettre de couvrir **la variation relativement habituelle des notes de référence** dans cet ensemble (hors évènement extrême qui entraîne forcément une altération très intense du milieu et des flores, mais qui n'est en principe pas à interpréter comme une conséquence de la pression anthropique).

Ces 2 descripteurs (fixation du niveau de référence d'une part, de la valeur de basculement TBE-BE d'autre part) se calculent selon le cadre conceptuel général présenté dans la **Figure 34** en page précédente, mais nécessitent aussi une démarche-expert et d'éventuelles adaptations permettant un dimensionnement correct qui garantisse la bonne application de la nouvelle méthode indicielle et de son cadre interprétatif dans le contexte particulier local.

Il faut en effet arriver à une évaluation d'Etat Ecologique qui se focalise sur la **mesure de l'altération anthropique et de ses effets sur les cortèges d'organismes** (c'est ce que la DCE demande de faire) après avoir **isolé la part habituelle de variation naturelle**. La prise en compte correcte de cette variable demande un peu de recul qui n'est pas forcément aussi important que souhaitable à la date actuelle, dans ces environnements particuliers sur lesquels on bénéficie encore de peu d'antériorité de connaissance sur le plan hydro-écologique.

Aussi, à partir des gammes de distribution et de variation des notes de référence dans les 2 zones considérées, diverses options méthodologiques ont été testées et déclinées en scénarios de grilles d'évaluation, afin d'en évaluer la pertinence et les résultats par campagne (cadre d'interprétation des notes affectées à chaque relevé), et de pouvoir aussi commencer à tester les **résultats d'évaluation intégrés au site d'observation** procurés par divers principes d'agrégation temporelle envisageables.

#### V.2.4. Travail sur l'élaboration des grilles d'EQRs au relevé (Zone Plaine) :

##### **A) Calcul de valeurs statistiques utilisables pour tester la construction de grilles d'EQRs (Zone Plaine)**

En fonction de la distribution des notes obtenues sur les relevés des sites de référence, les alternatives de construction et les valeurs caractéristiques des différents descripteurs statistiques envisageables pour établir le niveau de référence de la zone Plaine et la limite inférieure de la classe de TBE pour cette zone sont présentées à la **Figure 35** en page suivante.

La première étape importante pour la mise en place d'un système d'évaluation bien adapté à la zone naturelle considérée est **l'affectation du niveau de référence qui lui correspond le mieux**. Les 2 éventualités de représentation statistique de la condition de référence sont présentées, la première basée sur la **médiane** des valeurs d'IDA-2 obtenues sur les sites de référence de cette zone très minéralisée (partie haute de la **Figure 35**), et la seconde basée sur la **moyenne** des valeurs de références obtenues (seconde partie de la **Figure 35**).

En résumé, malgré l'acquisition spécifique de données complémentaires sur cette zone en 2013 (prospection à une ou deux dates de nouvelles sources et résurgences identifiées par le BRGM en plus des sites de référence habituels suivis dans le cadre des réseaux de surveillance), cette zone aux caractéristiques climatiques assez arides présente encore un certain déficit de données pour pouvoir situer correctement l'étendue des possibles concernant la variabilité naturelle des notes, qui y est particulièrement importante même en l'absence complète d'influence anthropique.



Calcul Zone Plaine "sans sélection" (Ref = médiane)			
médiane =	18,397	arrondi à :	18,4
	(14e valeur ds les 2 sens)		(EQR <sub>Med</sub> = 1)
Percent. 25	17,222	arrondi à :	Néant
	(6,75ème valeur sur 27)		(EQR <sub>Med</sub> = 0,936)
Percent. 20	17,192	arrondi à :	17,204
	(5,4ème valeur sur 27)		(EQR <sub>Med</sub> = 0,935)
Percent. 15	16,266	arrondi à :	Néant
	(4,05ème valeur sur 27)		(EQR <sub>Med</sub> = 0,884)
Percent. 10	15,742	arrondi à :	15,732
	(2,7ème valeur sur 27)		(EQR <sub>Med</sub> = 0,855)
Calcul Zone Plaine "sans sélection" (Ref = moyenne)			
moyenne =	18,011	arrondi à :	18,0
			(EQR <sub>Moy</sub> = 1)
Percent. 25	17,222	arrondi à :	17,226
	(6,75ème valeur sur 27)		(EQR <sub>Moy</sub> = 0,957)
Percent. 20	17,192	arrondi à :	17,19
	(5,4ème valeur sur 27)		(EQR <sub>Moy</sub> = 0,955)
Percent. 15	16,266	arrondi à :	16,272
	(4,05ème valeur sur 27)		(EQR <sub>Moy</sub> = 0,904)
Percent. 10	15,742	arrondi à :	15,75
	(2,7ème valeur sur 27)		(EQR <sub>Moy</sub> = 0,875)

Figure 35 : Etude des différents descripteurs utilisables pour l'élaboration d'une grille d'évaluation basée sur des EQRs (Zone « Plaine »)

Cette forte variabilité naturelle a principalement pour origine la faiblesse plus ou moins intense des débits d'étiage en saison sèche, en liaison avec la séquence climatique annuelle et même interannuelle qui a précédé la date d'échantillonnage du relevé diatomique, et ses incidences variables sur la recharge des aquifères.

Son origine peut tenir à l'insuffisance de débit et de courant, à une augmentation possible de la température de l'eau *in situ* dans les conditions de plus faibles débits, ainsi qu'à des effets de concentration de la charge minérale naturelle qui conduit à des conductivités électriques dépassant très couramment les 1 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (et même 4 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour le site de Paquemar PAQm).

A l'examen attentif des données, le manque de recul temporel disponible a pour conséquence manifeste une couverture encore non homogène du domaine des possibles en matière de notes naturelles d'IDA sur cette zone, la série de données présentant de larges trous dans le domaine des basses valeurs.

En effet, il existe 2 groupes séparés de 2 valeurs outliers à notes particulièrement basses en bas du groupe de référence, séparées à chaque fois de plus d'1 point d'indice du groupe précédent.

Dans ce contexte au lissage de notes encore peu établi (référentiels manquant encore d'assise et de recul), il ne serait pas robuste d'élargir la classe de TBE correspondant à l'essentiel de la variation naturelle des notes en allant chercher un percentile trop bas qui serait trop fortement impacté par ces discontinuités de distribution (c'est le cas à partir du percentile 15).

Il faut cependant rappeler que les raisons de ces notes basses sont naturelles et font partie de la condition de référence pour cette zone à pluviométrie et hydrologie peu soutenues. Dans ce contexte, il a été choisi de prendre comme niveau de référence la valeur résultant du calcul de la **moyenne** plutôt que de la **médiane** (la moyenne étant plus intégrative des valeurs extrêmes possibles sur la zone), ce qui présente l'avantage de mieux prendre en compte, tout en en tamponnant l'effet, les valeurs un peu extrêmes rencontrées, et d'abaisser un peu la valeur moyenne de cette zone (valeur de référence moyenne de 18 en bistre au lieu de 18,4 pour la médiane en bleu). Cela permet de faire entrer un peu plus de variation naturelle des notes dans le domaine de référence de cette zone.

De plus, du fait de la distribution erratique et exceptionnelle des valeurs basses de la zone rappelé ci-dessus, il aurait été peu représentatif de caler la classe de très bon état sur une zone trop basse de percentile, sous influence forte et non-lissée de 4 outliers qui rendent la distribution des basses valeurs chaotique. Cette option d'action sur la moyenne de référence était techniquement la plus souhaitable et a donc été privilégiée. On verra qu'elle a été complétée, dans l'étude des derniers scénarios optimisés « OPT », par un **arrondissement à la baisse du percentile 20** permettant un **élargissement supplémentaire modéré sans franchir la forte discontinuité liée au percentile 15**.

On verra par la suite que la situation se présente totalement différemment pour la zone Volcan, qui présente pour sa part une insuffisante distribution de variabilité naturelle avec le percentile 20. Il fallait intégrer le fait que, parmi les sites de référence de cette zone au statut non altéré indiscutable, quelques sites sont situés à une altitude sensiblement plus faible que beaucoup d'autres. Subissant des notations un peu plus basses, ils ressortiraient systématiquement en classe verte au lieu de bleue alors qu'on est encore dans le domaine de la variation naturelle de ce grand ensemble. Il a dans ce cas été plus adapté de descendre au percentile 15 pour la Zone Volcan, afin de ménager un peu plus de variabilité naturelle et de classer ces sites de façon plus correcte en fonction de leur statut non altéré.

## **B) Récapitulatif rapide des tests de scénarios de grilles effectués (Zone «Plaine»)**

**1) Scénarios P(20) :** Sur cette région Plaine, une première série de 5 scénarios de travail a été testée entre le 15 et le 18-04-2014 (résultats non détaillés ici, mais disponibles si besoin), sur la base de la **valeur moyenne de référence** (note d'IDA-2 de **18**, soit EQR de 1) et un EQR de basculement TBE-BE correspondant au percentile 20 de la distribution des notes de référence, qui s'établissait par calcul à la valeur **EQR = 0,955** (note d'IDA-2 de **17,19**), (partie basse de la **Figure 35** page 92).

5 scénarios de sévérité croissante pour toutes les classes inférieures à TBE et notamment pour la classe de basculement BE-EM (valeurs-guides indiquées ci-dessous) ont été construits sur cette base, avec un tunage assez large pour permettre de repérer la zone ou le calage présenterait le plus grand intérêt.

Les scénarios déroulés lors de cette première série de propositions, correspondant à un premier tunage large, ont été les suivants :

- a) Scénario P-20-1 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,75 (note d'IDA-2 de 13,50),
- b) Scénario P-20-2 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,78 (note d'IDA-2 de 14,04),
- c) Scénario P-20-3 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,80 (note d'IDA-2 de 14,40),
- d) Scénario P-20-4 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,82 (note d'IDA-2 de 14,76),
- e) Scénario P-20-5 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,85 (note d'IDA-2 de 15,30).

Après expertise collective par les concepteurs de la méthode, il en est ressorti que le niveau de référence basé sur la moyenne et que la valeur du percentile 20 pour fixer la limite TBE-BE pouvaient se révéler relativement convenables pour cette zone. En effet, le fort niveau de variation naturelle des notes de référence qui la caractérise s'accommode bien de la note de référence plus basse permise par le choix de la moyenne.

Dans ces conditions, il ressort que la limite TBE-BE basée sur le percentile 20 est en gros du bon ordre de grandeur (à affiner ensuite par tunage fin) pour maîtriser correctement l'essentiel de la variation naturelle de note sans avoir à descendre sur la zone peu stabilisée du percentile 15 (trop peu de valeurs disponibles, et trop espacées pour pouvoir stabiliser ce calcul).

A l'expertise, la valeur-cible pour le basculement BE-EM entrainé dans une zone correcte pour une évaluation plus fine entre l'EQR 0,78 (valeur peut-être un peu basse) et l'EQR 0,82 (valeur-plafond déjà plutôt sévère), avec un optimum apparent (à diagnostiquer plus finement) **dans le secteur de l'EQR 0,80**. Par contre, sans rentrer dans le détail, il est aussi ressorti de ce diagnostic que les valeurs de basculement des classes basses de la grille étaient trop basses et pouvaient être rendues plus sévères par remontée des seuils pour donner plus de relief à l'évaluation.

**2) Scénarios P(20) DER :** Suite à cette première série d'essais, une 2<sup>ème</sup> série de 4 scénarios « DER » basés sur les mêmes repères de haut de grille a été proposée et diagnostiquée entre le 23 et le 25/04/2014, balayant la zone d'intérêt prédéfinie pour le basculement BE-EM (entre 0,76 et 0,82), ainsi qu'en appliquant aussi une plus grande sévérité pour les classes de qualité inférieure, la limite ME-TME glissant respectivement de l'EQR 0,36 à l'EQR 0,42 (au lieu de 0,28 à 0,32 pour les 5 scénarios précédents) :

- a) Scénario P-20-1 DER avec une limite BE-EM à l'EQR 0,76 (note d'IDA-2 de 13,68),
- b) Scénario P-20-2 DER avec une limite BE-EM à l'EQR 0,78 (note d'IDA-2 de 14,04),
- c) Scénario P-20-3 DER avec une limite BE-EM à l'EQR 0,80 (note d'IDA-2 de 14,40),
- d) Scénario P-20-4 DER avec une limite BE-EM à l'EQR 0,82 (note d'IDA-2 de 14,76).

**3) Scénarios P(20) OPT :** L'expertise et le diagnostic approfondi de ces résultats a conduit à proposer une 3<sup>ème</sup> série de 2 scénarios Plaine P-20 « OPT ». Il s'avérait que, sans descendre jusqu'à la zone trop instable du percentile 15 pour fixer la limite TBE-BE, l'expertise collective conduisait à trouver très correct le calage du scénario P3-DER, mis à part que la limite TBE-BE visant à l'intégration normale dans la classe de TBE de la plupart des relevés de référence nécessitait encore d'être modérément descendue.

Les options techniques finales restant à tester et à trancher étaient basées sur le percentile 20 arrondi à la baisse à l'EQR 0,925, soit note d'IDA-2 de 16,65, ou à l'EQR 0,93, soit note d'IDA-2 de 16,74. La fourchette de l'EQR optimisé à fixer pour cette classe de TBE a été calée *a priori* sur la possibilité de « rachat » en TBE intégré du site de référence de la rivière Pilote amont (PILm) sur la base d'un principe de One Out-All Out modulé d'une tolérance de profondeur de classe de 25 % sur valeurs de 2 relevés exceptionnellement bas (cf principes de représentation de l'état intégré au site abordés en dernière partie du présent rapport).

Les 2 derniers scénarios étudiés ont donc vu la limite TBE-BE légèrement ré-élargie dans la gamme de variation modeste pré-indiquée, et avec la nuance de calage suivante de la zone BE-EM :

- a) Scénario P-20-1 OPT avec une limite BE-EM à l'EQR 0,80 (note d'IDA-2 de 14,40),
- b) Scénario P-20-2 OPT avec une limite BE-EM à l'EQR 0,79 (note d'IDA-2 de 14,22).

Comme on le verra ensuite avec le cas de la zone Volcan, les pratiques retenues pour ces 2 zones à caractéristiques et variabilités naturelles pourtant très différentes ont été absolument convergentes, à l'exception de la fixation de la valeur de classe inférieure de TBE en liaison avec la forte discontinuité dans la série de valeurs (percentile 20 aménagé à la baisse pour cette zone Plaine pour percentile 15 dans un secteur de valeurs mieux établi, donc plus « lissé », pour la zone Volcan).

### C) Résultats et recommandations Zone « Plaine »

Les grilles détaillées de basculement de classes, ainsi que les résultats respectifs de classement d'état des relevés, sont récapitulés dans la **Figure 36** page suivante :

Avec le jeu de données final, 100 relevés sont disponibles sur cette zone (au lieu de 71 à la fin du programme de Recherche-Développement initial).

A noter que parmi les nouvelles données, outre un allongement de la série de relevés obtenus sur des sites déjà renseignés dans le cadre des campagnes annuelles habituelles des réseaux de surveillance, se sont ajoutés quelques sites sur sources et résurgences (repérés et indiqués par le BRGM) destinées à étoffer le renseignement et à aider au meilleur calage de niveau des conditions de référence.

Dans le 1<sup>er</sup> scénario OPT, l'EQR de basculement TBE-BE est fixé à 0,925, ce qui, sur la série de données actuelles de relevés, n'a aucune incidence sur le classement de relevés en TBE (grosse discontinuité actuelle de distribution de valeurs d'IDA-2 dans cette zone).

L'EQR de basculement BE-EM est fixé à 0,80, ce qui est un peu plus sélectif que pour le scénario suivant et sort 3 relevés de la Classe de Bon Etat par rapport au scénario suivant, moins sévère sur ce seuil (0,79).

Scénario Plaine 20-3-1 OPT. (EQR de basculement BE-EM = 0,80)									
CLASSE D'ETAT	NIVEAU DE REFERENCE	TBE	BE	BE OK	EM	ME	TME	Déclassés	TOTAL
GRILLE d'EQR	1	≥ 0.925	≥ 0,80	BE OK	≥ 0,61	≥ 0,38	]0.38 ; 0.0]	Déclassés	TOTAL
NOTES d'IDA-2	18,0	≥ 16,65	≥ 14,4	BE OK	≥ 10,98	≥ 6,84	6,84 - 0	Déclassés	TOTAL
Etat au relevé (effectifs)	NA	45	20	65	18	9	8	35	100
Etat au relevé (Pourcentage)	NA	45,00%	20,00%	65,00%	18,00%	9,00%	8,00%	35,00%	100,00%

Scénario Plaine 20-3-2 OPT. (EQR de basculement BE-EM = 0,79)									
CLASSE D'ETAT	NIVEAU DE REFERENCE	TBE	BE	BE OK	EM	ME	TME	Déclassés	TOTAL
GRILLE d'EQR	1	≥ 0.93	≥ 0,79	BE OK	≥ 0,61	≥ 0,38	]0.38 ; 0.0]	Déclassés	TOTAL
NOTES d'IDA-2	18,0	≥ 16,74	≥ 14,22	BE OK	≥ 10,98	≥ 6,84	6,84 - 0	Déclassés	TOTAL
Etat au relevé (effectifs)	NA	45	23	68	15	9	8	32	100
Etat au relevé (Pourcentage)	NA	45,00%	23,00%	68,00%	15,00%	9,00%	8,00%	32,00%	100,00%

Figure 36 : Scénarios optimisés d'évaluation au relevé testés sur la Zone « Plaine » et résultats de classement d'Etat (en effectifs, en pourcentage)

Les 3 relevés en zone de basculement BE-EM sont Rivière des Coulisses à Petit Bourg (COPm7), PIBm3 (Rivière Pilote aval bourg) et GCSm2 (STEP Vauclin 2), ces 3 sites étant réputés plutôt altérés à sensiblement altérés selon les dates (d'où leur statut « surveillance » dans le RCS).

Sur ce point particulier (basculement de sites d'une classe à l'autre), ainsi que sur un plan plus général (rachat du statut TBE de relevés de référence lors d'essais d'agrégation temporelle), les avis-experts échangés au sujet de cette dernière comparaison de scénarios « OPT » convergent pour préconiser que **le scénario Plaine (20)-3-1**, le plus optimisé de tous ceux qui ont été successivement étudiés, **soit préconisé et mis en œuvre pour la Zone Plaine pour le Plan de Gestion à venir.**

## V.2.5. Travail sur l'élaboration des grilles d'EQRs au relevé (Zone Volcan) :

### A) Calcul de valeurs statistiques utilisables pour tester la construction de grilles d'EQRs (Zone Volcan)

Les descripteurs « statistiques » calculés et éventuellement mobilisables pour le calage de grilles d'évaluation sur la zone naturelle regroupée « Volcan », qui réunit les massifs volcaniques de Martinique et de Guadeloupe ainsi que la Plaine Humide de Basse-Terre de Guadeloupe, sont récapitulés en **Figure 37** page suivante.

Pour cette Zone Volcan, même s'il n'exerce qu'une influence très modérée sur le niveau de référence par rapport à l'utilisation de la médiane (modification à la baisse de 0,07 points d'indice, ce qui est tout-à-fait anecdotique), le choix de la **valeur de référence basée sur le calcul de la moyenne** (en bistre, case en fond bleu clair, moitié basse de la Figure 36) ne présente aussi que des avantages.

Calcul Zone Volcans "sans sélection" (Ref = médiane)				
médiane =	19,693		arrondi à :	19,7
	(70e valeur ds les 2 sens)			(EQR <sub>Med</sub> = 1)
Percent. 25	19,384	0,98396	arrondi à :	19,385
	(34,75ème valeur sur 139)			(EQR <sub>Med</sub> = 0,989)
Percent. 20	19,298	0,97959	arrondi à :	19,306
	(27,8ème valeur sur 139)			(EQR <sub>Med</sub> = 0,98)
Percent. 15	19,182	0,9737	arrondi à :	19,178
	(20,85ème valeur sur 139)			(EQR <sub>Med</sub> = 0,9735)
Calcul Zone Volcans sans sélection (Ref = moyenne)				
moyenne =	19,631		arrondi à :	19,63
				(EQR <sub>Moy</sub> = 1)
Percent. 25	19,384	0,98747	arrondi à :	19,385
	(34,75ème valeur sur 139)			(EQR <sub>Moy</sub> = 0,9875)
Percent. 20-1	19,298	0,98459	arrondi à :	19,296
	(27,8ème valeur sur 139)			(EQR <sub>Moy</sub> = 0,983)
Percent. 20-2	19,298	0,98459	arrondi à :	19,306
	(27,8ème valeur sur 139)			(EQR <sub>Moy</sub> = 0,985)
Percent. 15	19,182	0,9787	arrondi à :	19,14
	(20,85ème valeur sur 139)			(EQR <sub>Med</sub> = 0,975)

Figure 37 : Etude des différents descripteurs utilisables pour l'élaboration d'une grille d'évaluation basée sur des EQRs (Zone « Volcan »)

Beaucoup de relevés de référence de la zone, souvent situés à des altitudes notables et dans des conditions hydroclimatiques sensiblement différentes des sites plus aval à évaluer, sont proches ou égales à la note maximale d'IDA de 20.

Cependant, quelques sites de référence plus aval qui appartiennent à cette zone naturelle « Volcan » et qui sont situés dans des environnements préservés, sont indemnes de toute conséquence un tant soit peu quantifiable d'une pression anthropique.

Ils subissent malgré tout une notation un peu plus basse par l'IDA-2, comme c'était déjà le cas antérieurement lorsqu'on appliquait l'IDA-1.

Pour évaluer correctement cette zone naturelle regroupée dans son ensemble, afin de ne pas affecter à un message d'altération anthropique une baisse de notation surtout attribuable à une localisation en altitude plus basse (cours d'eau au lit plus ouvert et moins recouvert par les ripisylves, élévation thermique *in situ*, accroissement naturel de la minéralisation de l'eau etc...), il faut donc tenir compte d'une variation naturelle des notes de la zone intégrant aussi pleinement la variabilité des sites non anthropisés à relativement faible altitude.

Dans ces conditions, la moyenne, qui intègre un peu mieux l'effet de valeurs plus basses obtenues dans cette zone, procure donc une petite possibilité supplémentaire (bien que marginale) d'élargir le champ de fluctuation naturelle de la condition de référence dans cette zone.

Mais les essais de déroulement de scénarios de grilles d'évaluation de bout en bout ont aussi révélé une étroitesse trop importante par construction de cette zone de TBE. Il s'est avéré indispensable au final d'en augmenter la profondeur afin de mieux intégrer la variabilité naturelle des notes de référence, qui intervient naturellement sur les reliefs volcaniques dans des conditions hydro-climatiques moins soutenues (années sèches) et qui, d'autre part, est plus représentative des sites de référence situées aux altitudes moyennes ou faibles, qui présentent un référentiel de notes plus variables et deviennent plus comparables aux zones où se trouvent la majorité des sites à évaluer.

Une valeur de référence «Volcans» calculée sur la base de la **moyenne** des notes de référence (pratique homogène avec l'autre zone naturelle des Antilles), qui s'établit à la valeur d'IDA-2 de **19,63**, a donc été utilisée de bout en bout comme base pour la construction de tous les scénarios de travail testés.

L'autre possibilité d'élargissement de la profondeur de cette zone, qui résidait dans le choix du percentile fixé pour la limite TBE-BE, qui a finalement été fixé au percentile 15 (au lieu du percentile 20 ou 25) afin de permettre une variation suffisante de la notation dans les conditions de référence, en bonne correspondance avec la variation des valeurs réellement observées.

## **B) Récapitulatif rapide des tests de scénarios de grilles effectués (Zone «Volcan»)**

**1) Scénarios V(20) :** Sur cette région Volcan, une première série de 6 scénarios de travail a été testée entre le 17 et le 18-04-2014. Outre l'utilisation de la valeur moyenne de référence pré-indiquée, ces scénarios étaient tous basés sur une limite de classe entre TBE et BE basée sur le percentile 20 des notes de référence (Percentile 20-1 arrondi de la **Figure 37**, EQR de basculement : **0,983**, soit une note d'IDA-2 de **19,296**). Sur le reste de l'échelle, une progressivité de la sévérité de classification d'état sur toutes les classes inférieures au TBE a été testée du scénario V1 (le plus laxiste) au scénario V6 (le plus sévère).

Les valeurs-guide de basculement BE-EM des scénarios déroulés était les suivantes :

- a) Scénario V(20)-1 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,87 (note d'IDA-2 de 17,078),
- b) Scénario V(20)-2 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,875 (note d'IDA-2 de 17,176),
- c) Scénario V(20)-3 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,88 (note d'IDA-2 de 17,274),
- d) Scénario V(20)-4 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,885 (note d'IDA-2 de 17,373),
- e) Scénario V(20)-5 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,89 (note d'IDA-2 de 17,471),
- f) Scénario V(20)-6 avec une limite BE-EM à l'EQR 0,90 (note d'IDA-2 de 17,667).

Cette première série de scénarios a été calée de façon à peu près centrée sur le pourcentage de déclassements obtenus avec l'IDA-1, qui correspondait grosso-modo au niveau de déclassement produit par les Scénarios V(20)-3 et V(20)-4, et avec un tunage fin de part et d'autre de cet ancien « optimum ».

Or le retrait de NINC de la liste des taxons d'alerte et un bruitage nettement moindre par la variation naturelle des notes a complètement changé le système de repères entre ces 2 indices, l'évolution conduisant aussi à une meilleure séparation des sites naturels et altérés au bénéfice de l'IDA-2.

Cet état de fait permet par contre-coup d'envisager une évaluation plus sévère et sensible qu'avec l'IDA-1, tout en subissant moins l'impact d'une variation résiduelle des notes due à des fluctuations naturelles.

Au bilan, l'expertise de ces scénarios a conduit rapidement à diagnostiquer que les bornes de basculement d'état des qualités inférieures n'étaient pas assez sélectives, concentrant l'effort pour les nouveaux scénarios de travail sur cette zone des notes basses à moyenne (évaluation moins « laxiste » souhaitée). Par ailleurs, il était remarqué que la gamme de la classe de TBE était manifestement trop étroite et contrainte par construction, ce qui pouvait être un inconvénient pour absorber les effets de la variation naturelle réellement observée des notes en sites de référence.

Enfin, il ne ressortait pas encore de façon claire si les plus sévères de ces scénarios (Scénarios V(20)-5 et 6) évaluaient correctement le niveau de basculement BE-EM, les résultats étant cependant jugés comme assez satisfaisants en première approche.

**2) Scénarios V(20) DER :** Une deuxième série de 5 scénarios, toujours basés sur la valeur moyenne de référence et sur une limite TBE-BE arrondie calée cette fois sur l'EQR de **0,985** (valeur plus « ronde » correspondant à la note de basculement de **19,306**) a été produite le 24-04-2014 et expertisée en suivant.

Le diagnostic porté sur la limite BE-EM semblant plus satisfaisant qu'avec l'IDA-1, il n'était alors pas clair qu'il faille retoucher cette partie de la grille. Le but principal de cette nouvelle série a été d'à peu près reproduire le tunage précédent pour la limite BE-EM (prospection de la zone de basculement entre 16,5 et 17,5 avec centrage autour de la note-repère indicative de 17, qui aurait pu représenter une valeur-guide intéressante), et de durcir l'évaluation des altérations pour les valeurs de basculement des classes inférieures.



Les valeurs-guide de basculement BE-EM des scénarios déroulés ont été les suivantes :

- a) Scénario V(20)-1 DER, limite BE-EM à l'EQR 0,85 (note d'IDA-2 de 16,66),
- b) Scénario V(20)-2 DER, limite BE-EM à l'EQR 0,865 (note d'IDA-2 de 16,954),
- c) Scénario V(20)-3 DER, limite BE-EM à l'EQR 0,88 (note d'IDA-2 de 17,248),
- d) Scénario V(20)-4 DER, limite BE-EM à l'EQR 0,89 (note d'IDA-2 de 17,444),
- e) Scénario V(20)-5 DER, limite BE-EM à l'EQR 0,90 (note d'IDA-2 de 17,64).

Un retour-expert rapide a clairement permis de statuer sur l'intérêt du durcissement des seuils du bas de la grille. Mais cette fois, il est ressorti plus clairement que le basculement BE-EM à l'EQR 0,90 n'était pas encore assez sévère, ce qui n'était absolument pas le cas avec l'IDA-1, trop bruité par des reliquats de variation naturelle.

Un autre point gênant était l'étroitesse extrême de la classe de TBE résultant mécaniquement du mode de construction adopté, du fait de la trop grande homogénéité d'un grand nombre de notes de référence (en particulier sur des sites situés en altitude sur les massifs volcaniques, moins souvent affectés par des affaiblissement de l'hydrodynamique et par des échauffements de la colonne d'eau *in situ*), qui sont très régulièrement notés à la note maximale de 20 ou juste en-dessous.

De fait, la classe de TBE des scénarios V(20) était manifestement trop étroite si on la place en perspective de l'étendue de la gamme de notes possibles en zone de référence.

Du fait des nombreuses notes à 20 et du niveau de référence lui aussi très élevé, l'EQR maximum de cette zone plafonne par construction à 1,024 (pour 1,111 sur l'autre zone). Cela conduit à une amplitude de notation nettement plus étroite, limitant mécaniquement la profondeur de cette classe vers le bas en zone volcan (notes de 20 à 19,306, soit 0,7 point d'indice seulement, pour une variation de notes de  $(20-16,65) = 3,35$  points en zone plaine, l'amplitude de variation naturelle de la note pris en compte dans ce dernier cas étant 4 à 5 fois plus forte).

La conséquence mécanique de cette construction basée sur un principe de calcul qui produit de tels écarts d'une zone naturelle à l'autre est que la profondeur de cette classe de TBE n'est pas suffisante dans l'état pour intercepter la variation naturelle habituelle de cette zone. De fait, de nombreux sites de référence indiscutables enfoncent le seuil TBE-BE à 1 ou 2 dates sur la série temporelle acquise et basculent donc trop souvent et trop intensément dans le Bon Etat (couleur verte).

Le mode d'agrégation temporelle qui sera finalement retenu dans le futur Arrêté d'Evaluation n'a pas pu être testé et validé en vraie grandeur pour cause de choix trop tardif de la méthodologie d'agrégation qui y sera finalement intégrée. Il est possible que se posent des problèmes de déclassement injustifié à l'intégration temporelle d'Etat sur des sites non anthropisés, mais à forte variabilité naturelle. Les raisons tiendraient plutôt à une origine hydrologique, des baisses de notes pouvant être assez directement liées à un soutien du débit anormalement faible à certains épisodes secs, accompagné d'une élévation de la température de l'eau *in situ*.

Les flores diatomiques sont sensibles et les notes d'IDA-2 peuvent baisser face à de tels épisodes d'étiage accentué qui s'inscrivent dans le contexte naturel typique de certains ensembles naturels (les zones les plus exposées à ce phénomène étant l'ensemble fortement minéralisé « Plaine », constitué de la zone des Mornes et de la Plaine du Lamentin en Martinique, mais aussi les stations à faible à très faible altitude situées à l'aval des bassins versants en périphérie de la zone « Volcan »).

Mais inversement, de façon plus probable en cas de choix d'une valeur statistique agrégée (moyenne ou médiane de plusieurs valeurs au même site) plutôt qu'un principe d'agrégation des valeurs de relevés individuels plus ou moins basé sur le One Out - All Out, le risque est que l'évaluation du degré d'altération anthropique devienne trop laxiste. Ce phénomène très prévisible trouve son origine dans une compression sensible de l'échelle d'EQRs, qui ne peut plus atteindre des valeurs aussi basses en valeur agrégée par rapport à la dynamique de notation de chaque relevé individuel.

**3) Scénarios V(15) OPT :** Ces 3 derniers scénarios « optimisés » ont été construits entre le 26 et le 27-04-2014 afin d'apporter les éléments pour une visioconférence « Comité de Pilotage » du 28-04-2014. Ils tentaient de solutionner le problème de l'étroitesse excessive par construction de la zone de TBE, qui limite les possibilités de variation naturelle habituelle à la zone étroite de notation cantonnée entre 20 et 19,3, alors qu'un nombre non négligeable de relevés appartenant encore à des situations de référence non suspectes peuvent atteindre des notes sensiblement plus basses (saison sèche, sites de plus faible altitude, conditions hydroclimatiques un peu atypique pour un relevé...).

Après expertise approfondie, il a été jugé nécessaire de donner un peu plus de marge à la variation naturelle de référence en ayant recours à une limite inférieure de classe de TBE calée sur le percentile 15 des notes de référence (au lieu du percentile 20), arrondi au chiffre rond inférieur d'EQR le plus proche.

D'autre part, les collègues d'Asconit qui connaissent bien le contexte de terrain et les caractéristiques des sites des Antilles ont diagnostiqué qu'un seuil de basculement encore un peu plus sévère (valeur-guide à étudier placé au voisinage de l'EQR 0,915 pour le basculement TBE-BE). Aucun scénario antérieur n'ayant couvert au-dessus de 0,90, il semblait intéressant à cette occasion de pousser jusqu'au bout l'exercice et d'aller jusqu'à un test de scénario excessivement sévère afin de permettre de bien repérer où se situe la limite haute de calage de scénarios.

Les 2 derniers scénarios étudiés ont donc été construits avec une limite TBE-BE calée sur le percentile 15 des sites de référence (arrondi à la baisse vers l'EQR « rond » le plus proche). Cette pratique a permis de laisser un espace un peu accru de variation naturelle, avec des seuils de classes inférieures assez sévères et avec un seuil de basculement BE-EM partant de la préconisation des experts-terrain (0,915) et allant jusqu'à l'excès volontaire de sévérité (0,92) permettant de mieux situer cette limite (tous les scénarios antérieurs l'ayant approché par défaut sans jamais la franchir).

Les 3 scénarios OPT testés lors du dernier essai ont été les suivants :

- a) Scénario V(15)-1 OPT, limite BE-EM à l'EQR 0,915 (note d'IDA-2 de 17,961),
- b) Scénario V(15)-2 OPT, limite BE-EM à l'EQR 0,92 (note d'IDA-2 de 18,06),
- c) Scénario V(15)-3 OPT, limite BE-EM à l'EQR 0,925 (note d'IDA-2 de 18,158).

## C) Résultats et recommandations Zone « Volcan » :

Scénario Volcan (15)-1 OPT (EQR de basculement BE-EM = 0,915)									
CLASSE D'ETAT	NIVEAU DE REFERENCE	TBE	BE	BE OK	EM	ME	TME	Déclassés	TOTAL
GRILLE d'EQR	1	≥ 0.975	≥ 0,915	BE OK	≥ 0,60	≥ 0,34	]0.34 ; 0.0]		
NOTES d'IDA-2	19,63	≥ 19,139	≥ 17,961		≥ 11,778	≥ 6,674	6,674 - 0		
Etat au relevé (effectifs)	NA	227	154	381	114	9	3	126	507
Etat au relevé (Pourcentage)	NA	44,77%	30,37%	75,15%	22,49%	1,78%	0,59%	24,85%	100,00%

Scénario Volcan (15)-2 OPT (EQR de basculement BE-EM = 0,92)									
CLASSE D'ETAT	NIVEAU DE REFERENCE	TBE	BE	BE OK	EM	ME	TME	Déclassés	TOTAL
GRILLE d'EQR	1	≥ 0.975	≥ 0,92	BE OK	≥ 0,61	≥ 0,36	]0.36 ; 0.0]		
NOTES d'IDA-2	19,63	≥ 19,139	≥ 18,06		≥ 11,974	≥ 7,067	7,067 - 0		
Etat au relevé (effectifs)	NA	227	146	373	121	9	4	134	507
Etat au relevé (Pourcentage)	NA	44,77%	28,80%	73,57%	23,87%	1,78%	0,79%	26,43%	100,00%

Scénario Volcan (15)-3 OPT (EQR de basculement BE-EM = 0,925)									
CLASSE D'ETAT	NIVEAU DE REFERENCE	TBE	BE	BE OK	EM	ME	TME	Déclassés	TOTAL
GRILLE d'EQR	1	≥ 0.975	≥ 0,925	BE OK	≥ 0,62	≥ 0,38	]0.38 ; 0.0]		
NOTES d'IDA-2	19,63	≥ 19,139	≥ 18,158		≥ 12,171	≥ 7,459	7,459 - 0		
Etat au relevé (effectifs)	NA	227	142	369	124	9	5	138	507
Etat au relevé (Pourcentage)	NA	44,77%	28,01%	72,78%	24,46%	1,78%	0,99%	27,22%	100,00%

Figure 38 : Scénarios optimisés d'évaluation au relevé testés sur la Zone « Volcan » et résultats de classement d'Etat (en effectifs, en pourcentage)

Les grilles détaillées de basculement de classes, ainsi que les résultats respectifs de classement d'état des relevés, ont été récapitulés dans la Figure 38 ci-dessus.

Même si les 3 scénarios testés ne donnent qu'une modulation limitée du classement d'état au niveau des relevés en pourcentage (passage d'un peu plus de 75 % de relevés au moins en BE dans le Scénario 1 à 72,78 % dans le Scénario 3, le plus sévère), cette décroissance se répercutant par glissement en renforcement de la classe d'Etat Moyen, l'expertise du déclassement de ces sites n'apparaît pas justifiée sur les 2 derniers scénarios. D'autre part, à partir du scénario 2, le seuil de déclassement BE-EM passe le cap d'une note indicielle **supérieure à 18**, ce qui, même dans le cadre d'un nouvel indice faisant preuve d'une grande sensibilité, apparaît comme une note indicielle trop élevée dans l'absolu pour qualifier le passage du Bon Etat à l'Etat Moyen.

Bien sûr, ce nouvel indice IDA-2 est construit sur un principe totalement différent des indices diatomiques de métropole (ici, utilisation d'une liste de taxons d'alerte dans un contexte de milieu souvent très dilutif, au lieu du classement de qualité basé sur tous les individus de tous les taxons du relevé pour les indices de métropole), et cela change sensiblement les repères en matière de notation de l'altération. Cependant, une note supérieure à 18/20 (ce qui revient à attribuer seulement 10% de la portée complète de l'échelle de notation aux 2 classes de qualité écologique les plus élevées, TBE + BE) apparaîtrait excessivement sévère pour déclasser un relevé du Bon Etat à l'Etat Moyen, niveau d'altération qui sous-entend par définition que l'impact anthropique exerce déjà une modification très sensible sur la composition et les caractéristiques écologiques des relevés biologiques.

Outre le seuil psychologique pré-évoqué, le franchissement de la note 18 rendrait aussi trop disproportionnée la profondeur de la classe d'Etat moyen, dont la valeur indicielle inférieure de basculement vers le mauvais état se situe au voisinage de 12 (soit environ 6 points d'indice de profondeur pour cette classe EM, contre pour plus ou moins d'un point d'indice seulement pour la Classe BE) selon le scénario étudié.

Même si les résultats globaux d'évaluation ne changent pas radicalement de physionomie entre ces 3 scénarios, la sévérité des 2 derniers scénarios devient excessive pour une évaluation judicieuse de l'Etat Ecologique, compte-tenu du contexte géoclimatique local ou des séquences climatiques ou hydrologiques naturelles particulières, en annuel ou selon une distribution aléatoire sur plusieurs années (*cf* succession de 3 années anormalement sèches sur la partie Nord et Ouest de la Réunion entre 2011 et 2013 incluse, *cf* régime saisonnier des pluies et des températures assez atypique pendant les 3 années du programme initial Antilles).

De tels phénomènes stochastiques, usuels dans le contexte climatique assez variable qui caractérise la zone inter-tropicale, peuvent exercer un effet relativement sensible sur le niveau de notation des références. Dans le cadre de cette démarche, le niveau de référence, calculé à partir de toutes les données disponibles sur 5 ans, a été stabilisé à partir de toute cette connaissance existante et sera mis à l'épreuve de l'usage et de la critique éventuelle des utilisateurs pour tout le Plan de Gestion à venir. Il doit donc constituer un compromis permettant d'intégrer et d'un peu tamponner les effets de ces aléas climatiques à fréquence de retour assez habituelle.

En fonction de ce qui précède, l'examen-expert montre que les derniers relevés déclassés lors de l'application des scénarios les plus sévères ne le sont pas judicieusement, ce qui révèle qu'à ce niveau de sévérité, on commence à induire de la confusion entre variabilité naturelle de la notation et détection établie d'impact anthropique. Pour sa part, le Scénario V(15)-1 emporte l'assentiment des avis experts croisés et semble constituer, avec le recul-données disponible, le dosage optimisé permettant une évaluation sensible mobilisant toutes les qualités de l'outil indiciel IDA-2 pour l'évaluation au relevé, sans aller jusqu'à l'excès de sévérité.

L'expertise croisée de ces 3 scénarios « optimisés » a donc conduit au final, d'un commun accord entre toutes les personnes ayant participé à l'examen scientifique des résultats, à préconiser **l'utilisation du Scénario V(15)-1 pour l'évaluation des relevés de la zone Volcan** pour tout le prochain Plan de Gestion (1<sup>er</sup> scénario à l'en-tête stabilisée en jaune en haut de la **Figure 38** page précédente).

### V.2.6. Cartes des résultats de classement d'état au relevé :

Les scénarios de grilles d'évaluation de l'Etat Ecologique à partir du compartiment diatomique ayant été étudiés, et un scénario optimisé de calage de ces grilles au relevé faisant consensus auprès des experts ayant étudié les propositions pour chaque grand ensemble naturel, il devient possible de **figurer sur une même carte les évaluations d'état au relevé individuel des 2 grandes zones naturelles regroupées des Antilles** pour chacune des campagnes de terrain réalisées au cours du programme de Recherche-développement, puis après son achèvement (2012-2013).

Les 2 grilles d'évaluation qui ont servi pour ces projections cartographiques sont celles qui sont proposées dans les pages précédentes pour utilisation future (Scénario P (20)-3-1 OPT pour la zone regroupée « Plaine », Scénario V(15)-1 pour la zone regroupée Volcan). Ce sont ces grilles, qui tirent parti de toute la gamme de variation de note qu'il a été possible de trouver à l'échelon de relevés diatomiques individuels, qui vont être publiées dans le prochain Arrêté d'Evaluation.

Il est par ailleurs possible, pour information complémentaire sur le jeu de relevés, de se reporter aux tableaux détaillés d'affectation d'état au relevé selon les derniers scénarios OPT (optimisés) étudiés dans les 2 tableurs Excel (un pour la zone Plaine, un pour la zone Volcan), qui avaient été joints à l'envoi de la note de travail du 28-04-2014, ainsi qu'à sa V2 du 05-05-2014. Les informations figurent notamment sur la note précise d'indice IDA-2 qui a pu être calculée pour chaque relevé à partir de sa composition spécifique, sur l'EQR qui a été calculé en fonction de leur zone naturelle d'affectation, ainsi que sur le classement d'Etat au relevé qui en a résulté. Les feuilles à consulter pour les informations au relevé sont respectivement les feuilles «EE Relevé Plaine perc.20 OPT » et « EE Relevé Volcan perc.15 OPT » des tableurs joints à cet envoi.

#### A) Cartes d'état écologique diatomique au relevé (Martinique)

Les cartes d'Etat Ecologique des relevés ont été dressées pour chaque campagne de prélèvement réalisée pendant le programme initial de R & D, ainsi que pendant les campagnes classiques de réseaux ou les campagnes supplémentaires menées après lui. Pour la Martinique, les 5 campagnes du programme initial s'échelonnent de la Campagne 0 à la Campagne 4. trois campagnes complémentaires ont suivi son achèvement, à savoir une campagne de réseaux classiques en 2012 (Campagne 6) et 2 campagnes en 2013 dont une cumulait réseaux classiques et sites supplémentaires visant à améliorer la caractérisation des situations de référence de la zone des Mornes et leur variabilité naturelle, et l'autre uniquement la réalisation de l'échantillonnage en contre-saison de ce réseau supplémentaire. Les cartes individuelles de chaque campagne sont données successivement en **Figures 39 et 40** pages suivantes. Les grilles d'évaluation utilisées pour les 2 régions naturelles et quelques résultats statistiques d'évaluation au relevé sont portés en partie basse de ces figures.

Il est possible de constater que, en particulier sur sites de référence (figurés en triangles), le différentiel de niveau de notation précédemment observé en notes brutes d'indice (Figures 5-a et 5-b) entre les 2 grands ensembles naturels de Martinique a été en grande partie résolu par l'adoption des 2 grilles d'EQRs calées en tenant compte des variabilités naturelles par région, ce qui était le but recherché pour obtenir un meilleur ajustement de l'évaluation à chaque zone naturelle.

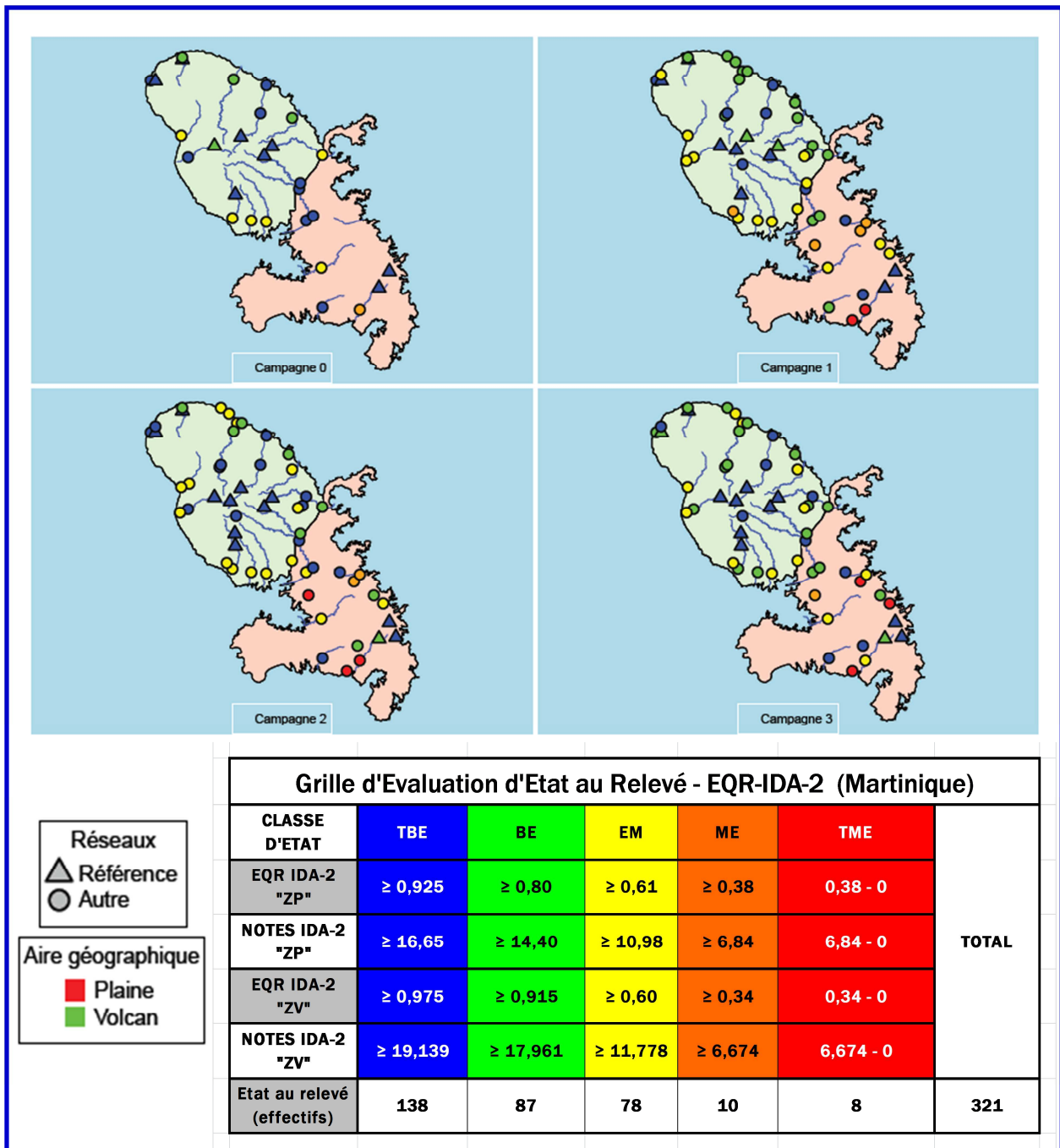


Figure 39 : Cartes d'Etat diatomique des sites de Martinique au relevé selon les 2 nouvelles grilles d'EQR-IDA2 (4 premières campagnes du programme de R et D «Diatomées Antilles»)

Ainsi, les sites de référence de la Zone « Plaine » ont désormais un classement qui oscille selon les campagnes entre le TBE (couleur bleue) et le BE (couleur verte). Dans le même temps, certains sites de référence situés plutôt en périphérie de la Zone «Volcans» ont une notation qui se rapproche de celle de l'autre zone naturelle, quittant aussi le TBE à certaines dates pour arriver à la couleur verte. Ces figures confirment d'ailleurs le phénomène évoqué un peu plus tôt dans ce rapport, à savoir que les sites de référence un peu périphériques au massif volcanique subissent une variabilité naturelle plus importante que ceux situés vraiment en altitude.

## Rapport final

Ce constat vient entériner et appuyer le fait d'avoir choisi le percentile 15 des notes de référence, en zone Volcan, pour mieux prendre en compte la variation naturelle des sites de référence de moyenne et de faible altitude, plus proches des sites à évaluer.

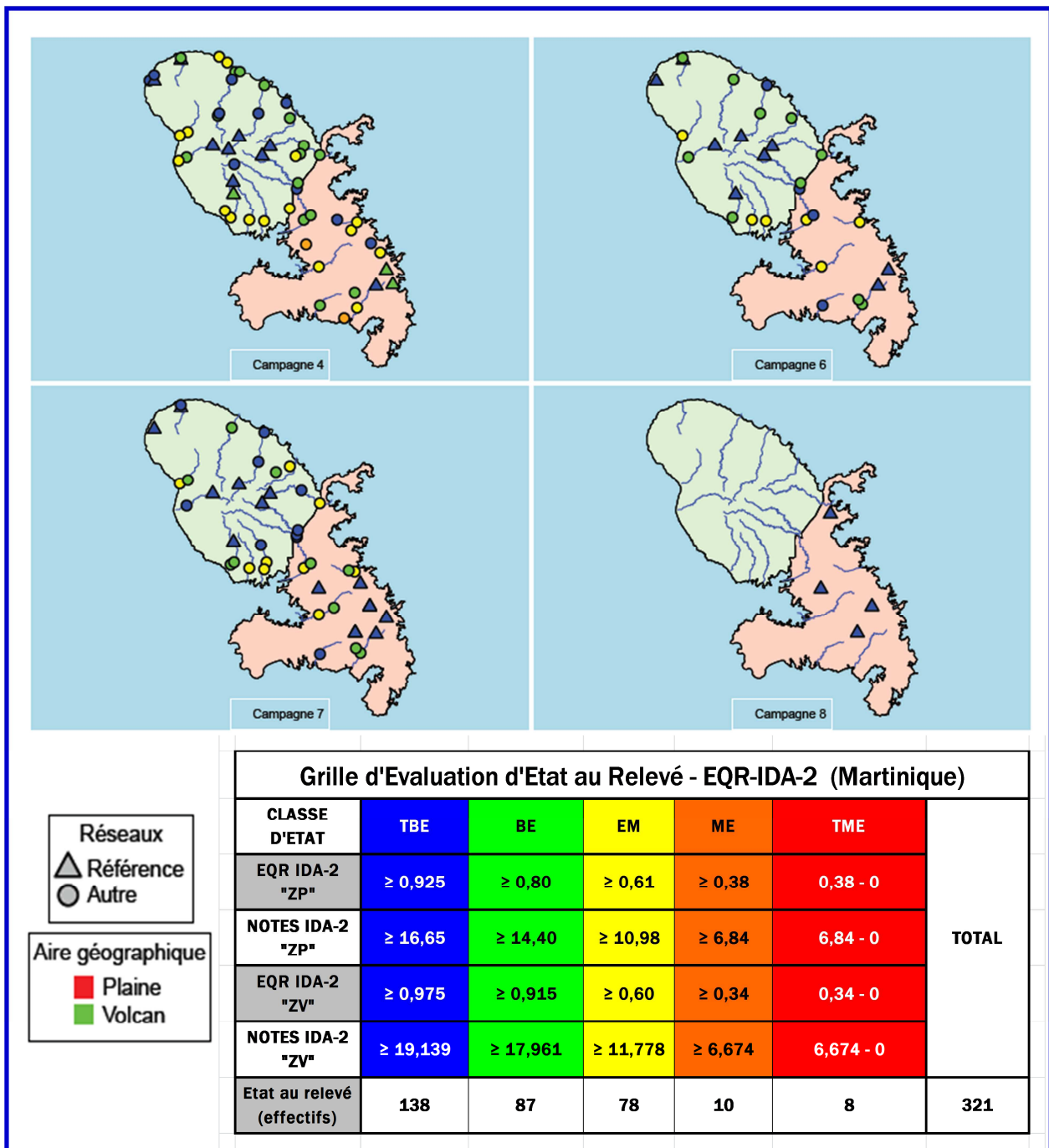


Figure 40 : Cartes d'Etat diatomique des sites de Martinique au relevé selon les 2 nouvelles grilles d'EQR-IDA2 (campagnes suivantes d'échantillonnage)

Par ailleurs, la dynamique de notation au relevé reste importante, les sites ressortant les plus altérés à certaines dates étant logiquement des sites situés à l'aval de STEPs ou d'industries agro-alimentaires de type sucreries-distilleries, traduisant quelque part la variabilité temporelle de l'activité et de la composition de ces rejets, ainsi que du degré d'altération qu'ils produisent sur le milieu récepteur.

Certains relevés de ces sites aux dates les plus altérées atteignent la classe de TME (couleur rouge).

Mais il est patent que le pire en matière de dégradation de la qualité de l'eau n'est pas atteint à tout moment, les mêmes sites très altérés pouvant varier du rouge au jaune selon les dates (soit 3 classes de qualité possibles). Ce constat confirme la plus grande variabilité de qualité des eaux à l'aval de sites très anthropisés, et en particulier de ceux qui viennent apporter des rejets ponctuels au milieu aquatique avec une activité rythmée, soit selon le rythme journalier, soit selon un rythme saisonnier qui se cumule avec le rythme des process spécifiques à l'infrastructure.

Dans ces conditions, comme déjà souligné antérieurement, la stratégie d'illustration de la qualité des eaux basée sur un seul échantillonnage ponctuel a toutes les chances de ne pas être correctement représentative de la dimension temporelle. Mais heureusement, les résultats d'évaluation biologique obtenus grâce aux EQRs-IDA-2 sont manifestement plus intégratifs et restituent bien une image de l'altération des sites assez fidèle par rapport à la connaissance-expert qui existe sur place.

En ce qui concerne les pollutions diffuses agricoles ou domestiques, l'altération produit souvent des effets biologiques moins brutaux. Les effets de l'eutrophisation provoquent souvent un déclassement du très Bon Etat (couleur bleue) ou du Bon Etat (couleur verte) vers l'Etat Moyen (couleur jaune). C'est le cas à l'aval de beaucoup de bassins canniers, bananiers, de secteurs à importantes plantations d'ananas (périphérie du massif volcanique de la Montagne Pelée, zone centrale de Martinique affectée à la région « Plaine »).

### **B) Cartes d'état écologique diatomique au relevé (Guadeloupe)**

Comme précédemment pour la Martinique, les cartes d'Etat Ecologique des relevés ont été dressées pour chaque campagne de prélèvement réalisée pendant et après le programme initial de R & D, permettant l'intégration des résultats jusqu'à la campagne d'hivernage 2013.

Pour la Guadeloupe, les 5 campagnes du programme initial s'échelonnent de la Campagne 1 à la Campagne 5. Trois campagnes complémentaires ont suivi son achèvement, à savoir une campagne de réseaux classiques en 2012 (Campagne 6) et 2 campagnes en 2013 dont l'une (Campagne 7) cumulait réseaux classiques et quelques sites supplémentaires visant à améliorer la caractérisation de l'écologie de NINC sur cours d'eau à substrats volcaniques, et l'autre (Campagne 8) uniquement la réalisation de l'échantillonnage en contre-saison de ce réseau supplémentaire.

Les cartes individuelles de chaque campagne sont données successivement en **Figures 41 et 42** pages suivantes. Les grilles d'évaluation utilisées pour les 2 régions naturelles et quelques résultats statistiques d'évaluation au relevé sont donnés en bas des figures.

L'examen des cartes d'Etat Ecologique des relevés à la campagne de prélèvement pour la Guadeloupe illustre aussi un diagnostic plus équilibré que celui produit avec les notes brutes d'IDA-2, avec quelques sites de référence pouvant à certaines dates passer du TBE (bleu) au BE (vert), ce qui est normal vu le principe de construction de la limite inférieure de la classe de TBE. En effet, dans cette Zone Volcan, la limite inférieure de cette classe est fixée au percentile 15 des valeurs de référence, ce qui suppose que les 15 % de relevés à notes d'IDA-2 les plus faibles basculent par construction dans la classe de BE.



## Rapport final

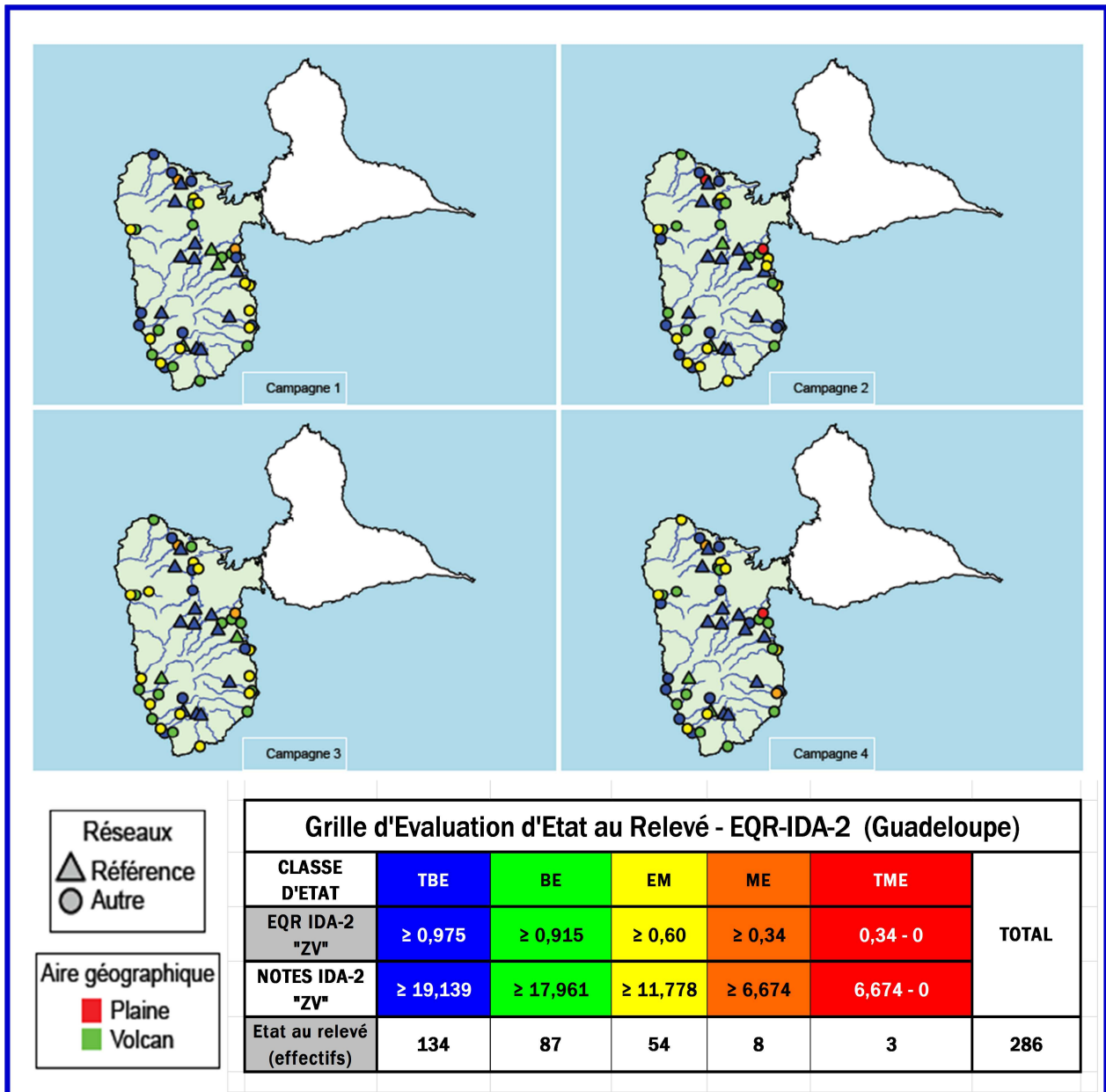


Figure 41 : Cartes d'Etat diatomique des sites de Guadeloupe au relevé selon la nouvelle grille d'EQR-IDA2 / Zone Volcan (4 premières campagnes du programme de recherche-développement «Diatomées Antilles»)

La Basse-Terre de Guadeloupe se révèle globalement moins altérée par les effets de l'anthropisation que la Martinique, ce qui est normal et correspond à la fois à la réalité des référentiels de chimie et au point de vue des experts connaissant bien le terrain local.

La pollution diffuse agricole fait osciller les sites d'aval de bassin versant entre le BE (vert) et l'Etat Moyen (jaune) selon les sites, les saisons et les usages agricoles.

2 sites sous rejets de STEPs subissent des pollutions ponctuelles importantes (Ravine de Onze Heures à Petit Bourg - OHPg, Rivière Baret à Bellevue - BABg).

Les rejets de STEP que ces sites reçoivent peuvent faire basculer le statut du relevé en orange voire en rouge selon les dates.

## Rapport final

**Nota :** ces 2 sites les plus pollués de Guadeloupe ne font pas partie du RCS et n'ont donc plus été suivis lors des campagnes annuelles de surveillance de routine. Néanmoins, il sera nécessaire de continuer à collecter des relevés sur de tels sites très pollués (par exemple, dans le cadre du contrôle d'enquête) afin de pouvoir réaliser la procédure de validation de la performance de l'IDA sur un jeu de données indépendant. En effet, pour rendre l'exercice valide, le jeu de données de validation devra contenir à peu près la même amplitude de gradient d'altération que le jeu de données qui a servi à mettre au point l'indice.

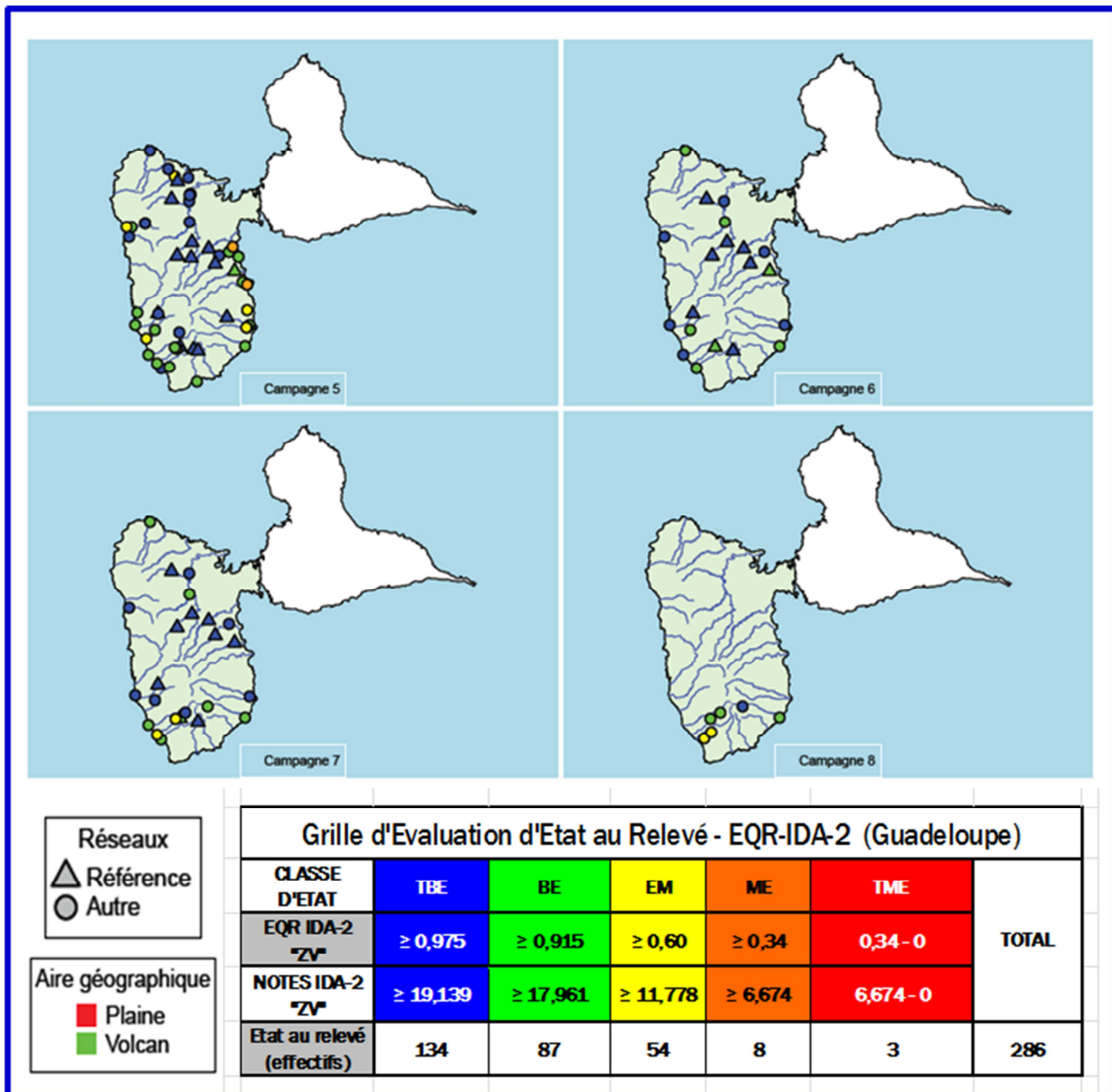


Figure 42 : Cartes d'Etat diatomique des sites de Guadeloupe au relevé selon les 2 nouvelles grilles d'EQR-IDA2 (campagnes suivantes d'échantillonnage)

Au bilan, donc, l'examen de ces représentations cartographiques sur les 2 ensembles naturels des 2 Antilles confirme l'intérêt de l'évolution récente du dispositif.

La nouvelle version d'IDA, ainsi que les grilles d'EQRs récemment mises au point, permettent de maîtriser une bonne partie de la variation naturelle des notes indicielles brutes de référence, gommant les écarts de notation observés entre les 2 régions, et de procurer ainsi un diagnostic plus judicieux et plus équilibré de l'altération anthropique.

Les 2 grilles d'EQRs proposées au final, sur lesquels s'est établi un consensus entre opérateurs possédant une bonne expertise de ces terrains et scientifiques, donnent satisfaction pour une évaluation d'Etat Ecologique au relevé, et sont valides dans ce cadre.

De ce fait, elles ont été proposées pour inclusion dans le nouvel Arrêté d'Evaluation à paraître prochainement, qui donnera le cadre officiel à respecter pour l'évaluation d'Etat Ecologique pendant toute la durée du prochain Plan de Gestion des Masses d'Eau (2016-2021).

## VI. Travail méthodologique sur l'évaluation intégrée d'Etat au site

### VI.1. Problématique, principe de la démarche

L'évaluation de l'Etat Ecologique étant destinée à estimer l'état de masses d'eau dans le cadre de Plans de gestion, un premier niveau d'évaluation élémentaire concerne l'interprétation de la composition de chaque prélèvement biologique individuel, ici des prélèvements d'assemblages diatomiques, via l'interprétation des notes indicielles obtenues. Mais un but important de ces campagnes régulières de suivis est d'évaluer des masses d'eau de façon plus intégrée dans le temps (regroupement de relevés), et de pouvoir aussi évaluer d'éventuelles évolution de l'Etat Ecologique dans la durée afin d'apprécier la tendance : Y a-t-il stabilité ou amélioration pour retour vers le Bon Etat , ce que demande la DCE ? Y a-t-il au contraire une tendance à la dégradation de l'Etat, ce qui n'est pas souhaitable et devrait entraîner l'application de mesures correctives ?

Les 2 grilles d'évaluation proposées au **Chapitre V** sur la base d'EQRs (une par grand ensemble naturel des Antilles) ont fait ensuite l'objet d'un travail prospectif, dans un cadre réglementaire encore non fixé, afin d'étudier dans quelle mesure ces grilles mises au point et validées pour évaluer **l'Etat de relevés individuels** pourraient aussi permettre de réaliser **l'évaluation d'Etat Ecologique intégrée au site**.

En effet, l'évaluation d'état au site sur la base de relevés individuels est nécessaire à l'issue de chaque campagne annuelle de surveillance et doit faire l'objet d'un rapportage régulier auprès de l'U.E. Mais une autre échelle importante d'intérêt, dans le cadre des Plans de Gestion et du rapportage européen, est de travailler sur une **représentation intégrée de l'état des sites**, sur la base d'une **agrégation temporelle de relevés prélevés périodiquement au même site**, dont le « grain » et la stratégie d'interprétation intégrée d'Etat Ecologique n'étaient pas encore décidés et officialisés au moment de l'achèvement de ce travail , ce qui devrait être le cas très bientôt (cf contenu du prochain Arrêté d'Evaluation à paraître prochainement).

D'autre part, il nous est apparu intéressant, au titre de la capitalisation et du partage de l'information acquise au niveau local des Antilles avant le démarrage d'un nouveau Plan de Gestion, **d'intégrer le mieux possible toute l'information disponible sur l'état des sites**, capitalisée dans un premier temps durant le programme initial de R & D « Diatomées des cours d'eau des Antilles », ainsi qu'au cours des campagnes annuelles de réseaux 2012 et 2013 intervenues depuis son achèvement.

En effet, ce recul est précieux pour mieux apprécier l'état de dégradation et la périodicité des manifestations biologiques d'altération (nombre de relevés dégradés, intensité de la notation d'altération) à chaque site suivi.

Comme on le verra par la suite, Il est ressorti assez clairement des travaux méthodologiques exposés dans la suite de ce chapitre que la même grille d'évaluation basée sur le même mode de calcul d'EQRs ne peut pas s'appliquer et procurer un résultat équilibré à la fois **à l'échelle des relevés biologiques individuels** collectés à l'occasion des campagnes saisonnières de surveillance, et **à l'échelle de données biologiques agrégées au site**.

Chaque méthodologie différente d'agrégation envisageable pour une évaluation au site va provoquer des effets sur la dispersion des données agrégées par rapport aux données initiales au relevé, et ceci influera sur la distribution et sur l'utilisation pleine ou partielle de la gamme de notes initialement prévues dans la grille, rendant la grille initiale d'interprétation difficilement compatible pour une évaluation écologique intégrée (multi-dates) des sites.

Les grilles d'évaluation proposées dans le cadre du **Chapitre V** ont clairement été calées sur le niveau des **relevés diatomiques individuels**, et leur expertise et leur validation n'a été étudiée et réalisée que pour une utilisation à cette échelle.

**L'étude méthodologique des effets de l'agrégation temporelle**, quelle qu'en soit la méthode, **est une problématique en soi qui se pose plutôt au niveau national et est dépendante des modalités précises d'agrégation** (principe conceptuel, grain temporel) **adoptés pour le passage en mode opérationnel**. D'une part, elle pourrait se poser à peu près dans les mêmes termes sur tous les maillons biologiques (l'agrégation temporelle modulant le diagnostic, notamment sur le bas de l'échelle correspondant aux plus fortes altérations, et nécessitant une adaptation des seuils de basculement), et d'autre part, la nature et l'intensité de ses effets découleront des modalités précises d'application des procédures d'agrégation préconisées dans le futur Arrêté d'Evaluation (*cf* notamment le grain temporel de cette agrégation).

L'exercice présenté ici n'a pas été réalisé selon les mêmes modalités opératoires, il ne se substitue donc pas à celui que les Offices de l'Eau ont à faire, d'une part dans le cadre de **l'Etat des lieux initial** pour le prochain plan de Gestion, d'autre part dans le cadre du **rapportage européen périodique** qui sera ensuite à réaliser selon des modalités précises édictées dans l'Arrêté d'Evaluation.

La présentation des travaux ci-dessous est donc effectuée **dans le but principal de mise en forme et de capitalisation pour les gestionnaires locaux des Antilles de la connaissance intégrée acquise sur l'état de chaque site**, sur la base de la réponse du maillon diatomique. Il s'agit de faire un bilan le plus assis possible de l'état écologique des sites suivis en mobilisant la totalité de l'information diatomique disponible à ce jour.

Comme évoqué précédemment, la méthodologie d'interprétation du classement d'état au niveau de relevés agrégés doit être étudiée avec attention, car elle peut sensiblement moduler la statistique de classement des sites selon les règles d'agrégation utilisées. Ainsi, l'effet des 2 grilles d'EQRs optimisées (une par grand ensemble naturel) a été décliné afin de tester les conséquences de **4 principes d'agrégation différents sur l'évaluation intégrée des sites** :

a) **Principe strict du OO-AO** : Pour le classement du site, seul est retenu le classement du relevé le plus défavorable de la série. Ce principe, qui cale le diagnostic d'état d'un site sur la pire situation observée, est très sévère.

b) **Tolérance de 25 % de profondeur de classe pour le relevé le plus pénalisant** : Cette tolérance permettant éventuellement le rattrapage d'une classe d'état n'a été appliquée que dans le cas où **un relevé unique** d'une série de 4 ou 5 relevés tombait dans la classe inférieure, et seulement si cet enfoncement de seuil se limitait à moins de 25% de la profondeur de cette classe inférieure. Des exceptions à ce principe général ont été appliquées **dans les cas où il s'agissait d'un site dont le classement oscille uniquement entre le TBE et le BE** avec forte prédominance de classement en TBE (site amont réputé de référence ou très peu perturbé). 2 types de dérogations ont été appliquées : **a)** 2 exceptions possibles en cas de série longue de 7 à 8 relevés ; **b)** certains sites de référence ayant été rajoutés en cours d'étude et procurant un recul moins important sur la série temporelle acquise (exemple typique : Absalon, site de référence à conditions géochimiques particulières rajouté en cours de programme), il a pu être dérogé pour la ré-affectation de BE en TBE, dans cette limite de profondeur de classe, quand **un relevé sur 3 était déclassant**. Si 2 relevés sur la série conduisent vers la classe en-dessous, le site est systématiquement affecté dans la classe inférieure. Si la série comprend 3 relevés ou moins, à l'exception du classement entre TBE et BE envisagé ci-dessus, le site est systématiquement affecté à la classe de qualité du relevé le plus défavorable (retour au principe du OA-AA).

c) **Tolérance de 1/3 de profondeur de classe pour le relevé le plus pénalisant** (mêmes règles de décision que ci-dessus, tolérance d'enfoncement de classe un peu accrue).

d) **Etat écologique au site évalué à partir de la moyenne des notes indicielles obtenues** (nombre de relevés cependant très variable, de 1 à 7, selon les sites d'étude et l'antériorité de leur suivi).

## VI.2. Présentation synthétique des résultats agrégés au site

Les résultats des scénarios d'évaluation intégrée présentés ici ont été étudiés sur la base des 2 grilles d'évaluation en EQRs étant ressorties comme les plus optimisées pour l'évaluation d'Etat Ecologique **au relevé** (cf Chapitre 5).

### VI.2.1. Zone « Plaine »

La grille présentée en haut de la **Figure 43** page suivante (Scénario préconisé « Zone Plaine ») fait à ce stade l'unanimité des metteurs au point de la méthode.

Sur la Zone Plaine, la distribution de l'évaluation des relevés par classe de qualité en fonction de la grille d'évaluation indiquée en haut de figure (voir les lignes 2 et 3 « Grille d'EQR » et « Notes d'IDA-2 ») donne des résultats satisfaisants au relevé à dire d'experts, en fonction de la connaissance de terrain disponible sur les pressions et le degré d'altération anthropique.

**Cette distribution statistique d'Etat au relevé peut servir de repère pour juger les performances des évaluations intégrées.**

Scénario Plaine (20)-3-1 OPT. (EQR de basculement BE-EM = 0,80)									
CLASSE D'ETAT	NIVEAU DE REFERENCE	TBE	BE	BE OK	EM	ME	TME	Déclassés	TOTAL
GRILLE d'EQR	1	≥ 0,925	≥ 0,80	BE OK	≥ 0,61	≥ 0,38	]0,38 ; 0,0]	Déclassés	TOTAL
NOTES d'IDA-2	18,0	≥ 16,65	≥ 14,4		≥ 10,98	≥ 6,84	6,84 - 0		
Etat au relevé (effectifs)	NA	45	20	65	18	9	8	35	100
Etat au relevé (Pourcentage)	NA	45,00%	20,00%	65,00%	18,00%	9,00%	8,00%	35,00%	100,00%
Etat 00-A0 au site (effectifs)	NA	7	10	17	2	1	5	8	25
Etat 00-A0 au site (en %)	NA	28,00%	40,00%	68,00%	8,00%	4,00%	20,00%	32,00%	100,00%
Tolérance 25 % (effectifs)	NA	8	9	17	2	2	4	8	25
Tolérance 25 % (en %)	NA	32,00%	36,00%	68,00%	8,00%	8,00%	16,00%	32,00%	100,00%
Tolérance 1/3 Cl. (effectifs)	NA	8	9	17	2	2	4	8	25
Tolérance 1/3 Cl. (en %)	NA	32,00%	36,00%	68,00%	8,00%	8,00%	16,00%	32,00%	100,00%
Etat moyen au site (effectifs)	NA	12	6	18	3	2	2	7	25
Etat moyen au site (Pourcentage)	NA	48,00%	24,00%	72,00%	12,00%	8,00%	8,00%	28,00%	100,00%

Figure 43 : Présentation synthétique des résultats, au relevé et agrégés au site, du Scénario Plaine (20)-3-1 Optimisé.

Logiquement, les relevés de référence ne sont pas les seuls à contribuer à la fourniture de relevés en TBE. Des sites sous pression modérée, ainsi que des sites en état dégradé, peuvent aussi, à certaines dates et sous certaines conditions, procurer des relevés en TBE, en fonction des caractéristiques hydrologiques et les époques d'exercice de la pression anthropique (certains usages humains étant saisonniers).

Il est donc attendu *a priori* comme un résultat normal que **la statistique d'état par site se dégrade modérément par rapport à la statistique de classement des relevés individuels**, qu'il s'agisse des sites sous pression modérée précités, ou même de certains sites de référence qui, du fait du dispositif de construction des grilles d'EQR, peuvent à certaines dates donner un ou plusieurs relevés classés en BE au lieu de TBE (cf calage par construction du basculement TBE-BE sur un percentile des relevés de référence).

Toutefois, parmi les principes d'agrégation de l'évaluation d'état au site déclinés successivement dans le reste de la **Figure 43**, il est clair que le principe OO-AO est beaucoup trop sévère et déclassant du fait qu'un relevé dans toute une série temporelle suffit à rétrograder le classement du site dans une catégorie inférieure. Ça transparait fortement sur le dépouillement de la classe de TBE, beaucoup de sites de référence étant ainsi déclassés par un relevé tombant de la classe de TBE dans la classe inférieure (BE). Or par construction, il est normal qu'une partie de relevés de sites de référence se classe en-dessous de la classe de TBE (si la limite inférieure TBE-BE est construite par exemple sur le percentile 20 des notes de référence, 20 % des relevés seront forcément inférieurs à la limite TBE-BE). Cet état de fait normal ne devrait pas remettre en cause le statut de référence des sites qui ont été validés dans ce statut.

Ce classement pénalisant se constate aussi par le gonflement excessif de la classe de TME (20 % des sites). Ce principe est manifestement trop sévère et devra être évité.

A l'autre bout de l'échelle (2 dernières lignes du tableau), l'utilisation du principe d'agrégation par la **valeur moyenne des relevés** apparaît laxiste sur la base de la même grille, amenant dans la zone de TBE et de BE des sites au statut douteux, à notation variable mais tirée par de fortes valeurs d'indice à des dates de moindre pollution ou de dilution plus importante. De même, en bas de la grille de qualité des relevés, l'adoption de la moyenne alors que les notes des sites les plus altérés sont très variables selon les dates, le pire du pic d'altération ayant très peu de chances d'être systématiquement détecté, conduit à modérer le diagnostic intégré au site, dont l'estimation moyenne d'état s'atténue beaucoup par rapport aux plus basses notes rencontrées à ce site. Il y a donc distorsion et raccourcissement d'échelle de notation entre la dynamique de l'évaluation au relevé et une évaluation pratiquée sur la moyenne de plusieurs relevés. La grille d'EQRs devrait donc absolument être corrigée pour assurer la justesse du diagnostic d'état.

Entre les 2 sont déclinés des principes d'évaluation proches du principe de OO-AO, mais avec un principe de dérogation si un relevé à une date enfonce le seuil de la classe de qualité inférieure de 25 % (Scénario 25%) ou d'1/3 de classe au maximum (Scénario 1/3). Si le dépassement est plus important, même à une seule date, c'est le classement du site OO-AO qui l'emporte.

On voit que, dans un contexte de forte variabilité climatique liée aux DOM tropicaux, **le scénario 25 amène une modulation assez intéressante du diagnostic**, venant se placer en position intermédiaire entre la statistique d'état au relevé et la statistique des sites sur le principe du OO-AO.

De plus, un autre atout de ce système d'évaluation intégrée est qu'il permettrait de concilier **l'utilisation de la même grille aux 2 grains d'évaluation**, ce qui semble difficilement compatible avec les principes d'agrégation d'état basés sur le OO-AO ou sur la moyenne.

### VI.2.2. Zone « Volcan » :

Le scénario présenté en **Figure 44** en page suivante (Scénario préconisé « Zone Volcan ») est aussi le scénario optimisé qui fait à ce stade l'unanimité des experts ayant participé à la mise au point du nouvel IDA-V2. Pour cette Zone Volcan, l'examen des résultats produits par les mêmes principes méthodologiques d'agrégation conduit à peu près au même diagnostic qu'en Zone Plaine.

La grille d'évaluation en EQRs et en notes brutes d'indice, expertisée et validée pour l'évaluation au relevé individuel, est présentée en lignes 2 et 3. Dans cette région à moindre pression anthropique globale que dans la Zone « Plaine », la statistique d'état au relevé s'établit à 75 % d'entre eux classés comme au moins en BE, ce qui semble assez logique.

Scénario Volcan (15)-1 OPT (EQR de basculement BE-EM = 0,915)									
CLASSE D'ETAT	NIVEAU DE REFERENCE	TBE	BE	BE OK	EM	ME	TME	Déclassés	TOTAL
GRILLE d'EQR	1	≥ 0,975	≥ 0,915		≥ 0,60	≥ 0,34	]0,34 ; 0,0]		
NOTES d'IDA-2	19,63	≥ 19,139	≥ 17,961		≥ 11,778	≥ 6,674	6,674 - 0		
Etat au relevé (effectifs)	NA	227	154	381	114	9	3	126	507
Etat au relevé (Pourcentage)	NA	44,77%	30,37%	75,15%	22,49%	1,78%	0,59%	24,85%	100,00%
Etat OO-AO au site (effectifs)	NA	23	41	64	38	3	2	43	107
Etat OO-AO au site (en %)	NA	21,50%	38,32%	59,81%	35,51%	2,80%	1,87%	40,19%	100,00%
Tolérance 25 % (effectifs)	NA	33	39	72	31	2	2	35	107
Tolérance 25 % (en %)	NA	30,84%	36,45%	67,29%	28,97%	1,87%	1,87%	32,71%	100,00%
Tolérance 1/3 Cl. (effectifs)	NA	33	39	72	31	2	2	35	107
Tolérance 1/3 Cl. (en %)	NA	30,84%	36,45%	67,29%	28,97%	1,87%	1,87%	32,71%	100,00%
Etat moyen au site (effectifs)	NA	45	34	79	25	2	1	28	107
Etat moyen au site (Pourcentage)	NA	42,06%	31,78%	73,83%	23,36%	1,87%	0,93%	26,17%	100,00%

Figure 44 : Présentation synthétique des résultats, au relevé et agrégés au site, du Scénario Volcan (15)-3-1 Optimisé.

Le classement intégré sur le principe OO-AO révèle à nouveau son caractère excessivement sévère, dégageant de plus de moitié la classe de TBE par rapport à la statistique au relevé et faisant glisser une proportion significative des sites vers la classe de BE et vers la classe d'EM (sur ces 2 classes, statistique très significativement gonflée par rapport à celle sur l'état des relevés).

A l'opposé, l'intégration au site basée sur la moyenne des notes des relevés disponibles à ce site donne une statistique trop optimiste, presque exactement calquée sur celle des relevés alors qu'il est clair par exemple que des sites modérément ou plus fortement altérés peuvent aussi contribuer à certaines dates à alimenter la classe de TBE.

Cette évaluation intégrée utilisant la moyenne des notes au relevé, sur la base de la grille au relevé, peut donc être qualifiée de laxiste et donne un résultat d'évaluation trop édulcoré par rapport à ce qui serait attendu pour une évaluation hydroécologique judicieuse au site.

Le principe d'agrégation « Tolérance 25 » donne une nouvelle fois des résultats intermédiaires entre le classement d'état au relevé et le classement au site OO-AO.



Les résultats de ce scénario, éventuellement à optimiser, sont les plus proches de ce qui serait attendu *a priori* et, sur cet ensemble naturel aussi, rendent ce principe d'agrégation relativement compatible avec la grille d'interprétation d'état au relevé.

De son côté, le scénario « Tolérance 1/3 de Classe » donne exactement le même résultat que le scénario « Tolérance 25 » pour une tolérance plus forte qu'il faudrait ensuite essayer de justifier auprès de l'Europe. Il n'apporte donc aucune plus-value par rapport au précédent.

### VI.2.3. Eléments généraux de diagnostic communs aux 2 regroupements d'HERs :

Les principales conclusions opérationnelles qui ressortent des essais méthodologiques visant à l'agrégation temporelle, communes aux 2 grands ensembles naturels regroupés, sont les suivantes :

- a) L'utilisation des seuils d'EQR préconisés dans ces grilles, suffisamment sévères, permet de **conforter le classement des sites altérés** (renforcement du nombre de dates diagnostiquées altérées).
- b) Dans le même temps, **même des sites non suspects d'altération voient souvent leur diagnostic passer à une classe de qualité inférieure au TBE à au moins une date** (événement naturel particulier ayant altéré les communautés biologiques et la note d'indice). C'est aussi une conséquence logique du mode de construction de la valeur de bas de classe de TBE (basée sur un percentile des notes de référence, ce qui suppose que les notes en-dessous de ce percentile ne sont pas classées en TBE).
- c) Dans ce contexte, l'agrégation OO-AO stricte permet de conforter le classement dégradé des sites altérés si la grille d'évaluation est suffisamment sélective (c'est le cas avec ces grilles validées), mais **déclasse dans le même temps un nombre trop important de sites naturels ou pseudo-naturels** ayant pu subir à une date une perturbation non-anthropique sortant du domaine de l'habituel. Il n'est donc pas envisageable d'appliquer strictement ce principe OO-AO avec les seuils suffisamment sélectifs proposés dans ces grilles d'évaluation au relevé, et d'espérer obtenir avec lui un diagnostic sensible et juste d'altération.
- d) La **modulation d'1/4 ou 1/3 de profondeur de classe**, qui n'est appliquée que dans le cas où un seul relevé d'une série déclasserait l'état au site (ou 2 en cas de série longue de 7 à 8 relevés et de « rachat » en TBE), **permet de requalifier beaucoup de sites naturels ou pseudo-naturels**. Cette façon de faire permet donc de contrer de façon assez satisfaisante un reliquat de variation naturelle impactant le résultat de cette nouvelle méthode diatomique (l'IDA-2) dans le contexte spécifique Antillais. Par contre, **les sites impactés par l'anthropisation**, qui présentent une altération biologique plus ou moins marquée à plusieurs dates, **ne parviennent pas être requalifiés selon ce principe dérogatoire ménagé**.

Ce dernier principe d'agrégation temporelle introduisant une modulation ménagée éventuelle et conditionnelle, raisonnable dans ses résultats de classement écologique intégré au site, apparaît aussi défendable sur le plan du contexte naturel local. En effet, les contextes géoclimatiques des DOMs sont propices à des forçages naturels sévères pouvant se révéler perturbants pour le biote et conduire à des baisses de note indicielle.

Les circonstances particulières susceptibles de provoquer ce type d'effets sont, soit des évènements hydrologiques extrêmes caractérisés par des crues très violentes et perturbantes, soit des épisodes de régime très affaibli pouvant s'accompagner de conditions lenticques, de déficits d'oxygénation et d'extrêmes thermiques *in situ*. Il peut enfin s'agir d'épisodes d'apports organiques naturels saisonniers liés aux chutes abondantes de fruits ou d'autre matériel végétal, qui génèrent un niveau de saprobie naturelle assez nettement plus élevé que dans les conditions d'Europe continentale (spécificité des DOMs tropicaux).

A l'étude des résultats de ces scénarios, la modulation d'1/4 de classe apparaît suffisante pour contrer à la fois le déclassement de certains relevés de référence par construction (ceux à la note d'IDA-2 en-dessous du percentile utilisé pour caler la profondeur de classe de TBE vont forcément ressortir en-dessous du TBE), ainsi que la variabilité du domaine de l'état fréquent dans les DOM. La modulation à 1/3 n'améliore pas, ou pratiquement pas le classement quantitatif des scénarios d'agrégation, il n'y a donc aucun intérêt à la préconiser. La modulation possible jusqu'à 1/4 de classe sur un relevé, proche du principe de OO-AO mais permettant quelques rattrapages ciblés de statut, semble bien coller avec la variabilité du résultat de la méthode, en partie par construction et en partie sous influence naturelle dans ce contexte Antillais. Ce principe d'agrégation apparaît raisonnable et d'autant plus défendable qu'il permet l'utilisation de la même grille d'évaluation de qualité que pour l'évaluation séparée des relevés individuels, ce qui n'est le cas pour aucune autre méthode d'agrégation testée.

### VI.3. Présentation cartographique des résultats agrégés au site selon différents scénarios d'agrégation

#### VI.3.1. Martinique :

Les cartes agrégées d'Etat Ecologique intégré construites en fonction des 4 principes d'agrégation temporelle décrits précédemment, sont présentées en **Figure 45** page suivante.

- a) La simulation OO-AO donne une évaluation excessivement sévère, déclassant de nombreux sites de référence (passage du bleu au vert), souvent pour un relevé noté dans cette classe BE à une seule date parmi 4 à 7 ou 8 données. Cette méthode ne permet pas suffisamment de prise en compte des effets résiduels de la variabilité naturelle sur le résultat de notation de la méthode. De même, le classement le plus pénalisant au site parmi toute la série de données est adopté pour évaluer l'Etat Ecologique intégré au site. Ce fait n'est pas trop gênant sur le classement des sites sous pollution diffuse agricole ou domestique modérée (périphérie du massif volcanique). Par contre, il se révèle excessivement pénalisant sur les sites à altérations parfois plus fortes de la Zone des Mornes.
- b) La simulation basée sur la moyenne des notes donne une carte sensiblement trop optimiste, tous les sites de référence et quelques sites modérément pollués ressortant en bleu, et la classe de qualité ayant du mal à descendre, y compris sur des sites fortement pollués à certaines dates (la moyenne édulcorant le classement).

Rapport final

c) et d) : ces principes « rattrapent » en statut TBE des sites de référence ayant pu présenter un ou 2 relevés classés en BE lors d'épisodes naturels un peu perturbants provoquant une baisse de la note d'IDA-2. A l'autre bout de l'échelle, les sites impactés, dans la mesure où ils ont présenté de basses notes au moins 2 fois, se voient affecter un état dégradé tout-à fait en conformité avec l'expertise existante sur ces sites.

La carte c) est celle qui, dans l'état actuel des travaux, refléterait le mieux l'Etat Ecologique représentatif de la connaissance intégrée disponible sur les sites de Martinique à cette date. Le scénario d) n'apporte aucune plus-value par rapport au scénario c), le niveau de « tolérance » plus fort appliqué nécessitant ensuite un niveau de justification plus fort sans apport supplémentaire sur le classement.

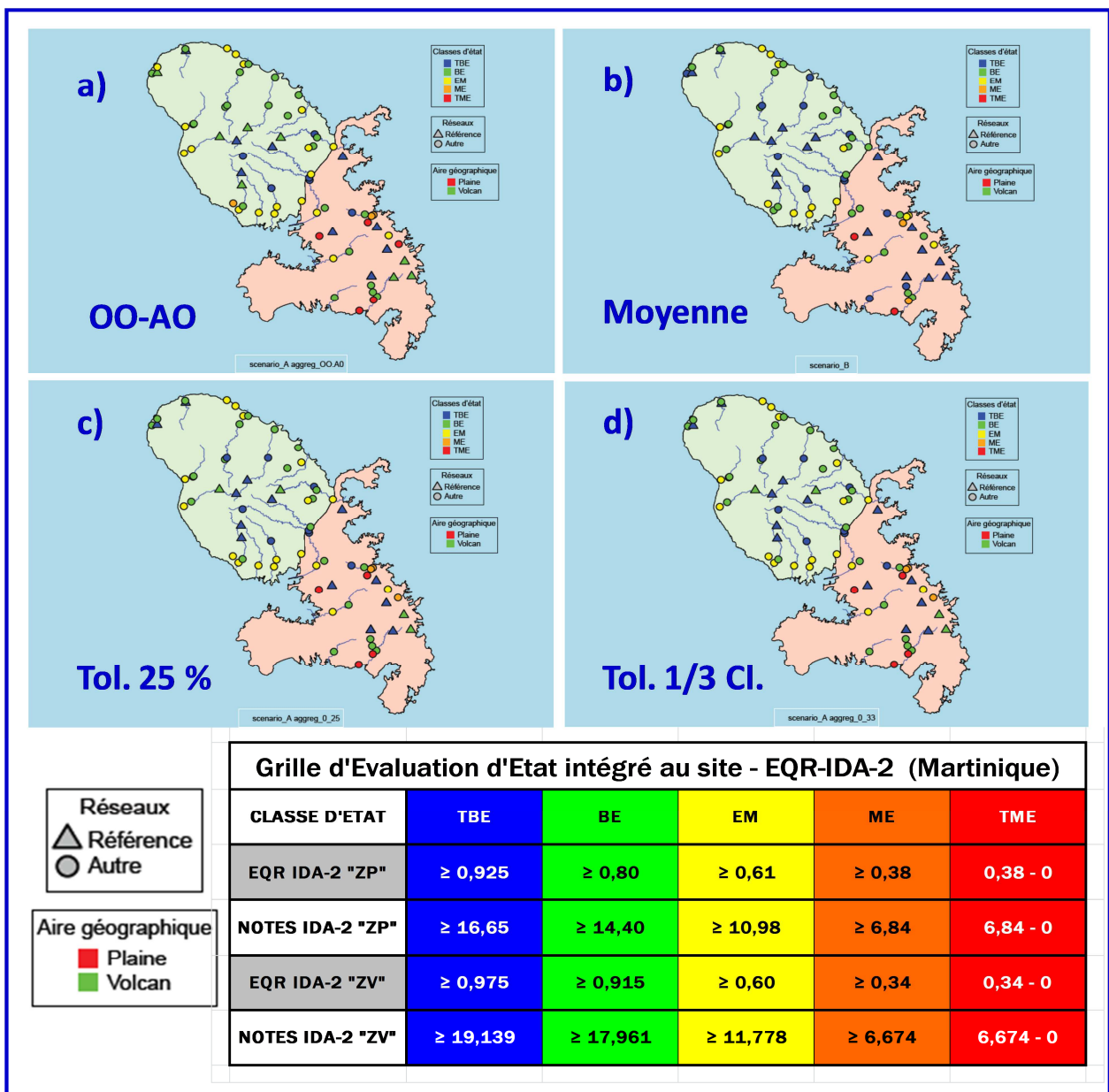


Figure 45 : Résultats cartographiques des scénarios d'Evaluation agrégés au site sur la Martinique : a) Scénario OO-AO ; b) Scénario «Moyenne notes relevés» ; c) «Tolérance 25 %» ; d) Tolérance 1/3 Cl.

### VI.3.2. Guadeloupe :

Les cartes agrégées d'Etat Ecologique intégré construites en fonction des 4 principes d'agrégation temporelle décrits précédemment sont présentées en **Figure 46** ci-dessous.

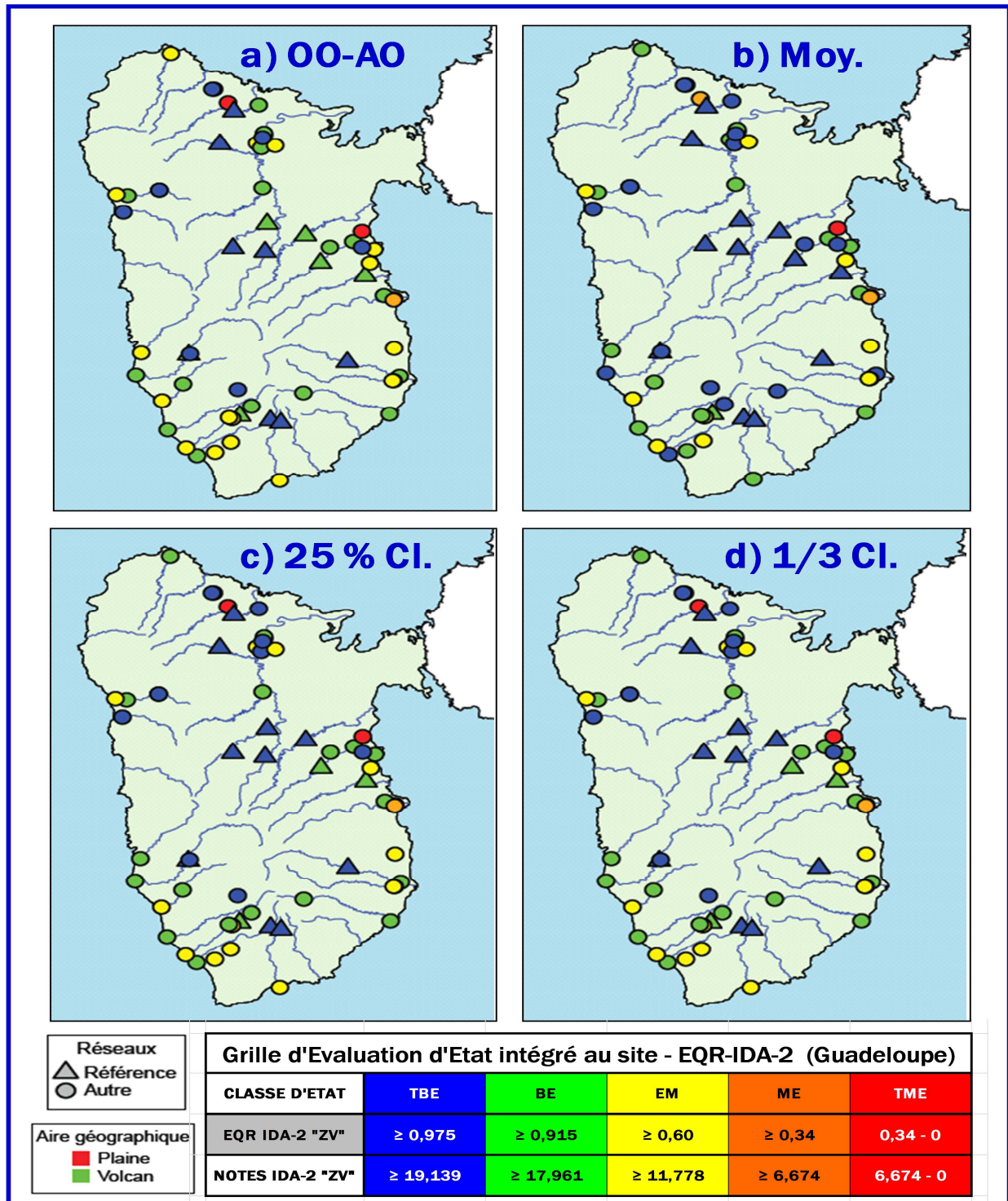


Figure 46 : résultats cartographiques des scénarios d'Evaluation agrégés au site sur la Guadeloupe : a) Scénario OO-AO ; b) Scénario «Moyenne notes relevés» ; c) «Tolérance 25 %» ; d) Tolérance 1/3 Cl.

Les résultats des scénarios d'agrégation sont comparables à ceux précédemment détaillés pour la Martinique, à savoir :

- a) La simulation OO-AO donne une évaluation excessivement sévère, déclassant de trop nombreux sites de référence (passage du bleu au vert), y compris en altitude. De même, le classement du relevé le plus pénalisant parmi toute la série de données acquise est utilisé pour donner l'Etat Ecologique intégré au site, donnant une évaluation probablement trop sévère par rapport à l'état réel le plus habituel des sites sous pression anthropique.
- b) La simulation basée sur la moyenne des notes donne cette fois une carte un peu trop optimiste, tous les sites de référence et quelques sites modérément pollués ressortant en bleu, et la classe de qualité ayant du mal à descendre y compris sur des sites fortement pollués à certaines dates (la moyenne édulcorant très sensiblement le classement). Cependant, sur la Guadeloupe, en moyenne moins polluée que la Martinique, si l'on en reste au simple examen des classes de couleur, qui « résistent » dans ce cas aux différences de notes, cette carte présente assez peu de différence avec les suivantes.
- c) et d) : ces principes rattrapent de façon satisfaisante en statut TBE des sites de référence ayant pu présenter un ou 2 relevés classés en BE lors d'épisodes naturels un peu perturbants pour la note d'IDA-2. A l'autre bout de l'échelle, les sites impactés, dans la mesure où ils ont présenté de basses notes au moins 2 fois, se voient affecter un état dégradé tout-à-fait en conformité avec l'expertise existante sur ces sites. Là aussi, la carte c) est celle qui, dans l'état actuel des travaux, représenterait le mieux l'Etat Ecologique intégré des sites de Guadeloupe à partir de la connaissance disponible à cette date. Comme en Martinique, le scénario d) n'y apporte aucune plus-value par rapport au scénario c) et n'est pas à recommander.

### VI.3.3. Conclusions d'étape « Evaluation intégrée au site » :

Les grilles finales d'évaluation de l'Etat Ecologique sur la base de relevés individuels du compartiment diatomique des cours d'eau, proposées pour insertion dans l'Arrêté « Evaluation » à paraître prochainement (Janvier ou Février 2015), ont aussi été utilisées pour tester 4 possibilités méthodologiques d'agrégation de l'information disponible, afin de qualifier l'**Etat Ecologique intégré au site**.

Le premier constat est que le résultat d'évaluation au site est très sensiblement différent selon le principe d'agrégation de l'information au relevé utilisé.

Ainsi, le principe du **OO-AO non modulé est excessivement sévère** dans le contexte des Antilles, ou l'effet des fortes variations des conditions naturelles impacte de façon non marginale certaines notes d'IDA-2, y compris en sites de référence.

Le principe de la **moyenne des notes des relevés disponibles à un site** a lui aussi été testé et donne pour sa part des résultats trop laxistes si la grille d'interprétation d'état reste la même que pour les relevés. Cette pratique ne serait donc pas correcte dans l'état et ne permet pas d'envisager l'utilisation des grilles proposées sans adaptation spécifique.

Cette piste continuera cependant d'être travaillée puisque le principe de la moyenne d'une série temporelle est le principe qui est retenu dans le prochain Arrêté d'Evaluation pour mettre en pratique l'évaluation intégrée au site à certaines échéances du Plan de Gestion.

A noter que le dispositif d'agrégation précis contenu dans cet Arrêté (moyenne sur 3 ans) n'a pas pu être testé en temps voulu puisqu'il n'était pas encore formulé de façon précise et ne revêtait pas encore de caractère officiel en début de printemps 2014, au moment où les travaux d'investigation de données de ce programme ont dû s'achever.

Cependant, la distorsion de distribution des notes moyennes par rapport aux notes individuelles des relevés est très étroitement conditionnée au « grain » temporel de l'agrégation qui sera réellement mise en pratique ensuite. Pour que ce travail puisse être réalisé et ses résultats évalués de façon correcte, il faut donc le tester et le caler sur la façon de faire très précise édictée dans l'Arrêté.

Parmi 2 principes faisant intervenir un système de dérogation ménagé adoucissant modérément le principe du OO-AO dans certaines conditions précises, **le principe dérogatoire de moins de 25% de profondeur de classe donne des résultats qui reflètent au mieux l'état écologique intégré des sites suivis** en fonction du recul actuellement disponible sur les sites et des avis experts. Ce principe a l'avantage de donner des résultats cohérents et corrects en utilisant les **mêmes grilles d'évaluation à l'échelle intégrée des sites que pour l'évaluation des relevés individuels**, ce qui constitue un avantage à la fois pratique et de justification auprès de l'UE. Le test pratiqué a aussi eu le mérite de permettre de qualifier au plus juste, avec le recueil-données complet disponible, l'état écologique intégré de chaque site d'étude, ce qui peut constituer un bon résumé de l'état écologique initial de ces sites sur le plan diatomique.

L'avenir étant à l'utilisation de la moyenne sur 3 ans (cf contenu de l'Arrêté), il est clairement ressorti des résultats des tests de scénarios d'agrégation réalisés dans le cadre de ce travail **qu'il n'est pas valide sur le plan scientifique et technique d'utiliser les mêmes grilles d'EQR** pour l'évaluation au niveau de **relevés individuels**, usage pour lequel les 2 grilles produites ont été spécifiquement calées et validées, et au **niveau intégré de sites** sur la base de la moyenne préconisée. Il va donc falloir procéder à un **aménagement spécifique** permettant leur adaptation et leur utilisation dans ce contexte d'**agrégation temporelle par la moyenne**. Il va être nécessaire de bien évaluer et quantifier, techniques de tirage aléatoire à l'appui (de type bootstrap), l'effet de compression d'échelle provoqué par une agrégation temporelle à ce grain de 3 ans et travailler à la compenser par une pratique adéquate.

A ce stade, nous pensons réalisable de corriger l'amplitude de l'échelle d'EQRs vers les basses valeurs dans le but de compenser l'effet de compression d'échelle provoqué par la moyenne sur 3 ans. Mais il va falloir tester si cette pratique peut donner un résultat opérationnel satisfaisant. Dans l'état actuel de notre expérience, le résultat correct *in fine* **devrait assez sensiblement se rapprocher du résultat du scénario avec dérogation ménagée de 25 % de profondeur de classe** pour que les résultats de classement d'état donnés par cette nouvelle façon de faire apparaissent valides sur le plan écologique.



## VII. Conclusions, perspectives

Dans le contexte de la nécessité d'application de la DCE dans les DOM et en l'absence de méthode de bio-indication diatomique réellement utilisable sur place (indices métropolitains inadaptés à ce contexte biogéographique), un programme de Recherche-Développement visant à la mise au point d'un indice diatomique adapté au contexte Antillais a été initié par les DEAL Martinique et Guadeloupe ainsi que par les Offices de l'Eau de Martinique et de Guadeloupe en 2009, dans le cadre d'un dispositif financier s'appuyant sur les contributions de ces quatre organismes porteurs du projet, ainsi que de l'ONEMA.

Dans le cadre du consortium chargé de la maîtrise d'œuvre et de la réalisation, ASCONIT Consultants et l'IRSTEA, les deux Maîtres d'Oeuvre, ont également participé à la construction financière sous forme d'autofinancement en propre d'une partie de leurs prestations.

Bien que démarrés séparément et à quelques mois d'intervalle en 2009, ces deux programmes ont été menés en concertation étroite de 2009 à la jonction 2012-2013 (restitution du rapport final du programme de R&D initial, qui a conduit à la production de l'IDA-1). Animés au moyen de Comités de Pilotage conjoints, ils ont convergé vers des analyses de données communes permettant de conforter le jeu de données et de produire au final un indice de bioindication de la qualité de l'eau antillais plus assis et robuste que si les 2 démarches étaient restées individuelles, l'analyse ayant porté sur les jeux de données regroupés de la Martinique et de la Guadeloupe.

Ce programme a ensuite bénéficié de 2 années d'acquisition de données complémentaires ayant permis de compléter et d'améliorer les référentiels de données (adjonction des campagnes de terrain 2012 et 2013). Les travaux présentés dans le présent rapport ont permis de refaire la démarche de création de l'indice sur la base du jeu de données complété et de produire une deuxième version sensiblement améliorée de l'indice diatomique des Antilles, l'**IDA-2**.

Cette étude mêlant travail de terrain, travail d'inventaire taxinomique sur des flores encore peu connues 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 technique et financière déterminante des quatre acteurs locaux précités et de l'ONEMA.

C'est en effet par la mobilisation synergique des moyens de surveillance de la qualité de l'eau et du maillon biologique diatomées (enveloppes annuelles destinées au fonctionnement des réseaux institutionnels) et de moyens additionnels destinés à soutenir l'effort de recherche-développement sur des sites présentant des spécificités de flores ou d'altérations qu'il a été possible de dégager le volant financier minimal nécessaire pour fonder ce nouvel outil de bio-indication.

A noter également, dans ce contexte, l'utilité déterminante des bases de données de réseaux mises en place par les Offices de l'Eau de Martinique et de Guadeloupe, qui ont été mobilisées pour coupler les analyses physico-chimiques et chimiques aux données d'inventaires diatomiques des sites d'étude.



Suite à 3 années et demie de programme initial de Recherche-développement sur ces deux Îles, **485 échantillonnages diatomiques** (244 en Martinique, 241 en Guadeloupe) assortis de mesures physico-chimiques et de prélèvements d'eau pour analyses de laboratoire ont été réalisés sur un dispositif ayant pu comprendre jusqu'à **112 stations différentes** (55 au maximum en Martinique et 57 au maximum en Guadeloupe en incluant les sites supplémentaires), au long de 5 campagnes saisonnières prévues dans le programme initial et calées entre le Carême 2009 et l'Hivernage 2011.

Il a ensuite été possible de conforter les jeux de données et la connaissance par 2 années de plus de collecte de données (2012 et 2013), à la fois dans le cadre des réseaux classiques et par le choix de sites supplémentaires permettant de combler un déficit de connaissance sur les 2 points suivants :

- Compléter la connaissance sur la condition de référence et l'amplitude de la variation naturelle dans la zone fortement minéralisée des Mornes de Martinique,
- Raffiner la connaissance des préférences ou limitations écologiques conditionnant la distribution de l'espèce *Nitzschia inconspicua* (NINC).

Ces 2 années supplémentaires de collecte de données ont permis d'aboutir à la disponibilité de **607 relevés exploitables** au total (données abiotiques sur la qualité des milieux, assemblages diatomiques), qui ont pu servir de base à la mise au point de l'IDA-2. Avec les quelques nouveaux sites choisis en 2013, cela a porté à **130 le nombre total de sites de terrain** ayant contribué à la mise au point de l'IDA-2, répartis de façon presque égale entre les 2 îles.

Plus d'une trentaine de descripteurs abiotiques, dont 25 descripteurs physico-chimiques et chimiques acquis de façon complète et ayant pu être exploitables au final, ont fait l'objet d'une collecte pour chaque relevé (site x date) et ont pu être rapportés à l'épisode correspondant de croissance des biofilms diatomiques échantillonnés. Il aurait été souhaitable de pouvoir mobiliser au moins des doublets de valeurs de chimie pour mieux asseoir la correspondance entre l'exposition physico-chimique et chimique moyenne sur environ 2 mois et les réponses des communautés diatomiques. Cependant, il n'existait presque jamais de doublets de relevés dans les 3 mois précédant l'échantillonnage biologique. Cela a entraîné quelques valeurs chimiques peu représentatives (basées sur un seul échantillon ponctuel), s'illustrant par des points outliers complètement décentrés de la relation moyenne obtenue entre chimie et biologie.

Un flou a subsisté pour certaines analyses sur la nature précise de la matrice analysée et du descripteur mesuré selon les lots de marché, ces analyses n'ayant de plus pas été faites systématiquement selon l'opérateur et le lot (nombreux trous dans la matrice résultante). Notamment, les données de carbone organique (COD, COT), affectées par ce type de problème, n'ont pas pu servir à l'interprétation de la biotypologie SOM ni aux analyses exploratoires (ACP et ACC complète) de la première démarche (Rapport final IDA-1, V.F. du 14-10-2013).

Utiles à l'estimation de la pression organique, elles ont cependant pu faire l'objet d'une expertise et d'un post-traitement spécifique avant de participer à l'élaboration du gradient d'anthropisation de la 2<sup>ème</sup> démarche, sous la forme d'une variable re-globalisée C.Org.

A noter que d'autres variables présentant une certaine part de redondance avec l'information portée par le carbone organique (DCO, NKJ, DBO5 notamment) ont permis de consolider l'information disponible à ce niveau et à renseigner de façon satisfaisante l'écologie des espèces sur le plan de la saprobie et des effets de pollutions organiques.

Pour d'autres paramètres manquants ici ou là, les manques étant rares et attachés à des problèmes techniques particuliers (problème ponctuel à l'analyse, problème de fiabilité d'une mesure physico-chimique pour cause d'appareil défectueux etc...), les bases de données des Offices de l'Eau ont pu être mobilisées à l'occasion pour combler quelques valeurs de descripteurs manquantes en liaison avec les dates de relevés biologiques. Ce type de données est assez aisé à reconstituer, particulièrement s'il s'agit de données hydrochimiques sous influence dominante du contexte géochimique, dont les caractéristiques sont relativement stables à un site dans un contexte hydrologique donné.

Concernant les flores diatomiques, un travail de détermination et de comptage tout-à-fait considérable et très innovant a été réalisé par Anne EULIN en Martinique et par Estelle LEFRANCOIS en Guadeloupe, deux Docteurs d'ASCONIT Consultants, sur des flores encore très peu connues, avec l'appui-expert principal de Michel COSTE, Directeur de Recherche émérite à l'IRSTEA Bordeaux, et divers avis d'autres experts apportés sur des communications orales ou posters dans des congrès de diatomistes (notamment les colloques annuels de l'ADLaF, Association des Diatomistes de Langue Française).

Sur le plan taxinomique et écologique des espèces de diatomées, ce travail ne partait pas de rien, mais l'information initiale était très fragmentaire et incomplète. Il faut mentionner notamment quelques travaux préalables de débroussaillage taxinomique, certains datant déjà de plusieurs décennies (notamment quelques déterminations spécifiques de Manguin et Bourelly (1952) sur matériel ramené suite à la « Mission Allorge 1936 »), et un travail plus récent et plus conséquent ayant été réalisé, mais focalisé sur une seule île, la Guadeloupe et encore fortement incomplet au niveau du nombre de taxons décrits et de leur écologie (à savoir le pré-atlas iconographique des rivières de la Guadeloupe de Tudesque et Ector, 2002).

Ce programme a donc permis la réalisation d'un travail considérable de débroussaillage et de reconnaissance des espèces présentes sur place. Ainsi, **512 taxons différents** ont pu être reconnus et comptés, appartenant à 65 genres différents dont 51 communs aux deux îles. Tous ne peuvent cependant pas participer au calcul de l'indice du fait de l'occurrence ou de l'abondance insuffisante de certains ne permettant pas de leur établir un profil écologique fiable vis-à-vis de l'altération anthropique.

Après application d'un double critère de seuillage (au moins 3 occurrences dans le jeu de données global, au moins 2,5 % dans au moins un relevé), **186 taxons** au total ont été jugés suffisamment occurrents et/ou abondants pour participer d'une part à la démarche de biotypologie des assemblages et d'autre part, pour se voir calculer un profil permettant leur utilisation dans l'indice. Sur cette sélection, 8 taxons ont une écologie typiquement haline. Amenés dans les relevés par des entrées littorales à l'aval de certains cours d'eau, ils ont été mis de côté, ne contribuent pas au calcul de l'indice et ne participent pas non plus à l'effectif du relevé pris en compte. L'IDA-2 est donc assis au final sur un total de **178 taxons contributifs**.

Il est à noter qu'environ 180 taxons seulement du jeu de données (soit 35% du total des taxons déterminés ou repérés) semblent communs aux deux îles, avec une part importante d'incertitude sur ce point puisque la plupart des autres, souvent encore sous numéro, n'ont été vus qu'à un très faible nombre d'occurrences et/ou d'abondances relatives, ne franchissant pas les deux seuils de sélection pour une contribution à l'indice. Il est donc possible que beaucoup d'entre eux soient présents et rares sur les 2 îles, et que l'aléa de l'échantillonnage ait conduit à ce qu'on ne les détecte que sur l'une d'entre elles. A ce stade, donc, respectivement 28 % et 34 % des taxons sont considérés comme «endémiques» de la Martinique et de la Guadeloupe. Les indéterminés jusqu'au nom d'espèce (le plus souvent, nom de genre confirmé et nom d'espèce sous numéro) concernent 39% des taxons communs aux deux îles, ils restent bien sûr plus élevés pour les taxons plus rares et «endémiques» d'une des Antilles (66% pour la Martinique, 69% pour la Guadeloupe).

Ceci montre bien le chemin encore à parcourir entre :

- la reconnaissance d'un taxon permettant son dénombrement spécifique dans les inventaires et son utilisation pratique en bio-indication si intérêt,
- son identification précise dans la bibliographie mondiale, ou sa description en tant que nouvelle espèce identifiée s'il s'agit d'une première description.

Dans le cas de ce programme Antilles, une nette majorité d'espèces «endémiques» à une des deux îles a été rencontrée de façon insuffisante, en termes d'occurrence comme d'abondance, pour participer à la construction indicielle. Ces spécificités de flore ne posent donc pas de problème pratique réel pour la mise en place d'un indice commun. Le problème s'il y en a un serait surtout venu de taxons communs aux deux îles et plutôt euryèces (espèces adaptables aux préférences écologiques assez larges), comme par exemple l'espèce *Nitzschia inconspicua* (NINC), dont le sens à donner au profil de qualité dans le cadre de la nouvelle méthode a nécessité une réflexion spécifique.

C'est la solution de proposition d'un indice sur une base la plus commune possible entre les deux Antilles qui a été choisie au final.

Une maquette de guide iconographique destiné à faciliter les opérations de détermination-comptage a été élaborée à l'issue du programme, qui comporte des fiches-taxons complètes renseignant à la fois sur la détermination, la chorologie, l'écologie des taxons suffisamment rencontrés au niveau des Antilles et participant au calcul indiciel. Pour quelques taxons non inclus dans l'indice et présentant des risques de confusion avec certains taxons indiciels, quelques illustrations spécifiques ou fiches-taxon additionnelles ont cependant été établies. Un atlas taxinomique plus complet, qui fera l'objet d'un travail ultérieur, est en projet. Il mobilisera aussi les illustrations disponibles sur des taxons insuffisamment rencontrés à ce jour pour leur attribuer des données de répartition ou des préférences écologiques fiables, mais ayant été reconnus et codés au niveau spécifique dans le cadre de ce programme.

Un ouvrage assez exhaustif de la connaissance capitalisée sur place est utile. En effet, malgré sa rareté de détection pendant le programme, si un taxon pré-existe et a déjà été repéré et photographié aux Antilles, il n'est pas exclu qu'à l'occasion de conditions particulières, il puisse un jour être trouvé à des niveaux plus élevés nécessitant son inclusion ultérieure dans l'indice, ce qui passe en premier lieu par son comptage correct dans les inventaires concernés.

Son catalogage dans le guide iconographique ou dans un atlas plus complet peut donc constituer une aide précieuse à l'opérateur futur chargé de la réalisation de marchés sur les réseaux (cela lui évite d'avoir à rechercher le taxon dans la bibliographie mondiale, peu accessible et demandant beaucoup d'expertise voire d'arbitrage pour son interprétation). Cet appui documentaire à l'opérateur de réseau à venir est le plus sûr moyen d'obtenir des remontées d'informations un minimum fiables sur le comptage de taxons encore non inclus dans la métrique indicielle et de pouvoir évaluer, à intervalles réguliers de quelques années, la nécessité ou non de les rajouter à la liste des espèces-cibles de l'IDA-2.

Sur la base des déterminations taxonomiques réalisées sur les inventaires collectés jusqu'à fin 2011 dans le cadre du premier programme de R & D, il a été réalisé une étude biotypologique des assemblages diatomiques des Antilles à l'aide d'un réseau neuronal non supervisé (la SOM ou Self-Organizing Map), permettant de repérer les assemblages naturels représentatifs de différents substrats géologiques et de différentes conditions climatiques. Cette biotypologie n'a pas été refaite avec les données supplémentaires 2012 et 2013, en contexte de temps limité et du fait que les 20% de données rajoutées n'ont pas augmenté la portée des gradients naturels et anthropiques contenus dans le jeu de données. En cas de besoin, il est possible de se référer en détail à ses résultats, qui ont été présenté de façon assez exhaustive dans le rapport final IDA-1, version finale du 14-10-2013, et dans ses annexes (en particulier, positionnement hydroécologique de chaque taxon dans la carte SOM, présenté exhaustivement dans son Annexe 10).

Les résultats biotypologiques obtenus à l'époque sont venus conforter certains aspects de la démarche IDA-2 (cadre explicatif de la structure des assemblages diatomiques, regroupements adéquats d'HERs trop dépourvues de sites de référence en ensembles naturels regroupés de plus grande taille etc...).

En résumé sommaire, neuf groupes diatomiques distincts (aussi appelés biotypes) avaient ainsi été caractérisés, la plupart présentant des différences sur le plan de leurs préférences hydrochimiques plutôt naturelles. Du fait des spécificités taxonomiques de chacune des deux Antilles qui ont joué leur rôle dans la structuration des clusters, le gradient naturel allant des zones aux eaux les moins minéralisées vers des situations plus minéralisées se réalisait en passant par 2 chemins différents, la partie gauche de la SOM concernant de façon dominante des relevés de Martinique et la partie droite des relevés de Guadeloupe. Le biotype 8 typique de flores d'eaux très minéralisées présentait en son sein tous les gradients possibles entre des situations naturelles avec fortes conductivités électriques, situations avec entrées halines et quelques sites fortement minéralisés et pollués. Enfin, deux clusters seulement (Biotype 3 et Biotype 9 du niveau de coupe 9 clusters) se différenciaient surtout du fait d'un basculement de typologie pré-déterminée par l'altération anthropique (clusters « pollués »).

La variation saisonnière semble moins contrastée et moins stable aux Antilles qu'à la Réunion et n'a pas provoqué de basculements saisonniers aussi repérables dans la biotypologie. Ce fait s'explique peut-être par un contraste thermique entre la saison chaude et la saison froide moindre aux Antilles qu'à la Réunion, la saison hivernale étant assez notablement plus contrastée et plus fraîche à la Réunion qu'aux Antilles.

Une autre raison est que, par rapport au climat-type décrit pour ces îles, il existe de nombreuses situations exceptionnelles concernant notamment le régime des pluies, qui entraînent aussi leur lot de répercussions thermiques. Certaines saisons du programme initial Antilles, qui ont été franchement atypiques sur le plan climatique, ont donc pu contribuer à gommer les différences saisonnières éventuelles des communautés diatomiques.

Le découpage HER proposé par *Wasson et al* en 2004 en Guadeloupe et *Chandesris et al* en 2005 en Martinique procure une trame naturelle abiotique assez consistante *a priori* pour l'application d'EQRs. Cependant une difficulté d'application aux Antilles réside dans le fait que certaines HERs n'ont presque plus, voire plus du tout de sites non-anthropisés. Des regroupements ont été réalisés en tenant compte à la fois de la plus grande proximité des caractéristiques hydrochimiques naturelles des eaux et des biotypes des flores diatomiques (projection des relevés identifiés par leur appartenance biotypologique à tel ou tel cluster de la SOM dans l'espace des données abiotiques d'une ACP complète).

Cette pratique a permis de conforter un regroupement opérationnel des HERs des Antilles en 2 grands ensembles naturels regroupés : 1) une **Zone « Volcan »** regroupant des sites sur substrats de laves volcaniques aux eaux faiblement minéralisées des 2 îles, sans différenciation d'altitude ; 2) **une Zone « Plaine »** regroupant la Zone des Mornes et la Plaine du Lamentin en Martinique. Les analyses de données réalisées et commentées dans le présent rapport ont permis de constater que l'utilisation de 2 grilles d'EQRs élaborées sur la base de ce découpage abiotique améliore nettement la consistance des résultats d'évaluation d'Etat Ecologique par rapport à l'utilisation d'une grille basée sur un cadre interprétatif global de notes brutes d'indice (qu'il s'agisse de l'IDA-1 ou de l'IDA-2 dont la conception a été exposée dans le présent rapport).

Un second constat qui émane clairement de l'analyse biotypologique est que, dans un contexte îlien à reliefs importants et à hydrologie soutenue, la dérive amont-aval de cortèges d'espèces de bonne qualité augmente la résilience des assemblages de type naturel et retarde le basculement typologique lié aux altérations anthropiques. C'est pour cela que deux clusters seulement ont une biotypologie **déterminée prioritairement par l'altération**. Pour les 7 autres clusters, on peut constater que leur domaine dans l'espace des données abiotiques peut recouvrir **depuis le domaine de référence jusqu'à des sites déjà franchement altérés, mais ou l'effet de l'anthropisation n'a pas été encore suffisant pour provoquer un basculement biotypologique suffisamment drastique**. Cette résilience des peuplements naturels est probablement aidée par le soutien hydrologique (effet dilutif d'altérations) et par la dérive permanente et soutenue de frustules d'espèces diatomiques qui dérivent depuis l'amont (drift).

La caractéristique pré-décrite de résilience typologique des peuplements a joué un rôle important dans le **choix du principe méthodologique sous-tendant la conception du nouvel indice Antilles** (IDA-1, puis IDA-2). En effet, il a été jugé préférable de ne pas baser la mesure d'altération sur la composition de l'assemblage dans son équilibre global au site, mais de privilégier le message associé à des **taxons d'alerte** dont la présence dans un assemblage est synonyme d'effet d'une altération anthropique très significative s'étant produite à l'amont, ne serait-ce que dans des conditions très localisées.

Cette philosophie de conception, déjà utilisée pour la conception de l'IDA-1 à la fin du programme de R & D initial, a donné relativement bonne satisfaction, mais l'utilisation de cet indice a permis de soulever les quelques aspects perfectibles suivants, qu'il était souhaitable de s'attacher à résoudre dans une deuxième version :

- 1) essentiellement une variation de la condition de référence encore insuffisamment appréhendée et maîtrisée dans la zone naturelle fortement minéralisée des Mornes de Martinique (problème conjoint de conductivités électriques très importantes pour le domaine d'eau douce et de l'occurrence d'épisodes d'étiage très sévères dans cette zone Sud Martinique semi-aride) ;
- 2) un impact insuffisamment contrôlé de la saprobie naturelle dans les situations non anthropisées des Antilles dans leur ensemble ;
- 3) le statut vis-à-vis de l'indice à donner au taxon NINC, très courant et abondant, mais à la signature écologique porteuse d'ambiguïtés.

Ainsi, dans le nouvel indice Antilles, version 2 (IDA-2), une liste réduite de **47 taxons d'alerte** a été sélectionnée, utilisable pour toutes les HERs des 2 îles. A noter qu'afin d'éviter de créer un bruit de fond important sur la variation des notes non liée directement à une altération anthropique certaine, suite à une expertise approfondie, NINC a été basculé depuis le statut calculé de Taxon – à celui expertisé de Taxon +. En effet, il fait partie intégrante d'assemblages naturels typiques de cours d'eau sur substrats minéralisés, notamment dans les Mornes de Martinique, mais aussi sur certaines inclusions localisées de tufs à la périphérie du massif volcanique de la Montagne Pelée (sites de l'Anse Céron et de Grand-Rivière Trou Diabliesse), NINC pouvant selon les dates constituer le taxon dominant de l'assemblage sur ces sites de référence.

La nouveauté principale de l'IDA-2 par rapport à l'IDA-1 est qu'il a été proposé des règles de sélection et de catégorisation plus raffinées de l'information écologique acquise sur les taxons d'alerte (22 Taxons<sup>2</sup> et 25 Taxons<sup>1</sup>). A noter l'ajout de règles portant non seulement sur l'affinité de chaque taxon d'alerte pour les classes les plus dégradées (Classes 1 et 2), mais aussi sur leur plafonnement dans les 2 classes des meilleures qualités (Classes 5 et 4), cette pratique ayant permis de mieux isoler l'effet de la saprobie naturelle (chute saisonnière de pièces florales, de fruits, de feuilles des arbres du corridor des cours d'eau) de celle provoquée par les altérations anthropiques.

Pour l'IDA-2 comme antérieurement pour l'IDA-1, les principes généraux de construction et de fonctionnement indiciel sont les mêmes :

- Pour l'**aspect de construction**, Ils ont tous deux été bâtis par rapport au positionnement des taxons et des relevés (site-date) au long du gradient d'anthropisation présent dans le jeu de données « Antilles ». Ce gradient est représenté et résumé au moyen d'une **métrique composite**, le gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation (ou GCMA), intégratrice de **9 descripteurs d'anthropisation**. Cette façon de faire composite a été choisie compte-tenu de la structuration particulière de ce jeu de données Antilles, dans lequel il est impossible d'isoler les effets particuliers d'altérations spécifiques (trop forte auto-corrélation de tous ces descripteurs d'une part, et vecteurs de ces variables anthropiques exerçant en outre un effet complètement groupé dans l'espace des données).

Le gradient global d'altération anthropique rencontré a été résumé dans le Gradient Composite Multimétrique d'Anthropisation (GCMA), gradient synthétique de valeurs d'anthropisation calculées en chaque site à partir des résultats correspondants d'analyses de l'eau positionnés dans une ACP restreinte (gradient abiotique basé sur une sélection de 10 descripteurs d'anthropisation), et en lui cumulant le gradient de la matrice-réponse biologique dans une ACC restreinte (gradient de réponse biotique à cette même sélection de descripteurs). A ce titre, ce nouvel indice est conçu pour évaluer l'altération d'état écologique lié à une **altération anthropique composite (multi-factorielle) de la qualité de l'eau**. Il a aussi une base de construction **multi-métrique** car le calage des profils de ses espèces constitutives dans le GCMA est réalisé sur la base du cumul des 2 métriques de gradient précitées : la métrique basée sur le référentiel abiotique (ACP restreinte), et la métrique de réponse biologique des communautés diatomiques (ACC restreinte).

- Sur le plan du **fonctionnement indiciel**, c'est le cumul d'abondance relative des taxons d'alerte et des valeurs unitaires de dégradation qu'ils apportent qui fait chuter l'indice à partir de ses valeurs de référence. L'amélioration apportée entre les 2 versions a été grandement obtenue par le raffinement des règles de sélection et de mobilisation des profils de qualité des espèces dans l'indice (2 catégories différentes de taxons d'alerte exerçant un poids différent dans le calcul d'indice). Si, en liaison avec un basculement biotypologique d'assemblage diatomique lié à une très forte altération, les taxons-cibles négatifs dominent l'assemblage, l'indice peut alors atteindre ses plus basses valeurs observées.

La notation naturelle de l'indice ne pouvant pas, dans les conditions spécifiques des Antilles, atteindre son minimum théorique de [-300] (un relevé contenant **uniquement des taxons d'alerte**<sup>2</sup>- n'étant pas envisageable dans des conditions de cours d'eau réel des Antilles, fortement dilutifs des altérations reçues), il a été décidé de limiter l'échelle de notation au domaine des possibles ( [+ 100] , [-150] ) et d'intégrer cette adaptation d'échelle au calcul de la note sur 20.

Concernant les caractéristiques de bio-indication de ce nouvel indice diatomique Antilles, à l'instar de l'IPS et de l'IBD pour la métropole et l'Europe de l'Ouest et même s'il a été construit selon une philosophie et une méthodologie assez différentes (cf recours pour l'IDA à une liste limitée de taxons d'alerte, alors que les 2 indices nationaux précités voient leur notation s'asseoir sur la répartition de chaque taxon de l'assemblage dans chacune des classes de qualité), il permet de diagnostiquer de façon assez fiable et sensible **les pollutions trophiques** (enrichissement en éléments minéraux inorganiques liés à l'eutrophisation), **les pollutions organiques** (enrichissement en matière organique fermentescible), **les pollutions chimiques générales** (altération des milieux par une minéralisation excessive ou par l'intervention d'effets acidifiants ou alcalinisants, en liaison avec des apports chimiques industriels ou collectifs).

Par contre, cet indice n'est pas spécifiquement conçu pour un diagnostic de pollutions toxiques et dans l'état, ne contient pas de métrique(s) spécifiquement calée(s) sur des effets de substances toxiques. Il répondra probablement à de telles pollutions par le changement de composition biocénotique éventuellement induit par ce type d'impacts, mais de façon ni spécifique, ni très sensible. Il pourrait donc être envisagé à l'avenir de mettre en place un programme et un indice plus à même de **diagnostiquer l'effet de pollutions à toxiques**, ce qui passe par le **repérage de métriques susceptibles de répondre de façon assez sensible aux effets de telles altérations**.

L'examen d'une première classification rustique globale se basant sur les notes brutes d'IDA-2 et sur leur mobilisation directe en évaluation par une grille d'interprétation unique, a déjà permis de diagnostiquer **que cette nouvelle version d'indice** donne une évaluation assez sensible et réaliste de l'état écologique des cours d'eau. Cependant, cet exercice a aussi révélé un écart assez sensible de niveau d'interprétation entre la zone naturelle volcanique, aux notes en général plus élevées, et la zone fortement minéralisée de type « Mornes de Martinique » où la variabilité de la notation sous une influence naturelle, même en sites de référence, est souvent plus importante.

De fait, ce principe d'évaluation dans l'absolu n'est pas DCE-compatible car cette Directive demande d'évaluer l'Etat Ecologique d'un site et sa déviation de l'état de référence par rapport à la "**référence adéquate**".

Comme mentionné un peu plus tôt dans cette conclusion, après plusieurs itérations soumises à chaque fois au diagnostic et à l'avis d'experts en vue de la préparation d'un comité de pilotage décisionnel devant se dérouler le 28 Avril 2014, nous avons pu finalement proposer 2 grilles d'EQRs calées sur les grands ensembles naturels des Antilles, qui ont été jugées suffisamment optimisées et adoptées de façon consensuelle vers la fin Avril 2014. Les ensembles naturels ayant servi de base à la construction des grilles d'évaluation sont les suivantes :

- une **zone regroupée « Plaine »**, qui inclut les zones aux eaux fortement minéralisées de Martinique, la Zone des Mornes et la Plaine du Lamentin,
- une **zone regroupée « Volcan »**, qui regroupe les cours d'eau situés sur les 2 zones volcaniques de Martinique et de Guadeloupe, ainsi que la Plaine Humide de la Basse-Terre de Guadeloupe.

Cette organisation était assez largement inspirée de la zonation naturelle proposée par *Wasson et al* en 2004. Il a cependant été nécessaire de procéder au regroupement d'ensembles présentant des caractéristiques naturelles et biotypologiques les plus proches, certaines de ces entités ne possédant plus ou plus suffisamment de situations de référence en interne, pour aboutir à ces 2 ensembles naturels plus intégratifs.

Au final, il a pu être vérifié dans le présent rapport que cette façon de faire DCE-compatible procurait une amélioration très substantielle dans l'évaluation d'Etat Ecologique par rapport à l'utilisation directe des notes brutes d'indice, et aussi par rapport aux résultats des différents essais réalisés avec la version antérieure d'IDA-1.

Les grilles optimisées en EQRs pour les 2 grandes zones naturelles regroupées constituent donc un **système désormais opérationnel pour l'évaluation des relevés diatomiques individuels**. Elles ont donc été proposées pour inclusion dans le futur Arrêté « Evaluation » à paraître prochainement avec le contenu suivant :

Scénario Plaine (20)-3-1 OPT. (EQR de basculement BE-EM = 0,80)						
CLASSE D'ETAT	NIVEAU DE REFERENCE	TBE	BE	EM	ME	TME
GRILLE d'EQR	1	≥ 0,925	≥ 0,80	≥ 0,61	≥ 0,38	]0,38 ; 0,0]
NOTES d'IDA-2	18,0	≥ 16,65	≥ 14,4	≥ 10,98	≥ 6,84	6,84 - 0



<b>Scénario Volcan (15)-1 OPT (EQR de basculement BE-EM = 0,915)</b>						
<b>CLASSE D'ETAT</b>	<b>NIVEAU DE REFERENCE</b>	<b>TBE</b>	<b>BE</b>	<b>EM</b>	<b>ME</b>	<b>TME</b>
<b>GRILLE d'EQR</b>	<b>1</b>	<b>≥ 0,975</b>	<b>≥ 0,915</b>	<b>≥ 0,60</b>	<b>≥ 0,34</b>	<b>]0.34 ; 0.0]</b>
<b>NOTES d'IDA-2</b>	<b>19,63</b>	<b>≥ 19,139</b>	<b>≥ 17,961</b>	<b>≥ 11,778</b>	<b>≥ 6,674</b>	<b>6,674 - 0</b>

Ces grilles ont été calées sur des valeurs optimisées de basculement de classe les plus « rondes » possibles en EQRs. La correspondance avec les notes d'IDA-2 est donnée à la dernière ligne de chaque grille. Naturellement, la grille de référence pour déterminer l'Etat Ecologique étant celle en EQRs, les valeurs de basculement de classe en notes indicielles ne peuvent pas tomber elles aussi sur des valeurs rondes d'indice. Elles ont donc été arrondies au millième de point pour approcher le plus précisément possible la valeur de basculement d'EQR correspondante.

Ce dispositif d'interprétation d'état ayant été élaboré, calé, testé et validé dans le cadre de l'évaluation de l'état écologique à partir des **relevés individuels**, qui est le premier niveau d'évaluation à réaliser en routine dans le cadre des réseaux de surveillance, il a aussi été réalisé un travail prospectif au 1<sup>er</sup> semestre 2014 afin de voir dans quelle mesure ces grilles pouvaient permettre aussi d'aborder l'agrégation temporelle de l'information disponible, afin de qualifier l'**Etat Ecologique intégré au site**. Dans cet objectif, **4 possibilités méthodologiques d'agrégation temporelle de l'information acquise au site** ont été envisagées et testées. Le premier constat est que l'évaluation au site peut donner des résultats très sensiblement différents selon le principe d'agrégation utilisé.

- Le principe du **OO-AO** a été jugé **excessivement sévère** dans le contexte des Antilles, ou l'effet des fortes variations des conditions naturelles impacte de façon non marginale certaines notes d'IDA-2, y compris en sites de référence.
- Parmi les 2 principes faisant intervenir un système de dérogation ménagé adoucissant modérément le principe du OO-AO dans certaines conditions précises, le **principe dérogatoire de tolérance de moins de 25% de profondeur de classe** donne des résultats qui **reflètent au mieux l'état écologique intégré des sites suivis** en fonction de l'information actuellement disponible et les avis experts. Ce principe a l'avantage de donner des résultats cohérents et corrects en utilisant les **mêmes grilles d'évaluation à l'échelle intégrée des sites** que pour l'évaluation des **relevés individuels**, ce qui constitue un avantage à la fois pratique et de justification auprès de l'UE.
- Le principe de la **moyenne des notes des relevés disponibles à un site** a lui aussi été testé et donne pour sa part des **résultats laxistes** si la grille d'interprétation d'état reste la même que pour les relevés. En effet, l'utilisation de la moyenne provoque une compression très sensible de l'échelle des possibles. De ce fait, le pire n'étant pas atteint à chaque date pour diverses raisons, l'utilisation de ce principe atténue très sensiblement le niveau d'altération diagnostiqué sur les sites les plus pollués, mais il contribue aussi à une atténuation du résultat sur des sites douteux présentant des effets indéniables de pollution à certaines dates, que cette pratique de la moyenne fait rebasculer en bon état.

La réalisation de l'exercice prospectif précité (étude des modalités d'agrégation temporelle au site et résultats procurés) a déjà permis d'expertiser les résultats des scénarios d'agrégation envisagés et de repérer quelle méthodologie, dans l'état actuel de pratique de l'exercice, donnait les résultats intégrés les plus corrects. Ainsi, parmi 2 principes faisant intervenir un système de dérogation ménagé adoucissant modérément le principe du OO-AO dans certaines conditions précises, **le principe dérogatoire de moins de 25% de profondeur de classe donne des résultats qui reflètent au mieux l'état écologique intégré des sites suivis** en tenant compte de l'information actuellement disponible et des avis experts. Ce principe a l'avantage de donner des résultats cohérents et corrects en utilisant les **mêmes grilles d'évaluation** à l'échelle intégrée des sites que pour l'évaluation des relevés individuels, ce qui constituerait un avantage à la fois pratique et de justification auprès de l'UE.

Concernant l'utilisation de la **note moyenne des relevés** pour évaluer l'Etat Ecologique, il faut préciser que l'intensité de la compression d'échelle est fortement dépendante du grain temporel auquel est réalisée l'agrégation. Or la méthodologie précise proposée dans le futur Arrêté d'Evaluation à paraître n'était encore ni stabilisée, ni officielle à l'époque où il a fallu achever ces travaux. Il n'a donc pas été possible d'en étudier les effets réels au grain temporel adopté. Quoi qu'il en soit, la pratique basée sur une moyenne temporelle de plusieurs relevés disponibles au même site a été testée et **ne donne pas des résultats corrects dans l'état** si l'on utilise les **mêmes grilles d'évaluation en EQRs** que celles proposées pour l'usage au relevé. Il apparaît donc nécessaire d'adapter ces grilles pour leur permettre ce cadre d'utilisation.

Au bilan, les résultats du travail exploratoire visant à tester quatre méthodologies d'agrégation temporelle envisageables pour l'évaluation au site ont donc permis d'expertiser et de situer **à quel type de résultats on devrait raisonnablement arriver**. Dans l'état, le principe dérogatoire au OO-AO au seuil de 25% de profondeur de classe a donné les résultats de classement d'état évalués comme les plus valides par l'expertise, au plan individuel au site comme au plan plus global, et a permis l'édition de cartes d'état intégré s'appuyant sur toute l'information disponible à ce jour en Martinique (**Figure 45**) et Guadeloupe (**Figure 46**).

A notre sens, ces cartes sont **le résumé le plus intégratif et le plus exact possible de l'état diatomique des sites suivis**, en bonne correspondance avec l'expertise capitalisée sur chacun d'entre eux. Elles ont vocation à servir de repère historique pour une capitalisation par les acteurs et décideurs Antillais de l'information intégrée disponible sur ces sites à cette date. Dans ce sens, elles pourraient tout-à-fait servir de référence pour situer **l'Etat Ecologique initial des cours d'eau des Antilles** sur le plan du **maillon diatomique** pour le Plan de gestion à venir.

Cependant, le principe d'**agrégation de l'information au site par la moyenne** selon un grain temporel de 3 ans, contenu dans l'Arrêté d'Evaluation à paraître, est **la méthode qui va devoir être mise en pratique** pour le prochain Plan de Gestion des Masses d'Eau. Or, pour tous les concepteurs de cette nouvelle méthode, il est clair que les grilles d'EQRs diatomiques introduites dans l'Arrêté, calées pour l'évaluation au niveau de relevés individuels, n'ont pas été produites et validées dans cette optique d'intégration temporelle au site. Au moins dans le cas des nouveaux indices diatomiques DOM dont la notation est basée sur des **taxons d'alerte**, il a été vérifié que leur utilisation après agrégation temporelle au site conduit à des résultats d'évaluation laxistes dans l'état.

Il apparaît donc nécessaire dans un délai rapide de prévoir un **travail complémentaire spécifique** permettant de simuler et de compenser la compression d'échelle produite en fonction du grain précis d'agrégation temporelle qui sera mis en œuvre, afin d'aborder le Plan de Gestion des masses d'Eau de 6 ans qui va débiter sur des bases correctes.

A ce stade, une option technique envisageable est de corriger l'amplitude de l'échelle d'EQRs vers les basses valeurs, afin de compenser l'effet de compression d'échelle provoqué par la moyenne sur 3 ans. Il serait *a priori* intéressant de s'appuyer sur une technique biomathématique spécifique (bootstrap) pour arriver à prendre plus de recul statistique en se servant du panel de données réelles de notation indicielle IDA-2 existantes, pas toujours suffisantes dans l'état, et à dimensionner plus précisément la compression d'échelle qui intervient statistiquement à ce grain précis.

Techniquement, il devrait être possible de **garder dans tous les cas la même échelle d'évaluation en EQRs** que celle des grilles de l'Arrêté pour chacune des 2 régions naturelles, mais celle-ci se référerait à un calcul d'EQR différent selon que l'on s'adresse à une évaluation au relevé (cf contenu exact des grilles actuelles) ou à une évaluation intégrée au site sur 3 ans (gamme et dynamique de variation des notes indicielles agrégées plus réduite, limites de classes à réadapter).

Cependant, cela implique la réalisation d'un travail spécifique dans ce sens afin de tester si cette pratique peut donner un résultat opérationnel satisfaisant, sachant que, dans l'état actuel de notre expérience, le résultat-cible correct pour l'évaluation agrégée au site devrait se rapprocher assez sensiblement du résultat de classement du scénario qui a été produit avec dérogation ménagée de 25 % de profondeur de classe.

La première version d'Indice Diatomique des Antilles, l'IDA-1 (Rapport final du programme de R & D initial, version du 14-10-2014) apparaît désormais caduque. Le nouvel outil produit (IDA-2) a résolu les quelques défauts de jeunesse de la première version et a tiré parti des compléments de données spécifiquement acquis en 2012 et 2013 pour régler de façon plus satisfaisante certains aspects qui apparaissaient un peu problématiques à l'expertise. Il a ainsi été remédié notamment au problème de maîtrise du niveau assez élevé de **saprobie naturelle** rencontré dans ces milieux tropicaux, à l'aspect trop lacunaire des **sites de référence** dans certaines HERs, à l'adaptation-optimisation de l'**évaluation dans la zone regroupée Plaine**, de la sensibilité de la méthode en **début de gradient d'altération** (raffinement des règles d'exploitation des profils de taxons), de l'**optimisation de l'affectation des taxons à telle ou telle catégorie bio-indicatrice**.

L'IDA-2 a d'ores et déjà supplanté et remplacé la première version d'IDA, qui n'avait pas encore de statut officiel. Afin de simplifier la phase de sa mise en pratique pour la gestion et de clarifier le propos pour les différents acteurs locaux, nationaux et l'Europe, on conviendra donc à partir de maintenant de **faire tout simplement référence à l'IDA (Indice Diatomique des Antilles) en lieu et place de l'IDA-2**, qui était un nom provisoire de version de travail.

Cette assimilation est déjà passée dans la pratique pour la rédaction du projet de nouvel Arrêté d'Evaluation qui reste à paraître prochainement.





# Annexes



# Annexe 1 : Références bibliographiques et valorisations du programme

## 1-1) Liste des références bibliographiques citées dans le rapport final IDA-1 (VF du 14-10-2013)

Référence 1 : AFNOR, 2007. Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD). Norme NF T: 90-354.

Référence 2 : Bertolli L.M. 2010 Diatomacea sperifiticas em substrates natural e artificial, reservatorio do rio passauna, regioo metropolitan de Curitiba, Parana. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Botânica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. pp229

Référence 3 : Blanco S., Cjugo-Figueiras C., Alvarez-Blanco I., Bécares E., Hoffmann L. & Ector L. 2010 Atlas de las diatomeas de la Cuenca del Duero. Universidad de Leon - Centre de Recherche Public Gabriel Lippmann. p.49-52 et 180-191

Référence 4 : Burrelly, P. and Manguin, E. 1952 Algues d'eau douce de la Guadeloupe et dépendances. Centre National de la Recherche Scientifique, Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, Paris. 281 pp

Référence 5 : Boutry, S., Gassiole, G., Rosebery, J., Giraudel, J.L., Peres, F., Coste, M., Delmas, F. 2012. 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. Rapport OLE Réunion-Asconit-Irstea, Version finale, 10-10-2012, 98 pages + annexes

Référence 6 : Bottin Marius (2012) Rapport de thèse « Structure des assemblages de diatomées benthiques en rivière : l'environnement explique-t-il tout ? ». Thèse de Doctorat de l'École Doctorale « Sciences et Environnements » Spécialité « Ecologie », soutenue à l'Université Bordeaux 1, Talence (France) le 28/08/2012.

Référence 7 : Box, G. E. P. and D. R. Cox (1964). "An Analysis of Transformations." Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological) 26(2): 211-252.

Référence 8 : ter Braak, C. (1987). "The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis." Vegetatio 69: 69-77.

Référence 9 : Chandesris A., Wasson J-G, Pella H. 2005 Hydro-écorégions de la Martinique. Proposition de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau. Rapport Cemagref.

Référence 10 : Compère P. et Riaux-Gobin C. 2009 Diatomées de quelques biotopes marins, saumâtres et dulçaquicoles de Guinée (Afrique occidentale). Systematics and Geography of Plants 79 : 33-66

Référence 11 : Coste M., Boutry S., Tison-Rosebery J. et Delmas F. 2009 Improvements of the Biological Diatom Index (BDI): Description and efficiency of the new version (BDI-2006). Ecological Indicators, 9 : 621-650

Référence 12 : 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).

Référence 13 : Danielidis D.B. and Mann D.G. 2002 The systematics of *Seminavis* (Bacillariophyta): the lost identities of *Amphora angusta*, *A. ventricosa* and *A. macilenta*. European Journal of Phycology 37(3) : 429-448

Référence 14 : Danielidis Daniel B. and Mann David G. 2003 New species and new combinations in the genus *Seminavis* (Bacillariophyta). Diatom Research 18(1) : 21-39



- Référence 15 : Dray, S. and Dufour, A.B. (2007): The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software*. 22(4): 1-20.
- Référence 16 : Dufrene M, and Legendre, P, 1997. Species assemblages and indicator species : the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-66 (Indval).
- Référence 17 : Hlubikova D., Ector L. & Hoffmann L. 2011 Examination of the type material of some diatom species related to *Achnantheidium minutissimum* (Kütz) Czarn. (Bacillariophyceae). *Algological Studies* 136/137 : 19-43
- Référence 18 : Jahn R., Kusber W-H & Romero O.E. 2009 *Cocconeis pediculus* Ehrenberg and *C. placentula* Ehrenberg var. *placentula* (Bacillariophyta) : Typification et taxonomy. *Fottea* 9(2) : 275-288
- Référence 19 : Jari Oksanen, F. Guillaume Blanchet, Roeland Kindt, Pierre Legendre, Peter R. Minchin, R. B. O'Hara, Gavin L. Simpson, Peter Solymos, M. Henry, H. Stevens and Helene Wagner (2012). vegan: Community Ecology Package. R package version 2.0-3. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Référence 20 : 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.
- Référence 21 : Jüttner I., Chimonides J. & Cox E.J. 2011 Morphology, ecology and biogeography of diatom species related to *Achnantheidium pyrenaicum* (Hustedt) Kobayasi (Bacillariophyceae) in streams of the Indian and Nepalese Himalaya. *Algological Studies* 136/137 : 45-76
- Référence 22 : Kelly M.G., Bennett C., Coste M., Delmas F., Denys L., Ector L., Fauville C., Ferreol M., Golub M., Jarlmann A., Kahlert M., Lucez 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](http://circa.europa.eu/Public/irc/jrc/jrc_eewai/library?l=/intercalibration_2/lastest_committee/rivers/phytobenthosdoc/_EN_1.0_&a=d)
- Référence 23 : 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.
- Référence 24 : Kermarrec L. 2012 Apport des outils de la biologie moléculaire pour l'utilisation des diatomées comme bioindicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques lotiques et pour l'étude de leur taxonomie. Thèse de doctorat de l'Université de Grenoble
- Référence 25 : Kohonen T., 1995. Self-Organizing Maps, volume 30 of Springer Series in Information Sciences}. Springer, Berlin, Heidelberg. (Second Extended Edition 1997).
- Référence 26 : Krammer K. 1988 The *Gibberula*-group in the genus *Rhopalodia* O. Müller (Bacillariophyceae) II. Revision of the group and new taxa. *Nova Hedwigia* 47(1-2) : 159-205
- Référence 27 : Lange-Bertalot H. and Krammer K. 1993 Observations on *Simonsenia* and some small species of *Denticula* and *Nitzschia*. *Nova Hedwigia* 106 : 121-131
- Référence 28 : Legendre, P. & Legendre, L. Numerical Ecology. (Elsevier, 2012)
- Référence 29 : 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)
- Référence 30 : Monnier O., Lange-Bertalot H., Bertrand J. 2002 La flore des diatomées d'un aquarium d'eau douce tropicale I. Observations taxinomiques. Actes du 21ème Colloque de l'ADLaF
- Référence 31 : Morales E. A. 2005 Observations of the morphology of some know and new fragilaroid diatoms (Bacillariophyceae) from rivers in the USA. *Phycological Research* 53 : 113-133
- Référence 32 : Morales E.A., Ector L., Fernandez E., Novais M.H., Hlubikova D., Hamilton P.B., Blanco S., Vis M.L., Kociolek J.P. 2011 The genus *Achnantheidium* Kütz (Achnanthes, Bacillariophyceae) in Bolivian streams : a report of taxa found in recent investigations. *Algological Studies* 136/137 : 89-130

- Référence 33 : Morales E.A., Vis M.L. 2007 Epilithic diatoms (bacillariophyceae) from cloud forest and alpine streams in Bolivia, South America. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 156 : 123-155.
- Référence 34 : Nisbet M. et Verneaux J. 1970 Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition de classe en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie* 6(2) : 161-190
- Référence 35 : Reichardt E. 1997 Taxonomische Revision des Artenkomplexes um *Gomphonema pumilum* (Bacillariophyceae). *Nova Hedwigia* 65 (1-4) : 99-129
- Référence 36 : Reichardt E. 2005 Die Identität von *Gomphonema entolejum* Ostrup (Bacillariophyceae) sowie Revision ähnlicher Arten mit weiter Axialarea. *Nova Hedwigia* 81(1-2) : 115-144
- Référence 37 : 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)
- Référence 38 : 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)
- Référence 39 : Schoeman F.R. & Archibald R.E.M. 1979 The Diatom Flora of Southern Africa N°5: *Navicula tenera*. CSIR Special Report WAT 50
- Référence 40 : Segura-Garcia V., Israde-Alcantara I., Maidana N.I The genus *Navicula sens stricto* in the upper Lerma basin, México.I
- Référence 41 : Siver P.A. & Kling H. 1997 Morphological observations of *Aulacoseira* using scanning electron microscopy. *Can. J. Bot.* 75 : 1807-1835
- Référence 42 : Snoeijis P. 1992 Studies in the *Tabularia fasciculata* complex. *Diatom Research* 7 (2) : 313-344
- Référence 43 : Sterrenburg F.A.S. 2001 Studies on the genera *Pleurosigma* and *Gyrosigma*. *Academy of Naturel Sciences of Philadelphia* 151 : 121-127
- Référence 44 : Tison J., Coste M., Delmas F., Chandesris A., Mengin N. et Wasson J.G. 2005 Flores diatomiques des cours d'eau : Typologie des assemblages de référence au niveau du territoire Français. Proposition de valeurs limites du « Bon Etat » pour l'IPS et l'IBD. *Rapport Cemagref*
- Référence 45 : 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*, 39, p. 3177 – 3188.
- Référence 46 : Trobajo R., Rovira L., Ector L., Wetzel C.E., Kelly M. and Mann D.G. 2012 Morphology and identity of some ecologically important small *Nitzschia* species. *Diatom Research* 27 : 1-23
- Référence 47 : Tudesque L., Ector L., 2002. Pré-atlas iconographique des rivières de la Guadeloupe. p78.
- Référence 48 : Tuji A. & Williams D.M. 2008 Typification and type examination of *Synedra familiaris* Kütz. And related taxa. *Diatom* 24 : 25-29
- Référence 49 : Ueda A., Watanaba T., Akaneya K. and Katano N. 2009 Diatoms in Akita Prefecture, northern part of Japan, part 1—Diatoms in strongly acidic hot springs. *Diatom* 25 : 116-119
- Référence 50 : Van Dam, H., A. Mertens, et al. (1994). "A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands." *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 28(1): 117-133.
- Référence 51 : Ward, J. H. (1963). "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function." *Journal of the American Statistical Association* 58(301): 236-244.

Référence 52 : Wasson J-G, Chandesris A., Pella H. 2004 Hydro-écorégions de la Guadeloupe. Proposition de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau. Rapport Cemagref

Référence 53: Williams D.M. and Round F.E. 1987 Revision of the genus *Fragilaria*. Diatom Research, 2 (2) : 267-288

Référence 54 : Wydrzycka U., Lange-Bertalot H. 2001 Las diatomeas (Bacillariophyceae) acidofilas del rio Agrio y sitios vinculados can su cuenca, volcan Poas, Costa Rica. BRENESIA 55-56. pp68

## **1-2) Liste complémentaire : Références bibliographiques des documents produits dans le cadre du présent programme de Recherche-Développement « Indice diatomique Antilles »**

GUEGUEN, J., EULIN, A., LEFRANCOIS, E., BOUTRY, S., ROSEBERY, J., COSTE, M. & DELMAS, F. - 2013 - Programme d'Etude et de Recherche 2009-2012 - Mise au point d'un indice de bio-indication de la qualité de l'eau des cours d'eau antillais à partir des diatomées : l'IDA. Rapport final (Version du 14/10/2013). 189 pages + annexes.

EULIN, A. & LEFRANCOIS, E., GUEGUEN, J., BOUTRY, S., COSTE, M. & DELMAS, F. - 2013 - Programme d'Etude et de Recherche 2009-2012 - Mise au point d'un indice de bio-indication de la qualité de l'eau des cours d'eau antillais à partir des diatomées : l'IDA. Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Diatomées Antillais (Version du 04/04/2013). 88 pages + planches iconographiques.

EULIN A., LEFRANCOIS, E., GUEGUEN, J., ROSEBERY, J., COSTE, M., DELMAS, F. - 2013- Note de travail : Evaluation de l'Etat Ecologique dans l'HER regroupée « Volcan » à partir de L'IDA (Indice Diatomique Antilles). Version du 28-05-2013, 5 pages.

EULIN, A. & LEFRANCOIS, E., GUEGUEN, J., BOUTRY, S., COSTE, M. & DELMAS, F. - 2014 - Programme d'Etude et de Recherche 2009-2012 - Mise au point d'un indice de bio-indication de la qualité de l'eau des cours d'eau antillais à partir des diatomées : l'IDA. Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Diatomées Antillais – Volume 1 (Version Finale du 29/04/2014). 128 pages + planches illustratives des taxons inventoriés.

EULIN, A. & LEFRANCOIS, E., GUEGUEN, J., BOUTRY, S., COSTE, M. & DELMAS, F. - 2014 - Programme d'Etude et de Recherche 2009-2012 - Mise au point d'un indice de bio-indication de la qualité de l'eau des cours d'eau antillais à partir des diatomées : l'IDA. Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Diatomées Antillais – Volume 2 (Version Finale du 29/04/2014). 474 p. dont planches iconographiques.

GUEGUEN, J., EULIN, A., LEFRANCOIS, E., BOUTRY, S., ROSEBERY, J., COSTE, M. & DELMAS, F. - 2015 - Programme d'Etude et de Recherche 2009-2014 – Production d'une version améliorée de l'Indice Diatomique Antilles (IDA-2), utilisation pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau des Antilles. Rapport final (Version Finale du 11-03-2015). 133 pages + annexes.

EULIN A., LEFRANCOIS, E., GUEGUEN, J., ROSEBERY, J., COSTE, M., DELMAS, F. - 2014- Rapport d'Expertise et d'Etude : Evaluation de l'Etat Ecologique aux Antilles à partir de l'IDA-2 (Indice Diatomique Antilles). Version finale du 11/05/2014 corrigée, 53 pages.

EULIN A., LEFRANCOIS, E., GUEGUEN, J., ROSEBERY, J., COSTE, M., DELMAS, F. - 2013- Note de travail : Evaluation de l'Etat Ecologique aux Antilles à partir de L'IDA (Indice Diatomique Antilles). Version du 26-07-2013, 7 pages.

### **1-3) Support des présentations orales réalisées au cours du programme de Recherche-développement « Indice diatomique Antilles »**

**EULIN-GARRIGUE A., LEFRANÇOIS E., DELMAS F., COSTE M., CAPDEVILLE B., FIGUERAS C., MANGEOT L., GRESSER J., GLEPIN S., KANOR S., BARGIER N., 2010. Colloque sur la Bioindication et la biodiversité des écosystèmes d'eau douce en milieu tropical. 1-3 décembre 2010 – Martinique (Com orale).**

**EULIN-GARRIGUE A., LEFRANÇOIS E., COSTE M., GUEGUEN J., BOUTRY S., ROSEBERY J. & DELMAS F. Flore diatomique des Antilles françaises : Présentation des principaux éléments taxonomiques justifiant et participant à la conception d'un indice diatomique des Antilles françaises. 31ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF) 11 - 13 septembre 2012, Le Mans, France. (Poster)**

**LEFRANÇOIS E., EULIN-GARRIGUE A., GUEGUEN J., BOUTRY S., ROSEBERY J., COSTE M. & DELMAS F. Mise au point d'un indice diatomique adapté aux Antilles françaises : Aspects taxonomiques et écologiques. 31ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF) 11 - 13 septembre 2012, Le Mans, France. (Présentation orale)**

**GUEGUEN J., BOUTRY S., EULIN-GARRIGUE A., LEFRANÇOIS E., COSTE M., ROSEBERY J. & DELMAS F. Approche biomathématique pour la mise au point d'un indice diatomique des Antilles françaises : présentation de la démarche, résultats actuels et perspectives. 31ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF) 11 - 13 septembre 2012, Le Mans, France. (Présentation orale)**

**GASSIOLE G., EULIN A., LEFRANÇOIS E., PERES F., BOUTRY S., GUEGUEN J., GIRAUDEL J.L., ROSEBERY J., COSTE M. & DELMAS F. Méthodes phytobenthiques cours d'eau (Réunion et Antilles) : Cadre général et méthodologique. Séminaire ONEMA – DOM, Porte Dorée, 20 et 21/03/2013 (Présenté oralement par François Delmas)**

**EULIN A., LEFRANÇOIS E., BOUTRY S., GUEGUEN J., ROSEBERY J., COSTE M. & DELMAS F. Phytobenthos des cours d'eau des Antilles : l'IDA. Séminaire ONEMA – DOM, Porte Dorée, 20 et 21/03/2013 (Présenté oralement par Anne Eulin)**

**GUEGUEN J., BOUTRY S., EULIN-GARRIGUE A., LEFRANÇOIS E., COSTE M., ROSEBERY J. & DELMAS F. Approche biomathématique pour la mise au point d'un indice diatomique adapté aux Antilles françaises, l'IDA, et pour l'évaluation de l'État Écologique de leurs cours d'eau. 33ème Colloque de l'Association des Diatomistes de Langue Française (ADLaF) 7 - 10 octobre 2014, Clermont-Ferrand, France. (Présentation orale).**



## Annexe 2 :

### Rappel de la liste des stations échantillonnées aux Antilles lors du programme initial de recherche-dévt. (2009-2012)

#### A) Liste des stations échantillonnées en Martinique

	Masse d'eau	Nom station	Code SANDRE	Code Asconit	Type DCE	Camp.0	Camp.1	Camp.2	Camp.3	Camp.4
						Juin.2009	Nov.2009	Mai 2010	Oct./Nov.2010	Avril 2011
Stations des réseaux DCE	Lorrain	Séguineau	08205101	LOS	enquête	X	X	X	X	X
	Grande Rivière Pilote	Aval Bourg Rivière Pilote	08813102	PIB	enquête	X	X	X	X	X
	Monsieur	Pont de Montgérald	08412102	MOM	enquête	X	X	X	X	X
	Case Navire	Case Navire (bourg Schœlcher)	08302101	CBN	enquête	X	X	X	X	X
	Grand Rivière	Stade de Grand Rivière	08102101	GRS	Surveillance	X	X	X	X	X
	Lorrain	Amont confluent Pirogue	08203101	LOP	Surveillance	X	X	X	X	X
	Carbet	Fond Baise	08322101	CAF	Surveillance	X	X	X	X	X
	Lézarde	Palourde Lézarde	08501101	PAL	Surveillance/Référence	X	X	X	X	X
	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	08533101	PRB	Surveillance ACER	X	X	X	X	X
	Anse Céron	RD 10 Habitation Céron	08015101	ACR	Surveillance ACER	X	X	X	X	X
	Capot	Pr AEP-Vivé-Capot	08115101	CAV	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Bezaudin	Pont RD24 Sainte-Marie	08213101	BER	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Gallon	Grand Gallon	08225101	GAG	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Oman	Dormante	08824101	OMD	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Rivières des Coulisses	Petit Bourg	08803101	COP	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Lézarde	PONT RN1	08521102	LEP	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Lézarde	Gué de la Désirade	08521101	LEG	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Lézarde	Pont Belle-Île	08504101	PLB	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Madame	Pont de Chaînes	08423101	MAC	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Roxelane	Saint Pierre (ancien pont)	08329101	ROS	Surveillance et opérationnel	X	X	X	X	X
	Grand Rivière	Trou Diabliesse	08101101	GRD	Référence	X	X	X	X	X
	Lorrain	Trace des Jésuites	08201101	LOR	Référence	X	X	X	X	X
	Gallon	Gommier	08221101	GAL	Référence	X	X	X	X	X
	Grande Rivière Pilote	Beauregard	08811101	PIL	Référence	X	X	X	X	X
	Case Navire (Duclos)	Tunnel Didier	08301101	CAN	Référence	X	X	X	X	X
	Carbet	Source Pierrot	08320101	CAR	Référence	X	X	X	X	X
	Vauclin	Pont D5 - La Broue	08703101	VAU	Référence	X	X	X	X	X
	Anse Céron	Amont prise canal Habitation Céron	08014101	CER	Référence	X	X	X	X	X

## Rapport final

	Masse d'eau	Nom station	Code SANDRE	Code Asconit	Camp.1	Camp.2	Camp.3	Camp.4	
					Nov.2009	Mai 2010	Oct./Nov.2010	Avril 2011	
Autres stations complémentaires	Conditions géochimiques particulières	Blanche	Pont de l'Alma	08511101	BLA	X	X	X	X
		Couleuvre		08015102	COC	X	X	X	X
		Grande Ravine	2 choux	08320102	CAD	X	X	X	X
		Paquemar	Paquemar	non codée	PAQ		X	X	X
		Absalon	Absalon	non codée	ABS		X	X	X
	Réseau pesticides	Deux courants	Pont Séraphin	08616101	DCS	X	X	X	X
		Basse Pointe	Amont Bourg Basse Pointe	08105101	BPB	X	X	X	X
		Rouge	Pont RN sur Rouge	08209101	ROR	X	X	X	X
		Capot	Pont McIntosh	08113101	CAM	X	X	X	X
		Simon	Fontane	08623101	SIF	X	X	X	X
		Pocquet	Pocquet RN1	08107101	POR	X	X	X	X
	STEP	Canal de Ducos	STEP Ducos 1	08548101	CDS	X	X	X	X
		Carbet	STEP Carbet	08322104	CAS	X	X	X	X
		Ravine	STEP Ste Luce 2	08828101	FHS	X	X	X	X
		Ravine	STEP Vauclin 2	08624102	GCS	X	X	X	X
		La Tracée	STEP Gros Morne 2	08223101	LTS	X	X	X	X
		Fond Lahaye	STEP Schoelcher 2	08303101	FLS	X	X	X	X
	Domestique diffus	Fond St Jacques	station utilisé dans plan Chlordecone	08215101	SJF	X	X	X	X
		Desroses	quartier Desroses	08613101	DES	X	X	X	X
	Pollution industrielle de type agro-alimentaire	Petite Pilote	Distillerie La Mauny/ 3 Rivières	08812103	PPM	X	X	X	X
		Roxelane	Distillerie Depaz	08329102	ROD		X		X
		La Tracée	Deynel (confiture+ jus de fruit)	08223102	LTD	X	X	X	X
		Deux Courants	Abattoir de volailles	08616102	DCA	X	X	X	X
François		Porcherie SOPODA Morne Rouge	08113102	FRP	X	X	X	X	
Pollution industrielle autre	Galion	Siapoc peinture	08225102	GAS	X	X	X	X	
	Capot	Centre stockage déchet Le Poteau	08115102	CAP	X	X	X	X	
	Longvilliers	Station TOTAL	08402102	LOT	X	X	X	X	

## Rapport final

## B) Liste des stations échantillonnées en Guadeloupe

	Masse d'eau	Nom station	code station ASCONIT	code masse d'eau	code station SANDRE	Camp1 Nov.2009	Camp2 Mai2010	Camp3 Nov.2010	Camp4 Mars2011	Camp5 Oct.2011	
Réseau DCE Surveillance	stations représentatives des masses d'eau, suivies dans le cadre du programme de contrôle de surveillance	Grande Rivière de Capesterre aval	pont RN1	CAA	FRIR16	07008015	X	X	X	X	X
		Rivière du Grand Carbet	pont RN1	GCP	FRIR18	07009010	X	X	X	X	X
		Rivière Bras David aval	INRA	BDI	FRIR02	07012120	X	X	X	X	X
		Rivière Bras David amont	maison de la Forêt	BDM	FRIR41	07012220	X	X	X	X	X
		Rivière du Galion	amont embouchure	GAP	FRIR23	07016001	X	X	X	X	X
		Rivière Grande Anse amont	Moscou	GAM	FRIR45	07017650	X	X	X	X	X
		Grande Rivière à Goyave aval 1	amont SIS Bonne-Mère	GGA	FRIR05	07021016	X	X	X	X	X
		Rivière Grande Plaine aval	amont pont RN2	GPA	FRIR32	07022008	X	X	X	X	X
		Rivière aux Herbes	Choisy	HEC	FRIR24	07023495	X	X	X	X	X
Rivière la Lézarde aval		Diane	LED	FRIR08	07026037	X	X	X	X	X	
Réseau DCE Référence		Rivière Moustique Petit-Bourg aval	pont RN1	MPP	FRIR10	07028005	X	X	X	X	X
		Rivière Moustique Petit-Bourg amont	Trianon	MPT	FRIR09	07028110	X	X	X	X	X
		Rivière des Pères	amont embouchure	PEE	FRIR25	07032002	X	X	X	X	X
		Grande Rivière de Vieux Habitants aval	amont embouchure	VHE	FRIR28	07044007	X	X	X	X	X
		Grande Rivière de Vieux Habitants amont	amont gué	VHG	FRIR27	07044250	X	X	X	X	X
		Rivière du Plessis	Vanibel	PLV	FRIR26	07046295	X	X	X	X	X
		Rivière Nogent aval	pont RN1	NOA	FRIR36	07047007	X	X	X	X	X
		Rivière du premier Bras aval	Severin	PBS	FRIR04	07048110	X	X	X	X	X
	Rivière Bras de sable aval	Chaude	BSC	FRIR03	07049040	X	X	X	X	X	
Rivière la Rose aval	Rose-Jardin d'eau	ROJ	FRIR12	07050012	X	X	X	X	X		
Stations complémentaires Réseau DCE Référence	conditions préservées	Grande Rivière de Capesterre amont	La Digue	CAP	FRIR40	07008185	X	X	X	X	X
		Rivière du Galion	Bassin bleu	GAB	FRIR01	07016600	X	X	X	X	X
		Grande Rivière à Goyave amont	amont prise d'eau	GGP	FRIR15	07021219	X	X	X	X	X
		Rivière Moustique Ste Rose aval	Débauchée	MSD	FRIR23	07045020	X	X	X	X	X



## Rapport final

		Masse d'eau	Nom station		code masse d'eau	code station SANDRE	Camp1 Nov.2009	Camp2 Mai2010	Camp3 Nov.2010	Camp4 Mars2011	Camp5 Oct.2011
Autres stations complémentaires	conditions particulières	Rivière Rouge	Matouba	ROM			X	X	X	X	X
		Rivière Sarcelle	pont D33	SAP				X			
	Réseau GREPP	Rivière Moustique Ste Rose aval	amont embouchure	MSA	FRIR40	07045008	X	X	X	X	X
		Rivière Grande Anse aval	amont pont D6	GAA	FRIR22	07017005	X	X	X	X	X
		Rivière aux Herbes	Marché	HEM	FRIR24	07023005	X	X	X	X	X
	Pollution domestique (STEP)	Rivière Baret	Bellevue	BAB			X	X	X	X	X
		Ravine Grand Boucan	La Boucan	GBB			X	X	X	X	X
		Ravine de Onze Heure	Petit-Bourg	OHP			X	X	X	X	X
		Petite Rivière à Goyave	pont D33	PGG	FRIR14		X	X	X	X	X
		Rivière du Pérou aval	Petit Pérou	PEP	FRIR17		X	X	X	X	X
		Rivière aux Herbes	les Yuccas	HEY	FRIR24		X	X	X	X	X
	Pollution diffuse	Rivière Petite Plaine	gué	PPG	FRIR26		X	X	X	X	X
		Rivière de Beaugendre	pont RN2	BEP	FRIR29		X	X	X	X	X
		Rivière du Plessis	pont RN2	PLP	FRIR33		X	X	X	X	X
	pollution industrielle de type agro-alimentaire	Ravine Saint-Nicolas	Montebello	SNM			X				
		Canal issu Caféière	Longueteau	CCL			X	à sec	X	à sec	X
		Rivière Moustique Petit-Bourg aval	Duquerry	MPD	FRIR10		X	X	X	X	X
		Rivière Sens	Bisdary	SEB			X	X	X	X	X
		Ravine bleue	aval élevage de Ouassous	RBA			X	X	X	X	X
		Rivière Petite Plaine amont	Confitererie	PPC	FRIR47			X	X	X	X
Ravine Carrière		Bonne-Mère	CAB		en carême uniquement		X		X	X	
pollution industrielle autre	Rivière Salée	Espérance	SAE			X	X	X	X	X	
	Ravine Grossou	ZA Lamentin	GRL			X	X	X	X	X	
	Petite Rivière à Goyave	pont RN1	PGP	FRIR10		X	X	X	X	X	
	Rivière Moustique Petit-Bourg aval	pont D33, station lavage	MPS	FRIR14			X	X	X	X	

## Rapport final

		Masse d'eau	Nom station		code masse d'eau	code station SANDRE	Camp1 Nov2009	Camp2 Mai2010	Camp3 Nov2010	Camp4 Mars2011	Camp5 Mars2011
stations supplémentaires	comparaison avec GBBg5	Ravine Grand Boucan	aval éloigné STEP	XBA							X
		Ravine Grand Boucan	amont STEP	XBM							X
	comparaison avec HEYg5	Rejet STEP Les Yuccas	rejet direct	XHY							X
	comparaison avec PPCg5	Rejet confiturerie	rejet direct	XPC							X
	pollution agro-alimentaire	Ravine aux avocats	Choisy	XRA							X
	comparaison avec PPGg5	Rejet step Goyave	rejet direct	XSG							X
	comparaison avec SAEg5	Rejet bassins CSDND	sortie tuyau	XSI							X
	pollution agro-alimentaire	affluent Grande Rivière de Vieux habitants	amont du gué	XVH							X
	comparaison avec PEPg5	Rejet STEP Pérou	rejet direct	XSP							X

### Code couleur associé aux types de stations échantillonnées

type de station	code couleur
station du RCS	
station du Réseau de Référence	
conditions particulières	
station du réseau "Pesticides" et "GREPP"	
pollution domestique	
pollution diffuse	
pollution agro-alimentaire	
pollution industrielle autre	



## Annexe 3 :

### Liste des 512 taxons inventoriés et de leur occurrence globale

(Classement par ordre alphabétique des codes-taxons)

1) Nom taxon méthode	Code taxon méthode	Somme Occurences	Valeur indicatrice IDA-2
aulacoseira_ambigua (grunow) simonsen	AAMB	4	Non Indic
achnanthes_brevipes_agardh_varintermedia (kutz) cleve	ABIN	9	Haline
achnanthidium_ft_kutzing	ACHD	7	Non Indic
achnanthidium_sp3	AD03	3	Non Indic
achnanthidium_sp4	AD04	3	Non Indic
achnanthidium_sp5	AD05	75	+
achnanthidium_sp7	AD07	67	+
achnanthidium_sp8	AD08	45	+
achnanthidium_sp9	AD09	12	+
achnanthidium_sp10	AD10	68	+
achnanthidium_sp11	AD11	26	+
achnanthidium_sp13	AD13	30	+
achnanthidium_sp14	AD14	28	+
achnanthidium_sp15	AD15	5	Non Indic
achnanthidium_sp16	AD16	6	+
achnanthidium_sp17	AD17	1	Non Indic
achnanthidium_sp18	AD18	1	Non Indic
achnanthidium_sp19	AD19	71	+
achnanthidium_catenatum (bily & marvan) lange bertalot	ADCT	206	+
achnanthidium_exiguum (grunow) czarnecki	ADEG	72	-
adlafia_suchlandtii (hustedt) moser lange bertalot & metzeltin	ADLS	1	Non Indic
achnanthidium_minutissimum (kutzing) czarnecki_group_1	ADM1	1	Non Indic
achnanthidium_minutissimum (kutzing) czarnecki	ADMI	208	+
adlafia_sp1	ADS1	11	+
achnanthidium_subhudsonis (hustedt) h_kobayasi	ADSH	414	+
achnanthes_inflata (kutzing) grunow	AINF	16	Non Indic
alveovallum_sp1	ALV1	1	Non Indic
amphora_sp1	AM01	4	Non Indic
amphora_sp3	AM03	3	Non Indic
amphora_sp4	AM04	1	Non Indic
amphora_sp5	AM05	7	Non Indic
amphora_sp6	AM06	3	Non Indic
amphora_sp9	AM09	2	Non Indic
amphora_sp10	AM10	1	Non Indic
adlafia_muscora (kociolek & reviers) moser lange bertalot & metzeltin	AMUS	277	+
amphora_pediculus (kutzing) grunow	APED	2	Non Indic
achnanthes_apestoides_hohn_var_uniseriata lange bertalot & monnier	ARPU	156	+
actinocyclus_sp	ATCS	1	Non Indic
aulacoseira_granulata (ehr) simonsen varangustissima (om)simonsen	AUGA	4	Non Indic
biremis_clarensis_wyverman_sabbe & ryyverman	BCLA	1	Non Indic
brachysira_neoexilis_forme_1	BNE1	13	+
brachysira_neoexilis_forme_2	BNE2	26	+
bacillaria_paxillifera(of_muller)_hendey_varpaxillifera	BPAX	8	Non Indic
brachysira_sp1	BR01	38	+
brachysira_sp2	BR02	3	Non Indic
caloneis_sp1	CA01	11	Non Indic
caloneis_sp2	CA02	2	Non Indic
caloneis_sp3	CA03	1	Non Indic
caloneis_sp4	CA04	1	Non Indic
caloneis_sp5	CA05	1	Non Indic
craticula_accomodiformis_lange bertalot	CACM	1	Non Indic
cyclotella_atomus_var_gracilis_genkal & kiss	CAGR	9	-
caloneis_cleve	CALO	6	Non Indic
cyclotella_atomus_hustedt	CATO	5	-
capartogramma_crucicula(grunex_cl)ross	CCRU	2	Non Indic
cyclostephanosfe_round	CCST	1	Non Indic
cyclostephanos_dubius (fricke)_round	CDUB	2	Non Indic
cocconeis_euglypta_ehrenberg	CEUG	408	+

## Annexe III (2)

2) Nom taxon méthode	Code taxon méthode	Somme Occurences	Valeur indicatrice IDA-2
<i>cyclotella_gamma_sovereign</i>	CGAM	4	Non Indic
<i>chamaepinnularia_sp1</i>	CHA1	3	Non Indic
<i>caloneis_hyalina_hustedt</i>	CHYA	3	Non Indic
<i>cyclostephanos_invisitatus(hohn &amp; hellerman)theriot_stoermer_&amp; hakansson</i>	CINV	1	Non Indic
<i>caloneis_lancettula (schulz)_lange_bertalot_&amp; witkowski</i>	CLCT	52	+
<i>cyclotella_meneghiniana_kutzing</i>	CMEN	9	Non Indic
<i>craticula_molestiformis (hustedt)_lange_bertalot</i>	CMLF	90	-
<i>caloneis_molaris (grunow)_krammer</i>	CMOL	5	Non Indic
<i>cocconeis_sp1</i>	C001	21	+
<i>cocconeis_sp2</i>	C002	21	+
<i>cocconeis_sp3</i>	C003	1	Non Indic
<i>cocconeis_sp4</i>	C004	1	Non Indic
<i>cocconeis_sp5</i>	C005	3	Non Indic
<i>cocconeis_sp6</i>	C006	2	Non Indic
<i>cocconeiscg_ehrenberg</i>	COCO	1	Non Indic
<i>cocconeis_pseudolineata (geitler)_lange_bertalot</i>	COPL	1	Non Indic
<i>cocconeis_placentula_vareuglypta (ehr)_grunow_abnormal_form</i>	CPEA	10	Non Indic
<i>cocconeis_placentula_var_placentula_sensu_jahn_&amp; al. (2009)</i>	CPL1	23	+
<i>cocconeis_placentula_ehrenberg_var_placentula</i>	CPLA	40	+
<i>cocconeis_placentula_ehrenberg_varlineata (ehr)van_heurck</i>	CPLI	36	+
<i>cyclotella_pseudostelligera_hustedt</i>	CPST	1	Non Indic
<i>craticula_sp1</i>	CRA1	18	Non Indic
<i>cymbella_tropica_krammer_var_tropica_krammer</i>	CTRO	58	+
<i>cyclotella_wuethrichiana_druart_&amp; straub</i>	CWUE	3	Non Indic
<i>cyclotella_sp1</i>	CYL1	1	Non Indic
<i>cyclotella_sp2</i>	CYL2	1	Non Indic
<i>cymbella_sp1</i>	CYM1	23	+
<i>diadesmis_arcuatoides_lange_bertalot</i>	DATO	3	Non Indic
<i>diadesmis_confervaceoides_lange_bertalot_&amp; rumrich</i>	DCFD	9	+
<i>diadesmis_confervacea_kutzing_var_confervacea</i>	DCOF	66	-
<i>diadesmis_contenta (grunow_ex_v_heurck)_mann</i>	DCOT	253	+
<i>diadesmis_confervacea_kutzing_frostrata (krasske)_metzeltin_&amp; lange_bertalot</i>	DCRS	31	+
<i>diadesmis_species</i>	DDSP	1	Non Indic
<i>abnormal_diatom_valve (unidentified)_or_sum_of_deformities_abundances</i>	DEFO	5	Non Indic
<i>denticula_sp1</i>	DEN1	329	+
<i>diadesmis_sp1</i>	DI01	30	Non Indic
<i>diadesmis_sp3</i>	DI03	3	Non Indic
<i>diadesmis_sp4</i>	DI04	13	Non Indic
<i>diadesmis_sp5</i>	DI05	82	+
<i>diadesmis_sp6</i>	DI06	7	Non Indic
<i>diadesmis_sp9</i>	DI09	1	Non Indic
<i>diploneis_sp1</i>	DP01	12	Non Indic
<i>diploneis_sp2</i>	DP02	1	Non Indic
<i>diploneis_sp5</i>	DP05	2	Non Indic
<i>diadesmis_paracontenta_lange_bertalot_&amp; werum_sspparacontenta</i>	DPCT	2	Non Indic
<i>discostella_pseudostelligera (hustedt)_houk_et_klee</i>	DPST	11	Non Indic
<i>denticula_sundayensis_archibald</i>	DSUN	6	Non Indic
<i>epithemia_adnata (kutzing)_brebisson</i>	EADN	17	+
<i>eunotia_exigua_forme_1</i>	EEX1	9	+
<i>eunotia_exigua_forme_2</i>	EEX2	4	Non Indic
<i>eunotia_exigua (brebisson_ex_kutzing)_rabenhorst</i>	EEXI	7	+
<i>eunotia_formica_ehrenberg</i>	EFOR	1	Non Indic
<i>eolimna_lepidula (manguin)_metzeltin_&amp; lange_bertalot</i>	ELEP	21	Non Indic
<i>encyonema_silesiacum (bleisch_in_rabh)_dg_mann</i>	ELSE	4	Non Indic
<i>eunotia_minor (kutzing)_grunow_in_van_heurck</i>	EMIN	2	Non Indic
<i>eunotia_monodon_ehrenberg_var_monodon</i>	EMON	3	Non Indic
<i>eunotia_muscicola_krasske_var_tridentula_norpel_et_lange_bertalot</i>	EMTR	3	Non Indic
<i>eunotia_mucophila (lange_bert&amp;norpel_schempp)_lange_bertalot</i>	EMUC	4	Non Indic
<i>eunotia_muscicola_krasske_var_muscicola</i>	EMUS	2	Non Indic
<i>encyonema_sp1</i>	EN01	2	Non Indic
<i>encyonema_sp2</i>	EN02	5	+
<i>encyonopsis_sp3</i>	EN03	1	Non Indic
<i>eunotia_naegeli_migula</i>	ENAE	1	Non Indic
<i>encyonema_ft_kutzing</i>	ENCY	1	Non Indic
<i>encyonema_minutum (hilse_in_rabh)_dg_mann</i>	ENMI	6	Non Indic
<i>eolimna_sp1</i>	E001	406	+
<i>eolimna_sp2</i>	E002	139	+
<i>eolimna_sp3</i>	E003	97	+
<i>eolimna_sp5</i>	E005	74	-
<i>eolimna_sp6</i>	E006	356	+
<i>eolimna_sp7</i>	E007	9	+

## Annexe III (3)

3) Nom taxon méthode	Code taxon méthode	Somme Occurrences	Valeur indicatrice IDA-2
eolimna_sp8	E008	15	+
eolimna_sp9	E009	3	Non Indic
eolimna_sp10	E010	6	+
eolimna_sp11	E011	6	+
eolimna_comperei_ector_coste_et_iserentant	FOCO	1	Non Indic
eolimna_minima(grunow)_lange_bertalot	EOMI	292	+
eolimna_minima(grunow)_lange_bertalot_abnormal_form	EOMT	3	Non Indic
eolimna_ruttneri_(hustedt)_lange_bertalot_&_monnier	EORU	293	+
eolimna_subminuscula_(manguin)_moser_lange_bertalot_&_metzeltin	ESBM	157	-
eolimna_subminuscula_(mang)_moser_lange_bertalot_&_metzeltin_abnormal_form	ESBT	1	Non Indic
encyonema_silesiacum_(bleisch_in_rabh)_dg_mann	ESLE	48	+
eunotia_subarcuatooides_alles_norpel_&_lange_bertalot	ESUB	14	+
encyonopsis_subminuta_krammer_&_reichardt	ESUM	5	Non Indic
entomoneis_sp	ETOS	1	Non Indic
eunotia_sp20	EU20	15	+
eunotia_sp21	EU21	4	Non Indic
eunotia_sp22	EU22	10	+
eunotia_sp23	EU23	10	+
eunotia_sp24	EU24	1	Non Indic
eunotia_sp25	EU25	5	Non Indic
eunotia_sp26	EU26	1	Non Indic
eunotia_sp27	EU27	1	Non Indic
eunotia_sp28	EU28	1	Non Indic
eunotia_sp29	EU29	1	Non Indic
eunotia_sp31	EU31	1	Non Indic
eunotia_sp32	EU32	1	Non Indic
eunotia_sp	EUNS	4	Non Indic
fallacia_sp1	FAL1	4	Non Indic
fragilaria_capucina_desmazieres_varcapitellata_(grunow)_lange_bertalot	FCCP	1	Non Indic
frustulia_crassinervia_(breb)_lange_bertalot_et_krammer	FGRS	22	+
fragilaria_fonticola_hustedt	FFON	126	+
fragilaria_goulardii_(brebisson)_lange_bertalot_abnormal_form	FGOT	4	Non Indic
fragilaria_goulardii_(brebisson)_lange_bertalot	FGOU	215	+
fallacia_insociabilis_(krasske)_dg_mann	FINS	23	-
frustulia_neomundana_lange_bertalot_&_rumrich	FNMD	2	Non Indic
frustulia_pumilio_lange_bertalot_&_rumrich	FPUM	6	Non Indic
fallacia_pygmaea_(kutzing)_stickle_&_mannsppygmaea_lange_bertalot	FPYG	1	Non Indic
fragilaria_sp1	FR01	18	-
fragilaria_sp2	FR02	10	-
fragilaria_sp3	FR03	2	Non Indic
fragilaria_sp4	FR04	3	Non Indic
fragilaria_sp5	FR05	1	Non Indic
fragilaria_sp6	FR06	1	Non Indic
fragilaria_sp8	FR08	2	Non Indic
frustulial_rabenhorst	FRUS	1	Non Indic
fistulifera_saprophila_(lange_bertalot_&_bonik)_lange_bertalot	FSAP	157	+
fallacia_tenera_forme_1	FTN1	15	-
fallacia_tenera_(hustedt)_mann_in_round	FTNR	134	+
frustulia_sp1	FU01	7	Non Indic
frustulia_vulgaris_(thwaites)_de_toni	FVUL	8	Non Indic
frustulia_weinholdii_hustedt	FWEI	7	Non Indic
gomphonema_affine_kutzing	GAFF	31	Non Indic
gomphonema_angustatum_(kutzing)_rabenhorst	GANG	15	Non Indic
gomphonema_augur_ehrenberg	GAUG	2	Non Indic
gomphonema_bourbonense_e_reichardt_et_lange_bertalot	GBOB	355	+
gomphonema_brasiliense_sppacificum_moser_lange_bertalot_&_metzeltin	GBPA	106	+
geissleria_decussis(ostrup)_lange_bertalot_&_metzeltin	GDEC	119	+
gomphonema_designatum_e_reichardt	GDES	454	+
geissleria_sp1	GE01	108	+
gomphonema_exilissimum(grun)_lange_bertalot_&_reichardt	GEXL	63	+
gomphonema_gracile_ehrenberg	GGRA	2	Non Indic
geissleria_ignota_(krasske)_lange_bertalot_&_metzeltin	GINO	2	Non Indic
gomphonema_lagenula_kutzing	GLGN	55	+
gyrosigma_nodiferum_(grunow)_reimer	GNOD	1	Non Indic
gomphonema_sp47	GO47	4	Non Indic
gomphonema_sp48	GO48	4	Non Indic
gomphonema_sp51	G051	212	+
gomphonema_sp52	G052	7	-
gomphonema_sp53	G053	91	+
gomphonema_sp54	G054	49	+
gomphonema_sp58	G058	32	-

## Annexe III (4)

4) Nom taxon méthode	Code taxon méthode	Somme Occurrences	Valeur indicatrice IDA-2
gomphonema_sp59	G059	23	-
gomphonema_sp60	G060	5	Non Indic
gomphonema_sp61	G061	19	+
gomphonema_sp62	G062	30	+
gomphonema_sp63	G063	15	+
gomphonema_sp64	G064	12	+
gomphonema_sp66	G066	27	-
gomphonema_sp67	G067	11	+
gomphonema_sp68	G068	9	+
gomphonema_sp69	G069	9	-
gomphonema_sp70	G070	45	-
gomphonema_sp71	G071	71	+
gomphonema_sp72	G072	37	+
gomphonema_sp73	G073	4	Non Indic
gomphonema_sp75	G075	4	-
gomphonema_sp76	G076	41	+
gomphonema_sp77	G077	6	+
gomphonema_sp78	G078	8	Non Indic
gomphonema_sp79	G079	6	Non Indic
gomphonema_sp80	G080	11	Non Indic
gomphonema_sp81	G081	20	+
gomphonema_sp82	G082	13	+
gomphonema_sp83	G083	8	Non Indic
gomphonema_sp84	G084	3	Non Indic
gomphonema_sp85	G085	26	+
gomphonema_sp86	G086	2	Non Indic
gomphonema_sp87	G087	1	Non Indic
gomphonema_sp89	G089	6	Non Indic
gomphonema_sp90	G090	2	Non Indic
gomphonema_sp91	G091	16	+
gomphonema_sp92	G092	3	Non Indic
gomphonema_sp93	G093	1	Non Indic
gomphonema_sp96	G096	9	Non Indic
gomphonema_sp97	G097	1	Non Indic
gomphonema_sp99	G099	1	Non Indic
gomphosphenia_oahuensis (hustedt) lange bertalot	GOAH	33	Haline
gomphonemacg_ehrenberg	GOMP	18	Non Indic
gomphonema_species	GOMS	2	Non Indic
gomphonema_parvulum (kutzing) kutzing var parvulum f parvulum	GPAR	298	+
gomphosphenia_sp1	GPP1	39	+
gomphosphenia_sp3	GPP3	2	Non Indic
gomphonema_pumilum (grunow) reichardt & lange bertalot	GPUM	1	Non Indic
gyrosigma_sciotense (sullivan et wormley) cleve	GSCI	36	+
gomphosphenia_tenerrima (hustedt) reichardt	GTNR	31	+
gyrosigma_acuminatum (kutzing) rabenhorst	GYAC	1	Non Indic
gyrosigma_reimeri sterrenburg	GYRE	39	+
hantzschia_amphioxys (chr) grunow in cleve et grunow 1880	HAMP	5	Non Indic
halamphora_montana (krasske) levkov	HLMO	68	+
halamphora_subturgida (hustedt) levkov	HSTU	206	-
inconnue_n1	IN01	9	Non Indic
inconnue_n3	IN03	29	Non Indic
inconnue_n5	IN05	7	Non Indic
inconnue_n6	IN06	3	Non Indic
inconnue_n9	IN09	1	Non Indic
inconnue_n11	IN11	3	Non Indic
inconnue_n13	IN13	1	Non Indic
inconnue_n25	IN25	1	Non Indic
kobayasiella_sp1	KOB1	1	Non Indic
luticola_acidoclinata lange bertalot	LACD	1	Non Indic
luticola_aequatorialis (heiden) lange bertalot et ohtsuka	LAEQ	22	Non Indic
luticola_goeppertiana (bleisch in rabenhorst) dg mann	LG0E	1	Non Indic
lemnocola_hungarica (grunow) round & basson	LHUN	2	Non Indic
luticola_mutica (kutzing) dg mann	LMUT	32	Haline
luticola_saxophila (bock ex hustedt) dg mann	LSAX	4	Non Indic
luticola_sp1	LU01	9	Haline
luticola_sp2	LU02	5	Non Indic
luticola_sp3	LU03	1	Non Indic
luticola_sp4	LU04	19	+
luticola_sp6	LU06	1	Non Indic
luticola_sp8	LU08	1	Non Indic
luticola_sp9	LU09	2	Non Indic

## Annexe III (5)

5) Nom taxon méthode	Code taxon méthode	Somme Occurrences	Valeur indicatrice IDA-2
luticola_sp10	LU10	1	Non Indic
luticola_sp11	LU11	1	Non Indic
luticola_sp12	LU12	3	Non Indic
luticola_sp13	LU13	1	Non Indic
luticola_sp14	LU14	2	Non Indic
luticola_sp15	LU15	1	Non Indic
luticoladg_mann	LUTI	1	Non Indic
mayamaea_sp1	MA01	5	Non Indic
mayamaea_sp2	MA02	2	Non Indic
mayamaea_sp3	MA03	7	Non Indic
mayamaea_sp6	MA06	1	Non Indic
mayamaea_sp7	MA07	6	Non Indic
mayamaea_sp8	MA08	2	Non Indic
mayamaea_atomus_var_alcimonica_(reichardt)_reichardt	MAAL	7	Non Indic
melosira_nummuloides_(dillwyn)_ca_agardh	MNUM	1	Non Indic
mayamaea_permitis_(Hustedt)_Bruder & Medlin	MPMI	227	+
navicula_sp30	NA30	1	Non Indic
navicula_sp32	NA32	4	Non Indic
navicula_sp33	NA33	3	Non Indic
navicula_sp37	NA37	1	Non Indic
navicula_sp38	NA38	1	Non Indic
navicula_sp39	NA39	1	Non Indic
navicula_sp40	NA40	3	Non Indic
navicula_sp41	NA41	2	Non Indic
navicula_sp42	NA42	1	Non Indic
navicula_sp44	NA44	1	Non Indic
navicula_sp45	NA45	2	Non Indic
navicula_sp46	NA46	6	Non Indic
navicula_sp49	NA49	3	Non Indic
navicula_sp54	NA54	40	-
navicula_sp55	NA55	1	Non Indic
navicula_sp56	NA56	2	Non Indic
navicula_sp61	NA61	2	Non Indic
navicula_sp62	NA62	11	Non Indic
navicula_sp63	NA63	1	Non Indic
navicula_sp66	NA66	10	Non Indic
navicula_sp67	NA67	1	Non Indic
navicula_sp68	NA68	1	Non Indic
nitzschia_acidoclinata_lange_bertalot	NACD	80	+
nitzschia_amplectens_hustedt	NAMC	5	Haline
nitzschia_amphibia_grunow_famphibia	NAMP	224	-
navicula_antonii_lange_bertalot	NANT	12	Non Indic
navicula_arvensis_forme_1	NAR1	18	-
navicula_arvensis_hustedt	NARV	144	-
nitzschia_amphibia_grunow_abnormal_form	NATG	1	Non Indic
navicula_arctotenelloides_lange_bertalot_et_metzeltin	NATT	2	Non Indic
nitzschia_aurariae_cholnoky	NAUR	9	Haline
naviculajbm_bory_de_st_vincent	NAVI	6	Non Indic
nitzschia_bergii_cleve_euler	NBRG	1	Non Indic
nitzschia_clausii_hantzsch	NCLA	118	+
nitzschia_capitellata_hustedt_in_aschmidt_&_al	NCPL	3	Non Indic
navicula_cryptocephala_kutzing	NCRY	3	Non Indic
navicula_cryptotenella_lange_bertalot	NCTE	24	+
navicula_cryptotenelloides_lange_bertalot	NCTO	5	Non Indic
navicula_cruvierensis_lange_bertalot_&_garcia_rodrigue	NCXM	362	+
navicula(dicta)_seminulum_forme_2	ND02	138	+
navicula(dicta)_seminulum_forme_3	ND03	112	-
naviculadicta_cosmopolitana_lange_bertalot	NDCM	9	-
nitzschia_denticula_grunow	NDEN	8	+
navicula_difficillima_hustedt	NDIF	34	+
nitzschia_dissipata(kutzing)grunow_var_dissipata	NDIS	9	Non Indic
nitzschia_dissipata(kutzing)grunow_fornawensis_foged	NDMA	45	+
naviculadicta_pseudoventralis_(hustedt)_lange_bertalot	NDPV	6	Non Indic
naviculadicta_sassiana_metzeltin_&_lange_bertalot	NDSA	4	Non Indic
navicula_densilineolata_(lange_bertalot)_lange_bertalot	NDSL	1	Non Indic
neidium_sp1	NEI1	5	Non Indic
neidium_sp2	NEI2	1	Non Indic
navicula_erifuga_forme_1	NER1	9	Haline
navicula_erifuga_forme_2	NER2	91	+
navicula_erifuga_forme_3	NER3	18	-
navicula_erifuga_lange_bertalot	NERI	125	-



## Annexe III (6)

6) Nom taxon méthode	Code taxon méthode	Somme Occurences	Valeur indicatrice IDA-2
navicula_escambia (patrick) metzeltin & lange bertalot	NESC	21	+
nitzschia_fasciculata (grunow)grunow_in_vheurck	NFAS	9	Non Indic
nitzschia_filiformis_varconferta (richter) lange bertalot	NFIC	86	+
nitzschia_filiformis (wmsmith) van_heurck_var_filiformis	NFIL	17	+
navicula_germainii wallace	NGER	1	Non Indic
navicula_gregaria_donkin	NGRE	34	+
navicula_humboldtiana_lange_bertalot & rumrich	NHUB	59	-
nitzschia_sp40	NI40	5	Non Indic
nitzschia_sp41	NI41	249	+
nitzschia_sp42	NI42	1	Non Indic
nitzschia_sp43	NI43	7	Non Indic
nitzschia_sp44	NI44	31	-
nitzschia_sp45	NI45	32	+
nitzschia_sp47	NI47	36	+
nitzschia_sp49	NI49	15	+
nitzschia_sp50	NI50	7	-
nitzschia_sp51	NI51	1	Non Indic
nitzschia_sp54	NI54	1	Non Indic
nitzschia_sp56	NI56	1	Non Indic
nitzschia_sp58	NI58	2	Non Indic
nitzschia_sp60	NI60	3	Non Indic
nitzschia_sp63	NI63	1	Non Indic
nitzschia_sp64	NI64	37	-
nitzschia_sp68	NI68	1	Non Indic
nitzschia_sp69	NI69	1	Non Indic
nitzschia_sp71	NI71	3	Non Indic
nitzschia_sp74	NI74	6	Non Indic
nitzschia_sp75	NI75	1	Non Indic
nitzschia_sp76	NI76	13	+
nitzschia_sp77	NI77	3	Non Indic
nitzschia_sp78	NI78	11	-
nitzschia_sp79	NI79	2	Non Indic
nitzschia_bulnheimiana (rabenhorst) hlsmith	NIBU	0	Non Indic
nitzschia_frustulum_forme_2	NIF2	28	-
nitzschia_frustulum_forme_3	NIF3	2	Non Indic
nitzschia_frustulum (kutzing)grunow_varfrustulum	NIFR	269	+
nitzschia_ingenua_hustedt	NIGE	21	Non Indic
nitzschia_gracilis_hantzsch	NIGR	3	Non Indic
nitzschia_inconspicua_grunow	NINC	382	+
navicula_incarum_lange_bertalot & rumrich	NINK	269	+
nitzschia_intermedia_hantzsch_ex_cleve & grunow	NINT	9	Non Indic
nitzschia_perminuta(grunow)_mperagallo	NIPM	1	Non Indic
nitzschia_pusilla(kutzing)grunow	NIPU	4	Non Indic
nitzschia_serrata_manguin	NISE	4	Non Indic
nitzschiaah_hassall	NITZ	10	Non Indic
navicula_jacobii_manguin	NJAC	36	-
nitzschia_kurzii_rabenhorst	NKUZ	10	-
navicula_longicephala_hustedt_varlongicephala	NLGC	14	Non Indic
nitzschia_linearis (agardh) wmsmith_varlinearis	NLIN	16	Non Indic
nitzschia_lorenziana_grunow_in_cleve_et_moller	NLOR	12	Non Indic
naviculadicta_nanogomphonema_lange_bertalot & rumrich	NNGO	308	+
navicula_notha_wallace	NNOT	60	+
nitzschia_palea_forme_2	NP02	108	-
nitzschia_palea_forme_3	NP03	31	-
nitzschia_palea_forme_5	NP05	21	+
nitzschia_palea_forme_6	NP06	60	+
nitzschia_palea (kutzing) wsmith	NPAL	204	-
navicula_phyllepta_kutzing	NPHY	2	Non Indic
navicula_quasidisjuncta_lange_bertalot & rumrich	NQDJ	91	+
navicula_recens (lange_bertalot)_lange_bertalot	NRCS	1	Non Indic
navicula_rostellata_kutzing	NROS	90	-
navicula_rivulorum_lange_bertalot & rumrich	NRVL	9	Non Indic
navicula(dicta)_seminulum(grunow)_lange_bertalot_abnormal_fo	NSDF	1	Non Indic
navicula_supergregaria_lange_bertalot & rumrich	NSGG	40	-
navicula_simulata_manguin	NSIA	330	+
nitzschia_sigma(kutzing)wmsmith	NSIG	2	Non Indic
navicula_salinicola_hustedt	NSLC	87	+
nitzschia_sociabilis_hustedt	NSOC	2	Non Indic
nitzschia_semirobusta_lange_bertalot_morphotype_semirobusta	NSRB	4	Non Indic
navicula_subrhynchocephala_hustedt	NSRH	9	Non Indic
nitzschia_subacicularis_hustedt_in_aschmidt_et_al	NSUA	4	Non Indic

## Annexe III (7)

7) Nom taxon méthode	Code taxon méthode	Somme Occurences	Valeur indicatrice IDA-2
nitzschia terrestris (petersen) hustedt	NTER	41	Non Indic
navicula tridentula krasske	NTRI	1	Non Indic
nitzschia tubicola grunow	NTUB	1	Non Indic
nitzschia umbonata(ehrenberg)lange_bertalot	NUMB	8	Non Indic
nupela_sp1	NUP1	230	+
nupela_sp2	NUP2	19	+
nupela_sp4	NUP4	2	Non Indic
nupela_rumrichorum_lange_bertalot	NURU	52	+
navicula(dicta)_seminulum (grunow)_lange_bertalot	NVDS	1	Non Indic
nitzschia vermicularis(kutzing)hantzsch	NVER	1	Non Indic
navicula vilaplani(lange_bert_&_sabater)_lange_bertalot_&_sabater	NVIP	14	Non Indic
navicula vitabunda hustedt	NVTB	2	Non Indic
nitzschia clausii_hantzsch_abnormal_form	NZCT	1	Non Indic
nitzschia_lange_bertalotii_coste_&_ricard	NZLB	14	Non Indic
orthoseira_sp1	ORT1	1	Non Indic
pinnularia_acrospheria_w_smith_var_acrospheria	PACR	6	Non Indic
pinnularia_sp30	PI30	4	Non Indic
pinnularia_sp31	PI31	9	-
pinnularia_sp32	PI32	5	Non Indic
pinnularia_sp33	PI33	1	Non Indic
pinnularia_sp34	PI34	4	Non Indic
pinnularia_sp38	PI38	7	-
pinnularia_sp39	PI39	2	Non Indic
pinnularia_sp40	PI40	1	Non Indic
pinnularia_sp41	PI41	1	Non Indic
pinnularia_sp46	PI46	1	Non Indic
pinnularia_sp47	PI47	2	Non Indic
pinnularia_sp50	PI50	1	Non Indic
pinnularia_sp51	PI51	1	Non Indic
pinnulariacg_ehrenberg	PINU	7	Non Indic
pinnularia_joculata (manguin)_krammer	PJOC	1	Non Indic
placoneis_sp2	PLA2	1	Non Indic
placoneis_sp3	PLA3	4	Non Indic
placoneis_sp5	PLA5	1	Non Indic
placoneisc_mereschkowsky	PLAC	2	Non Indic
placoneis_sp	PLAS	1	Non Indic
planothidium_biporum (hohn_&_hellerman)_lange_bertalot	PLBI	24	Non Indic
pleurosira_laevis (ehrenberg)_compere_flaevis_ehrenberg	PLEV	9	-
planothidium_frequentissimum_forme_1	PLF1	1	Non Indic
planothidium_frequentissimum (lange_bertalot)lange_bertalot	PLFR	69	+
pinnularia_parvulissima_krammer	PPVS	2	Non Indic
planothidium_robustius (hustedt)_lange_bertalot_abnormal_form	PRBT	4	Non Indic
planothidium_robustius (hustedt)_lange_bertalot	PRBU	343	+
planothidium_rostratum (oestrup)_lange_bertalot	PRST	7	Non Indic
placoneis_symmetrica (hustedt)_lange_bertalot	PSYM	2	Non Indic
pinnularia_tabellaria_ehrenberg	PTAB	1	Non Indic
planothidium_lanceolatum(breisson_ex_kutzing)_lange_bertalot	PTLA	1	Non Indic
platessa_sp1	PTS1	26	Non Indic
platessa_sp2	PTS2	4	Non Indic
platessa_sp3	PTS3	3	Non Indic
rhoicosphenia_abbreviata (cagardh)_lange_bertalot	RABB	1	Non Indic
rhopalodia_gibberula (ehrenberg)_omuller	RGBL	12	Non Indic
rhopalodia_gibba (ehr)_omuller_vargibba	RGIB	3	Non Indic
rhopalodia_sp1	RH01	26	+
rhopalodia_sp2	RH02	5	Non Indic
rhopalodia_sp3	RH03	6	+
rhopalodia_sp4	RH04	6	Non Indic
rhopalodia_species	RHOS	1	Non Indic
rhopalodia_operculata (agardh)_hakansson	ROPE	8	Non Indic
reimeria_sinuata (gregory)_kocielek_&_stoermer	RSIN	1	Non Indic
reimeria_uniseriata_sala_guerrero_&_ferrario	RUNI	6	Non Indic
simonsenia_delognei_lange_bertalot_ssp_rossii	SDRO	56	+
sellaphora_sp1	SE01	10	-
sellaphora_sp2	SE02	45	+
stephanodiscus_hantzschii_grunow_in_cl_&_grun_1880	SHAN	2	Non Indic
simonsenia_delognei_lange_bertalot	SIDE	3	Non Indic
skeletonema_sp1	SKS1	1	Non Indic
seminavis_strigosa (hustedt)_danieledis_&_economou_amilli	SMST	81	-
stephanodiscus_parvus_stoermer_et_hakansson	SPAV	1	Non Indic
sellaphora_pupula (kutzing)_mereschkowsky	SPUP	23	Non Indic
sellaphora_seminulum (grunow)_dg_mann	SSEM	329	+

## Annexe III (8)

8) Nom taxon méthode	Code taxon méthode	Somme Occurences	Valeur indicatrice IDA-2
surirella_stalagma_hohn_&_hellerman	SSTG	10	Non Indic
stauroneis_sp1	STA1	1	Non Indic
stauroneis_thermicola_(petersen)_lund	STHE	26	Non Indic
stauroneis_pseudosuboptusoides_germain	STPO	5	Non Indic
stauroneis_prominula_(grun)_hustedt	STPR	2	Non Indic
stauroneis_tenera_hustedt	STTE	4	Non Indic
surirella_sp1	SU01	1	Non Indic
surirella_sp2	SU02	1	Non Indic
surirella_species	SURS	2	Non Indic
tryblionella_apiculata_gregory	TAPI	13	+
thalassiosira_sp1	TAS1	4	Non Indic
thalassiosira_sp2	TAS2	5	Haline
thalassiosira_sp3	TAS3	4	Non Indic
tryblionella_calida_(grunow_in_cl_&_grun)_dg_mann	TCAL	14	Non Indic
tryblionella_debilis_arnott_ex_o_meara	TDEB	137	+
tabularia_fasciculata_(agardh)williams_et_round	TFAS	1	Non Indic
tryblionella_hungarica_(grunow)_dg_mann	THUN	1	Non Indic
tryblionella_levidensis_wm_smith	TLEV	12	-
terpsinoe_musica_ehr	TMUS	3	Non Indic
tryblionella_sp2	TR02	2	Non Indic
tryblionella_sp3	TR03	1	Non Indic
tryblionella_sp5	TR05	6	Non Indic
tryblionella_balatonis_(grunow_in_cl_&_grun)_dgmman	TRBA	5	-
thalassiosira_salvadoriana_hustedt	TSAL	8	Non Indic
thalassiosira_weissflogii_(grunow)_fryxell_&_hasle	TWEI	5	Non Indic
ulnaria_lanceolata_(kutz)_compère	ULAN	40	+
ulnaria_pseudogailonii_(kobayasi_&_idei)_idei	UPSG	68	+
diatomee_non_identifiee_vue_connective	VUCO	4	Non Indic

## Annexe 4 : Informations « Taxons de l'IDA-2 »

1) Taxons d'alerte <sup>2</sup>

Nom taxon méthode	Nb occurrences	Code taxon	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Ab. Cum.	Ab. Cum. Rel.	Classt Ab. Cum.	Type taxon	Valence IDA-2
achnanthidium_exiguum_(grunow)_czarnecki	72	ADEG	0,92	0,04	0,03	0,01	0,00	2233,48	3,74	53	2 -	3 -
cyclotella_atomus_var_gracilis_genkal_&_kiss	9	CAGR	0,92	0,08	0,00	0,00	0,00	325,55	0,55	119	2 -	3 -
cyclotella_atomus_hustedt	5	CATO	0,98	0,02	0,00	0,00	0,00	93,41	0,16	175	2 -	3 -
diadesmis_confervacea_kutzing_var_confervacea	66	DCOF	0,85	0,07	0,06	0,02	0,00	2773,82	4,64	45	2 -	3 -
eolimna_sp5	74	E005	0,61	0,21	0,14	0,01	0,03	4767,55	7,98	29	2 -	3 -
fragilaria_sp2	10	FR02	0,83	0,10	0,07	0,00	0,00	242,32	0,41	140	2 -	3 -
fallacia_tenera_forme_1	15	FTN1	0,80	0,16	0,04	0,00	0,00	612,29	1,03	100	2 -	3 -
gomphonema_sp52	7	G052	0,83	0,04	0,10	0,03	0,00	148,40	0,25	160	2 -	3 -
gomphonema_sp58	32	G058	0,84	0,15	0,01	0,00	0,00	1019,45	1,71	76	2 -	3 -
gomphonema_sp59	23	G059	0,77	0,09	0,14	0,00	0,00	280,89	0,47	127	2 -	3 -
gomphonema_sp66	27	G066	0,98	0,02	0,00	0,00	0,00	1164,04	1,95	69	2 -	3 -
gomphonema_sp70	45	G070	0,84	0,16	0,00	0,00	0,00	4738,68	7,94	30	2 -	3 -
navicula_arvensis_forme_1	18	NAR1	0,83	0,05	0,09	0,04	0,00	124,17	0,21	167	2 -	3 -
navicula_arvensis_hustedt	144	NARV	0,70	0,15	0,09	0,06	0,01	2185,18	3,66	54	2 -	3 -
naviculadicta_cosmopolitana_lange_bertalot	9	NDCM	0,91	0,09	0,00	0,00	0,00	102,27	0,17	172	2 -	3 -
nitzschia_sp44	31	NI44	0,95	0,03	0,02	0,00	0,00	1308,83	2,19	66	2 -	3 -
nitzschia_sp50	7	NI50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	368,38	0,62	115	2 -	3 -
navicula_jacobii_manguin	36	NJAC	0,66	0,19	0,08	0,05	0,02	200,71	0,34	146	2 -	3 -
nitzschia_palea_(kutzing)_wsmith	204	NPAL	0,72	0,11	0,13	0,04	0,00	6788,67	11,37	21	2 -	3 -
pinnularia_sp31	9	PI31	0,87	0,11	0,00	0,00	0,01	87,81	0,15	177	2 -	3 -
pinnularia_sp38	7	PI38	0,97	0,03	0,00	0,00	0,00	57,61	0,10	184	2 -	3 -
sellaphora_sp1	10	SE01	0,89	0,09	0,00	0,01	0,00	86,41	0,14	178	2 -	3 -
<b>Soit :</b>			<b>22 Taxons <sup>2</sup></b>									

## 2) Taxons d'alerte -

Nom taxon méthode	Nb occurrences	Code taxon	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Ab. Cum.	Ab. Cum. Rel.	Classt Ab. Cum.	Type taxon	Valence IDA-2
craticula_molestiformis_(hustedt)_lange_bertalot	90	CMLF	0,40	0,20	0,29	0,10	0,01	651,75	1,09	98	-	1 -
eolimna_subminuscula_(manguin)_moser_lange_bertalot_&_metzeltin	157	ESBM	0,60	0,34	0,06	0,00	0,00	5705,94	9,55	27	-	1 -
fallacia_insociabilis_(krasske)_dg_mann	23	FINS	0,39	0,42	0,13	0,05	0,01	113,59	0,19	169	-	1 -
fragilaria_sp1	18	FR01	0,65	0,11	0,24	0,00	0,00	275,50	0,46	132	-	1 -
gomphonema_sp69	9	G069	0,39	0,21	0,40	0,00	0,00	198,99	0,33	147	-	1 -
gomphonema_sp75	4	G075	0,46	0,07	0,46	0,00	0,00	183,47	0,31	151	-	1 -
halamphora_subturgida_(hustedt)_levkov	206	HSTU	0,10	0,50	0,28	0,12	0,01	3097,24	5,19	41	-	1 -
navicula_sp54	40	NA54	0,57	0,24	0,16	0,02	0,01	337,41	0,57	117	-	1 -
nitzschia_amphibia_grunow_famphibia	224	NAMP	0,09	0,56	0,25	0,09	0,00	6164,14	10,32	24	-	1 -
navicula(dicta)_seminulum_forme_3	112	ND03	0,27	0,44	0,13	0,15	0,00	1477,80	2,47	63	-	1 -
navicula_erifuga_forme_3	18	NER3	0,04	0,72	0,18	0,05	0,00	149,63	0,25	159	-	1 -
navicula_erifuga_lange_bertalot	125	NERI	0,52	0,31	0,12	0,05	0,00	943,39	1,58	80	-	1 -
navicula_humboldtiana_lange_bertalot_&_rumrich	59	NHUB	0,40	0,27	0,19	0,12	0,01	294,40	0,49	123	-	1 -
nitzschia_sp64	37	NI64	0,02	0,92	0,03	0,03	0,00	930,85	1,56	81	-	1 -
nitzschia_sp78	11	NI78	0,18	0,76	0,02	0,02	0,02	173,44	0,29	152	-	1 -
nitzschia_frustulum_forme_2	28	NIF2	0,25	0,54	0,16	0,04	0,01	653,59	1,09	97	-	1 -
nitzschia_kurzii_rabenhorst	10	NKUZ	0,25	0,75	0,00	0,00	0,00	209,85	0,35	145	-	1 -
nitzschia_palea_forme_2	108	NP02	0,27	0,42	0,25	0,07	0,00	3117,97	5,22	40	-	1 -
nitzschia_palea_forme_3	31	NP03	0,37	0,46	0,16	0,01	0,00	566,10	0,95	104	-	1 -
navicula_rostellata_kutzing	90	NROS	0,15	0,65	0,15	0,05	0,00	585,79	0,98	101	-	1 -
navicula_supergregaria_lange_bertalot_&_rumrich	40	NSGG	0,20	0,77	0,02	0,00	0,00	572,47	0,96	103	-	1 -
pleurosira_laevis_(ehrenberg)_compere_flaevis_ehrenberg	9	PLEV	0,00	0,93	0,07	0,00	0,00	112,82	0,19	170	-	1 -
seminavis_strigosa_(hustedt)_danieledis_&_economou_amilli	81	SMST	0,42	0,50	0,08	0,00	0,00	2177,03	3,65	55	-	1 -
tryblionella_levidensis_wm_smith	12	TLEV	0,18	0,70	0,12	0,00	0,00	97,30	0,16	173	-	1 -
tryblionella_balatonis_(grunow_in_cl_&_grun)_dgmann	5	TRBA	0,58	0,42	0,00	0,00	0,00	134,76	0,23	165	-	1 -
<b>Soit :</b>			<b>25 Taxons -</b>									

## Rapport final

## Annexe 4 (2)

## 3) Taxons +

Nom taxon méthode	Nb occurrences	Code taxon	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Ab. Cum.	Ab. Rel.	Classt Ab. Cum.	Type taxon	Valence IDA-2
achnanthidium_sp5	75	AD05	0,00	0,01	0,04	0,19	0,76	3744,82	6,27	35	+	1 +
achnanthidium_sp7	67	AD07	0,01	0,08	0,31	0,49	0,10	2512,97	4,21	48	+	1 +
achnanthidium_sp8	45	AD08	0,00	0,10	0,14	0,75	0,02	1673,21	2,80	60	+	1 +
achnanthidium_sp9	12	AD09	0,00	0,05	0,04	0,32	0,60	275,53	0,46	131	+	1 +
achnanthidium_sp10	68	AD10	0,00	0,19	0,19	0,54	0,09	2779,44	4,65	44	+	1 +
achnanthidium_sp11	26	AD11	0,00	0,00	0,11	0,36	0,52	1045,74	1,75	74	+	1 +
achnanthidium_sp13	30	AD13	0,00	0,00	0,01	0,78	0,21	2087,63	3,50	56	+	1 +
achnanthidium_sp14	28	AD14	0,00	0,22	0,50	0,09	0,19	646,54	1,08	99	+	1 +
achnanthidium_sp16	6	AD16	0,00	0,00	0,10	0,01	0,89	89,25	0,15	176	+	1 +
achnanthidium_sp19	71	AD19	0,00	0,00	0,23	0,11	0,66	7375,91	12,35	17	+	1 +
achnanthidium_catenatum_(bily_&_marvan)_lange_bertalot	206	ADCT	0,00	0,01	0,33	0,30	0,36	14412,77	24,13	9	+	1 +
achnanthidium_minutissimum_(kutzing)_czarnecki	208	ADMI	0,00	0,01	0,07	0,18	0,74	10134,11	16,97	12	+	1 +
adlafia_sp1	11	ADS1	0,00	0,01	0,00	0,23	0,76	84,19	0,14	179	+	1 +
achnanthidium_subhudsonis_(hustedt)_h_kobayasi	414	ADSH	0,01	0,09	0,28	0,45	0,18	36806,54	61,63	4	+	1 +
adlafia_muscora_(kocielek_&_reviers)_moser_lange_bertalot_&_metzeltin	277	AMUS	0,00	0,03	0,38	0,40	0,19	8088,57	13,54	14	+	1 +
achnanthes_rupestoides_hohn_var_uniseriata_lange_bertalot_&_monnier	156	ARPU	0,00	0,03	0,45	0,26	0,25	3401,66	5,70	38	+	1 +
brachysira_neoexilis_forme_1	13	BNE1	0,00	0,00	0,07	0,00	0,93	1046,21	1,75	73	+	1 +
brachysira_neoexilis_forme_2	26	BNE2	0,00	0,03	0,14	0,44	0,39	1148,15	1,92	70	+	1 +
brachysira_sp1	38	BR01	0,02	0,00	0,03	0,01	0,94	967,88	1,62	78	+	1 +
cocconeis_euglypta_ehrenberg	408	CEUG	0,01	0,06	0,33	0,38	0,22	37629,71	63,01	3	+	1 +
caloneis_lancetula_(schulz)_lange_bertalot_&_witkowski	52	CLCT	0,00	0,02	0,07	0,72	0,20	347,61	0,58	116	+	1 +
cocconeis_sp1	21	C001	0,00	0,02	0,06	0,62	0,29	412,44	0,69	113	+	1 +
cocconeis_sp2	21	C002	0,00	0,09	0,17	0,48	0,26	118,05	0,20	168	+	1 +
cocconeis_placentula_var_placentula_sensu_jahn_&_al_(2009)	23	CPL1	0,00	0,21	0,29	0,08	0,41	173,38	0,29	153	+	1 +
cocconeis_placentula_ehrenberg_var_placentula	40	CPLA	0,00	0,15	0,65	0,18	0,02	236,26	0,40	141	+	1 +
cocconeis_placentula_ehrenberg_varlineata_(ehr)van_heurck	36	CPLI	0,00	0,00	0,13	0,21	0,65	276,16	0,46	129	+	1 +
cymbella_tropica_krammer_var_tropica_krammer	58	CTRO	0,00	0,00	0,44	0,37	0,19	761,95	1,28	89	+	1 +
cymbella_sp1	23	CYM1	0,01	0,26	0,32	0,41	0,01	172,49	0,29	154	+	1 +
diademsis_confervaceoides_lange_bertalot_&_rumrich	9	DCFD	0,64	0,03	0,00	0,33	0,00	264,34	0,44	135	+	1 +
diademsis_contenta_(grunow_ex_v_heurck)_mann	253	DCOT	0,04	0,07	0,31	0,40	0,18	3452,12	5,78	37	+	1 +
diademsis_confervacea_kutzing_frostrata_(krasske)_metzeltin_&_lange_bertalot	31	DCRS	0,16	0,09	0,70	0,05	0,00	466,10	0,78	108	+	1 +
denticula_sp1	329	DEN1	0,00	0,02	0,16	0,49	0,33	13897,42	23,27	10	+	1 +
diademsis_sp5	82	DI05	0,25	0,15	0,13	0,34	0,13	810,87	1,36	84	+	1 +
epithemia_adnata_(kutzing)_brebisson	17	EADN	0,00	0,00	0,10	0,40	0,50	375,04	0,63	114	+	1 +
eunotia_exigua_forme_1	9	EEX1	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	3886,01	6,51	33	+	1 +
eunotia_exigua_(brebisson_ex_kutzing)_rabenhorst	7	EEXI	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	152,77	0,26	157	+	1 +
encyonema_sp2	5	EN02	0,00	0,00	0,85	0,07	0,08	43,97	0,07	186	+	1 +
eolimna_sp1	406	E001	0,06	0,14	0,42	0,26	0,12	23139,47	38,75	6	+	1 +
eolimna_sp2	139	E002	0,07	0,42	0,30	0,15	0,06	3049,41	5,11	42	+	1 +
eolimna_sp3	97	E003	0,04	0,46	0,23	0,24	0,02	2393,87	4,01	50	+	1 +
eolimna_sp6	356	E006	0,00	0,02	0,31	0,39	0,27	28287,79	47,37	5	+	1 +
eolimna_sp7	9	E007	0,00	0,04	0,53	0,40	0,02	147,99	0,25	161	+	1 +
eolimna_sp8	15	E008	0,05	0,00	0,09	0,43	0,42	250,59	0,42	138	+	1 +
eolimna_sp10	6	E010	0,00	0,00	0,00	0,41	0,59	258,08	0,43	136	+	1 +
eolimna_sp11	6	E011	0,00	0,00	0,00	0,98	0,02	275,11	0,46	133	+	1 +
eolimna_minima_(grunow)_lange_bertalot	292	E0MI	0,11	0,22	0,27	0,35	0,05	6620,08	11,09	22	+	1 +
eolimna_ruttneri_(hustedt)_lange_bertalot_&_monnier	293	E0RU	0,00	0,26	0,23	0,42	0,08	5187,75	8,69	28	+	1 +
encyonema_silesiacum_(bleisch_in_rabh)_dg_mann	48	ESLE	0,06	0,03	0,48	0,23	0,21	315,12	0,53	121	+	1 +
eunotia_subarcuatooides_alles_norpel_&_lange_bertalot	14	ESUB	0,19	0,21	0,00	0,03	0,58	281,56	0,47	126	+	1 +
eunotia_sp20	15	EU20	0,26	0,04	0,44	0,03	0,23	246,20	0,41	139	+	1 +
eunotia_sp22	10	EU22	0,26	0,00	0,02	0,33	0,39	96,90	0,16	174	+	1 +
eunotia_sp23	10	EU23	0,00	0,02	0,23	0,32	0,43	75,54	0,13	181	+	1 +
frustulia_crassinervia_(breb)_lange_bertalot_et_krammer	22	FCRS	0,00	0,00	0,00	0,01	0,98	776,92	1,30	88	+	1 +

## Rapport final

## Annexe 4 (3)

## Taxons + (suite)

Nom taxon méthode	Nb occurrences	Code taxon	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Ab. Cum.	Ab. Cum. Rel.	Classt Ab. Cum.	Type taxon	Valence IDA-2
fragilaria_fonticola_hustedt	126	FFON	0,03	0,27	0,51	0,12	0,07	3010,44	5,04	43	+	1 +
fragilaria_goulardii_(brebisson)_lange_bertalot	215	FGOU	0,00	0,00	0,48	0,24	0,27	4254,56	7,12	31	+	1 +
fistulifera_saprophila_(lange_bertalot_&_bonik)_lange_bertalot	157	FSAP	0,04	0,30	0,44	0,22	0,01	6157,80	10,31	25	+	1 +
fallacia_tenera_(hustedt)_mann_in_round	134	FTNR	0,04	0,30	0,51	0,14	0,01	2390,20	4,00	51	+	1 +
gomphonema_bourbonense_e_reichardt_et_lange_bertalot	355	GBOB	0,02	0,18	0,38	0,32	0,11	15382,35	25,76	8	+	1 +
gomphonema_brasiliense_ssp_pacificum_moser_lange_bertalot_&_metzeltin	106	GBPA	0,02	0,01	0,25	0,20	0,52	1681,26	2,82	59	+	1 +
geissleria_decussis(ostrup)_lange_bertalot_&_metzeltin	119	GDEC	0,00	0,01	0,65	0,21	0,12	3601,24	6,03	36	+	1 +
gomphonema_designatum_e_reichardt	454	GDES	0,02	0,12	0,34	0,35	0,16	45832,98	76,75	2	+	1 +
geissleria_sp1	108	GE01	0,00	0,00	0,01	0,35	0,64	2017,63	3,38	57	+	1 +
gomphonema_exilissimum_(grun)_lange_bertalot_&_reichardt	63	GEXL	0,03	0,01	0,12	0,34	0,51	689,32	1,15	93	+	1 +
gomphonema_lagenula_kutzing	55	GLGN	0,04	0,01	0,44	0,47	0,04	1612,13	2,70	61	+	1 +
gomphonema_sp51	212	G051	0,04	0,14	0,36	0,36	0,10	10150,50	17,00	11	+	1 +
gomphonema_sp53	91	G053	0,00	0,01	0,54	0,30	0,15	3217,21	5,39	39	+	1 +
gomphonema_sp54	49	G054	0,09	0,04	0,30	0,17	0,40	791,48	1,33	85	+	1 +
gomphonema_sp61	19	G061	0,24	0,00	0,49	0,00	0,27	155,15	0,26	156	+	1 +
gomphonema_sp62	30	G062	0,00	0,04	0,60	0,25	0,12	313,88	0,53	122	+	1 +
gomphonema_sp63	15	G063	0,07	0,02	0,38	0,17	0,36	270,07	0,45	134	+	1 +
gomphonema_sp64	12	G064	0,00	0,06	0,41	0,18	0,36	135,41	0,23	164	+	1 +
gomphonema_sp67	11	G067	0,21	0,06	0,69	0,04	0,00	187,41	0,31	149	+	1 +
gomphonema_sp68	9	G068	0,00	0,00	0,62	0,27	0,11	147,90	0,25	162	+	1 +
gomphonema_sp71	71	G071	0,00	0,01	0,16	0,36	0,47	2416,85	4,05	49	+	1 +
gomphonema_sp72	37	G072	0,00	0,00	0,00	0,14	0,86	988,53	1,66	77	+	1 +
gomphonema_sp76	41	G076	0,16	0,02	0,60	0,18	0,04	1062,59	1,78	72	+	1 +
gomphonema_sp77	6	G077	0,21	0,00	0,77	0,01	0,00	80,60	0,13	180	+	1 +
gomphonema_sp81	20	G081	0,00	0,00	0,06	0,02	0,91	194,88	0,33	148	+	1 +
gomphonema_sp82	13	G082	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60	318,85	0,53	120	+	1 +
gomphonema_sp85	26	G085	0,00	0,00	0,18	0,18	0,64	453,30	0,76	109	+	1 +
gomphonema_sp91	16	G091	0,13	0,02	0,51	0,19	0,15	327,80	0,55	118	+	1 +
gomphonema_parvulum_(kutzing)_kutzing_var_parvulum_f_parvulum	298	GPAP	0,14	0,22	0,40	0,18	0,05	6792,28	11,37	20	+	1 +
gomphosphenia_sp1	39	GPP1	0,00	0,00	0,07	0,05	0,88	715,11	1,20	92	+	1 +
gyrosigma_sciotense_(sullivan_et_wormley)_cleve	36	GSCI	0,18	0,28	0,35	0,18	0,00	144,78	0,24	163	+	1 +
gomphosphenia_tenerrima_(hustedt)_reichardt	31	GTNR	0,41	0,26	0,08	0,25	0,00	551,91	0,92	105	+	1 +
gyrosigma_reimeri_sterrenburg	39	GYRE	0,04	0,20	0,40	0,20	0,16	292,61	0,49	124	+	1 +
halamphora_montana_(krasske)_levkov	68	HLMO	0,31	0,41	0,10	0,17	0,01	500,23	0,84	106	+	1 +
luticola_sp4	19	LU04	0,05	0,03	0,90	0,01	0,00	212,26	0,36	144	+	1 +
mayamaea_permitis_(Hustedt)_Bruder_&_Medlin	227	MPMI	0,16	0,42	0,21	0,21	0,00	4015,42	6,72	32	+	1 +
nitzschia_acidoclinata_lange_bertalot	80	NACD	0,00	0,01	0,67	0,11	0,20	877,53	1,47	83	+	1 +
nitzschia_clausii_hantzsch	118	NCLA	0,06	0,39	0,17	0,36	0,03	1955,11	3,27	58	+	1 +
navicula_cryptotenella_lange_bertalot	24	NCTE	0,01	0,08	0,82	0,04	0,05	134,54	0,23	166	+	1 +
navicula_cruvierianalis_metzeltin_lange_bertalot_&_garcia_rodrigue	362	NCXM	0,10	0,23	0,41	0,24	0,02	6198,24	10,38	23	+	1 +
navicula(dicta)_seminulum_forme_2	138	NDO2	0,10	0,06	0,08	0,65	0,10	2534,08	4,24	47	+	1 +
nitzschia_denticula_grunow	8	NDEN	0,00	0,01	0,54	0,45	0,00	432,16	0,72	111	+	1 +
navicula_difficillima_hustedt	34	NDIF	0,01	0,12	0,23	0,32	0,32	234,19	0,39	142	+	1 +
nitzschia_dissipata(kutzing)grunow_fomaewensis_foged	45	NDMA	0,20	0,38	0,18	0,17	0,08	277,21	0,46	128	+	1 +
navicula_erifuga_forme_2	91	NER2	0,21	0,37	0,24	0,14	0,04	894,20	1,50	82	+	1 +
navicula_escambia_(patrick)_metzeltin_&_lange_bertalot	21	NESC	0,00	0,01	0,20	0,17	0,61	257,39	0,43	137	+	1 +
nitzschia_filliformis_varconferta_(richter)_lange_bertalot	86	NFIC	0,14	0,15	0,62	0,04	0,04	785,80	1,32	86	+	1 +
nitzschia_filliformis_(wmsmith)_van_heurck_var_filliformis	17	NFIL	0,10	0,33	0,08	0,17	0,33	151,23	0,25	158	+	1 +
navicula_gregaria_donkin	34	NGRE	0,00	0,02	0,63	0,29	0,05	229,00	0,38	143	+	1 +
nitzschia_sp41	249	NI41	0,02	0,09	0,37	0,33	0,19	3818,66	6,39	34	+	1 +
nitzschia_sp45	32	NI45	0,35	0,08	0,56	0,00	0,00	1265,90	2,12	67	+	1 +
nitzschia_sp47	36	NI47	0,27	0,47	0,08	0,14	0,04	584,78	0,98	102	+	1 +
nitzschia_sp49	15	NI49	0,01	0,02	0,32	0,54	0,11	187,17	0,31	150	+	1 +

## Annexe 4 (4)

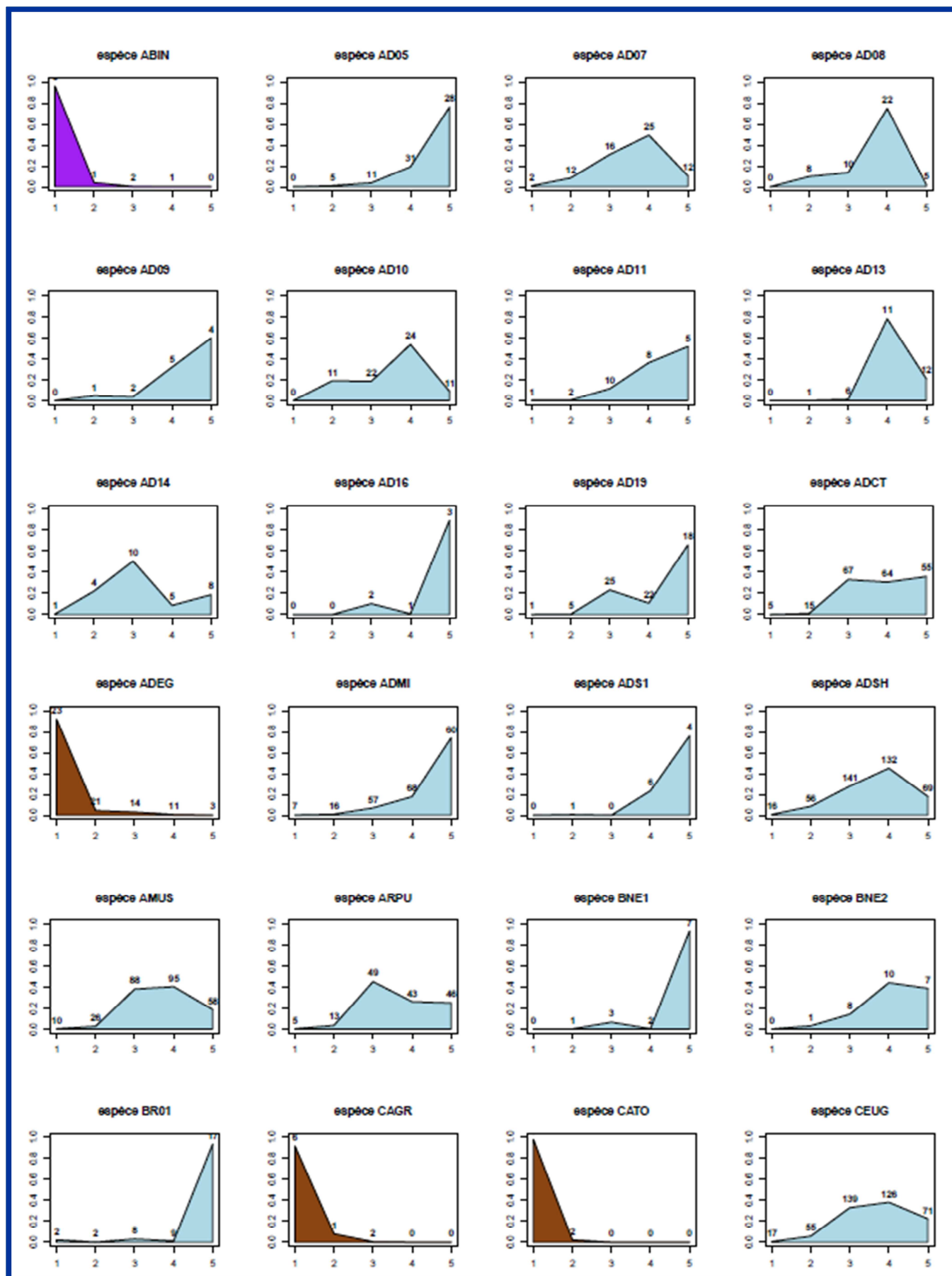
## Taxons + (suite et fin)

Nom taxon méthode	Nb occurrences	Code taxon	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Ab. Cum.	Ab. Cum. Rel.	Classt Ab. Cum.	Type taxon	Valence IDA-2
nitzschia_sp76	13	NI76	0,01	0,06	0,68	0,24	0,01	155,80	0,26	155	+	1 +
nitzschia_frustulum_(kutzin)grunow_varfrustulum	269	NIFR	0,12	0,23	0,44	0,20	0,02	8030,58	13,45	15	+	1 +
nitzschia_inconspicua_grunow	382	NINC	0,12	0,48	0,32	0,08	0,00	81730,22	136,86	1	+	1 +
navicula_incarum_lange_bertalot_&_rumrich	269	NINK	0,02	0,18	0,36	0,38	0,07	6121,98	10,25	26	+	1 +
naviculadicta_nanogomphonema_lange_bertalot_&_rumrich	308	NNGO	0,02	0,18	0,45	0,23	0,12	9848,54	16,49	13	+	1 +
navicula_notha_wallace	60	NNOT	0,06	0,04	0,15	0,29	0,46	726,47	1,22	91	+	1 +
nitzschia_palea_forme_5	21	NPO5	0,13	0,10	0,16	0,61	0,00	442,11	0,74	110	+	1 +
nitzschia_palea_forme_6	60	NPO6	0,01	0,01	0,10	0,87	0,01	2594,78	4,35	46	+	1 +
navicula_quasidisjuncta_lange_bertalot_&_rumrich	91	NQDJ	0,03	0,07	0,57	0,22	0,11	1349,78	2,26	65	+	1 +
navicula_simulata_manguin	330	NSIA	0,05	0,28	0,39	0,23	0,04	6796,17	11,38	19	+	1 +
navicula_salinicola_hustedt	87	NSLC	0,01	0,05	0,40	0,35	0,19	679,85	1,14	94	+	1 +
nupela_sp1	230	NUP1	0,00	0,01	0,11	0,21	0,67	7047,16	11,80	18	+	1 +
nupela_sp2	19	NUP2	0,00	0,02	0,00	0,92	0,06	1183,55	1,98	68	+	1 +
nupela_rumrichorum_lange_bertalot	52	NURU	0,00	0,02	0,41	0,48	0,09	1140,95	1,91	71	+	1 +
planothidium_frequentissimum_(lange_bertalot)lange_bertalot	69	PLFR	0,00	0,09	0,09	0,75	0,07	727,47	1,22	90	+	1 +
planothidium_robustus_(hustedt)_lange_bertalot	343	PRBU	0,00	0,02	0,22	0,33	0,42	16211,04	27,15	7	+	1 +
rhopalodia_sp1	26	RH01	0,00	0,00	0,29	0,63	0,08	2359,57	3,95	52	+	1 +
rhopalodia_sp3	6	RH03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,95	44,43	0,07	185	+	1 +
simonsenia_delognei_lange_bertalot_ssp_rossii	56	SDRO	0,02	0,44	0,45	0,09	0,00	676,69	1,13	95	+	1 +
sellaphora_sp2	45	SE02	0,52	0,19	0,09	0,20	0,00	283,63	0,47	125	+	1 +
sellaphora_seminulum_(grunow)_dg_mann	329	SSEM	0,25	0,17	0,16	0,34	0,08	7513,83	12,58	16	+	1 +
tryblionella_apiculata_gregory	13	TAPI	0,16	0,61	0,03	0,12	0,08	111,93	0,19	171	+	1 +
tryblionella_debilis_arnott_ex_o_meara	137	TDEB	0,03	0,34	0,33	0,28	0,02	1023,92	1,71	75	+	1 +
ulnaria_lanceolata_(kutz)_compère	40	ULAN	0,04	0,06	0,16	0,51	0,22	276,12	0,46	130	+	1 +
ulnaria_pseudogailonii_(kobayasi_&_idei)_idei	68	UPSG	0,00	0,00	0,54	0,09	0,36	1587,67	2,66	62	+	1 +
<b>Soit :</b>	<b>131 Taxons +</b>											

## 4) Taxons halophiles

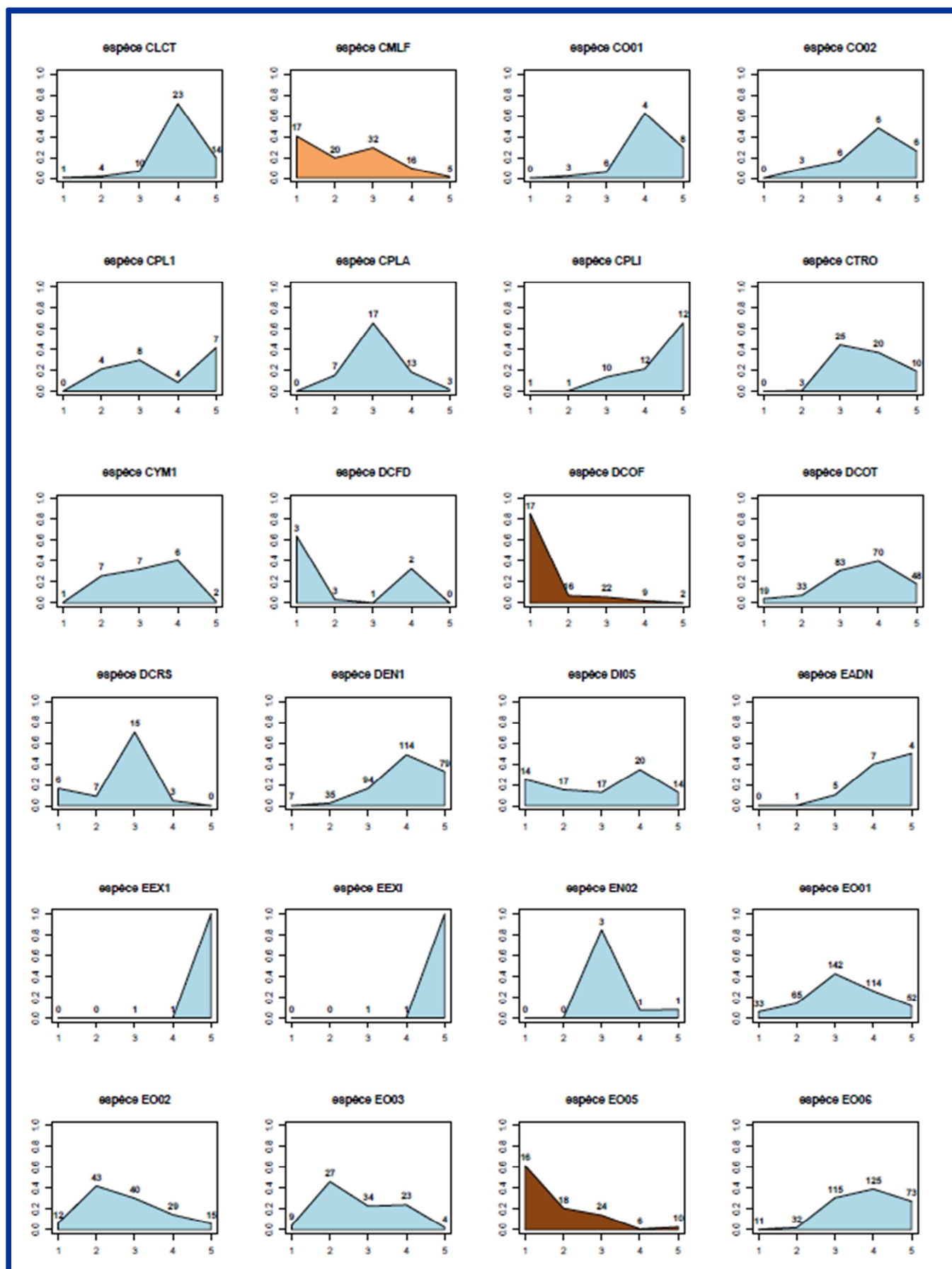
Nom taxon méthode	Nb occurrences	Code taxon	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Ab. Cum.	Ab. Cum. Rel.	Classt Ab. Cum.	Type taxon	Valence IDA-2
achnanthes_brevipes_agardh_varintermedia_(kutz)_cleve	9	ABIN	0,96	0,04	0,00	0,00	0,00	667,76	1,12	96	Hal.	Néant
gomposphenia_oahuensis_(hustedt)_lange_bertalot	33	GOAH	0,86	0,13	0,01	0,00	0,00	1359,85	2,28	64	Hal.	Néant
luticola_mutica_(kutzin)_dg_mann	32	LMUT	0,83	0,10	0,06	0,01	0,01	424,05	0,71	112	Hal.	Néant
luticola_sp1	9	LU01	0,99	0,01	0,00	0,00	0,00	953,63	1,60	79	Hal.	Néant
nitzschia_amplectens_hustedt	5	NAMC	0,90	0,01	0,08	0,00	0,00	65,81	0,11	183	Hal.	Néant
nitzschia_aurariae_chofnoky	9	NAUR	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	778,12	1,30	87	Hal.	Néant
navicula_erifuga_forme_1	9	NER1	0,66	0,07	0,26	0,00	0,01	73,24	0,12	182	Hal.	Néant
thalassiosira_sp2	5	TAS2	0,40	0,60	0,00	0,00	0,00	469,03	0,79	107	Hal.	Néant
<b>Soit :</b>	<b>8 Taxons Halophiles (non pris en compte dans le calcul d'IDA-2)</b>											

## Annexe 5 : Profils des taxons de l'IDA-2

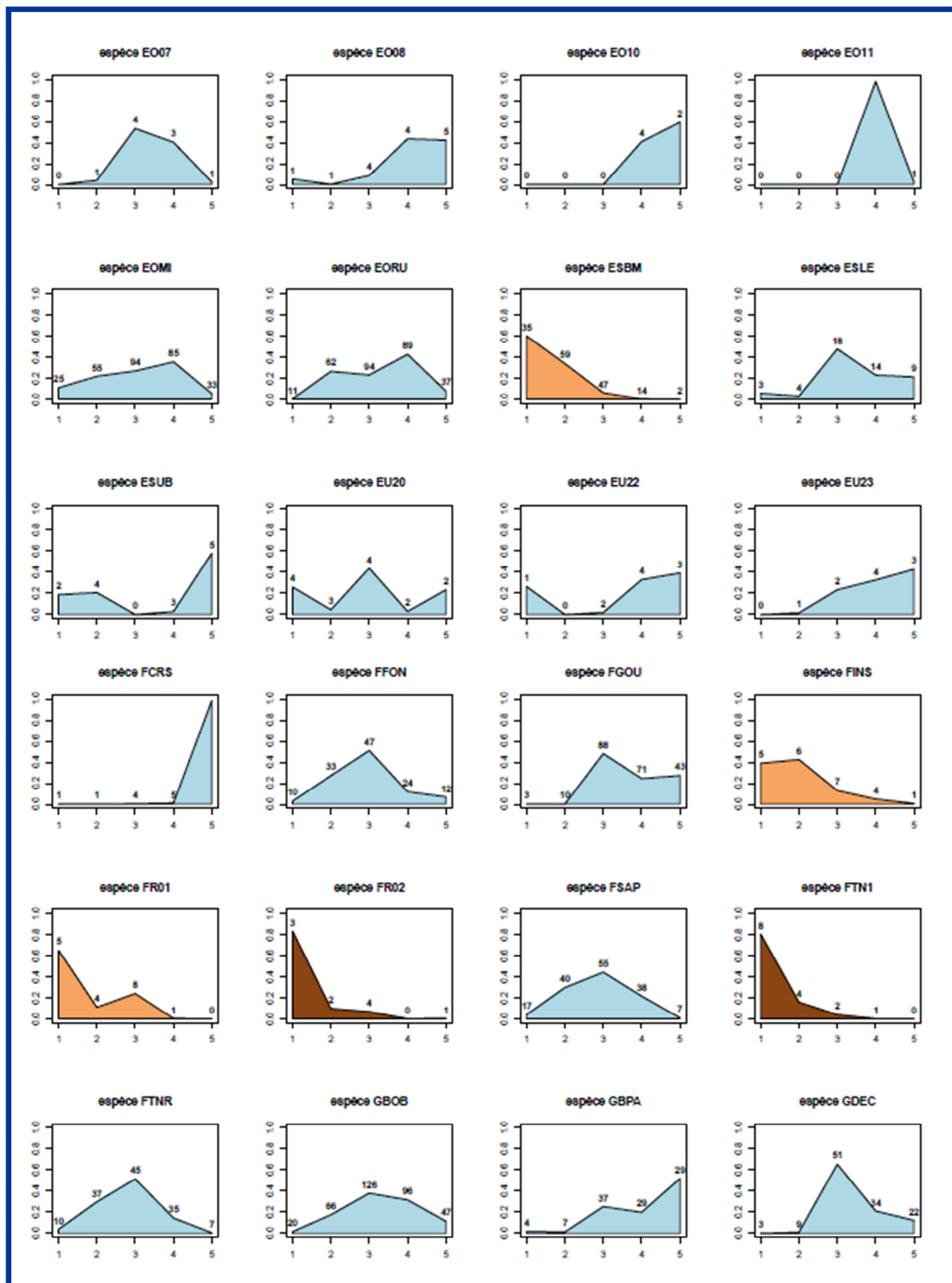




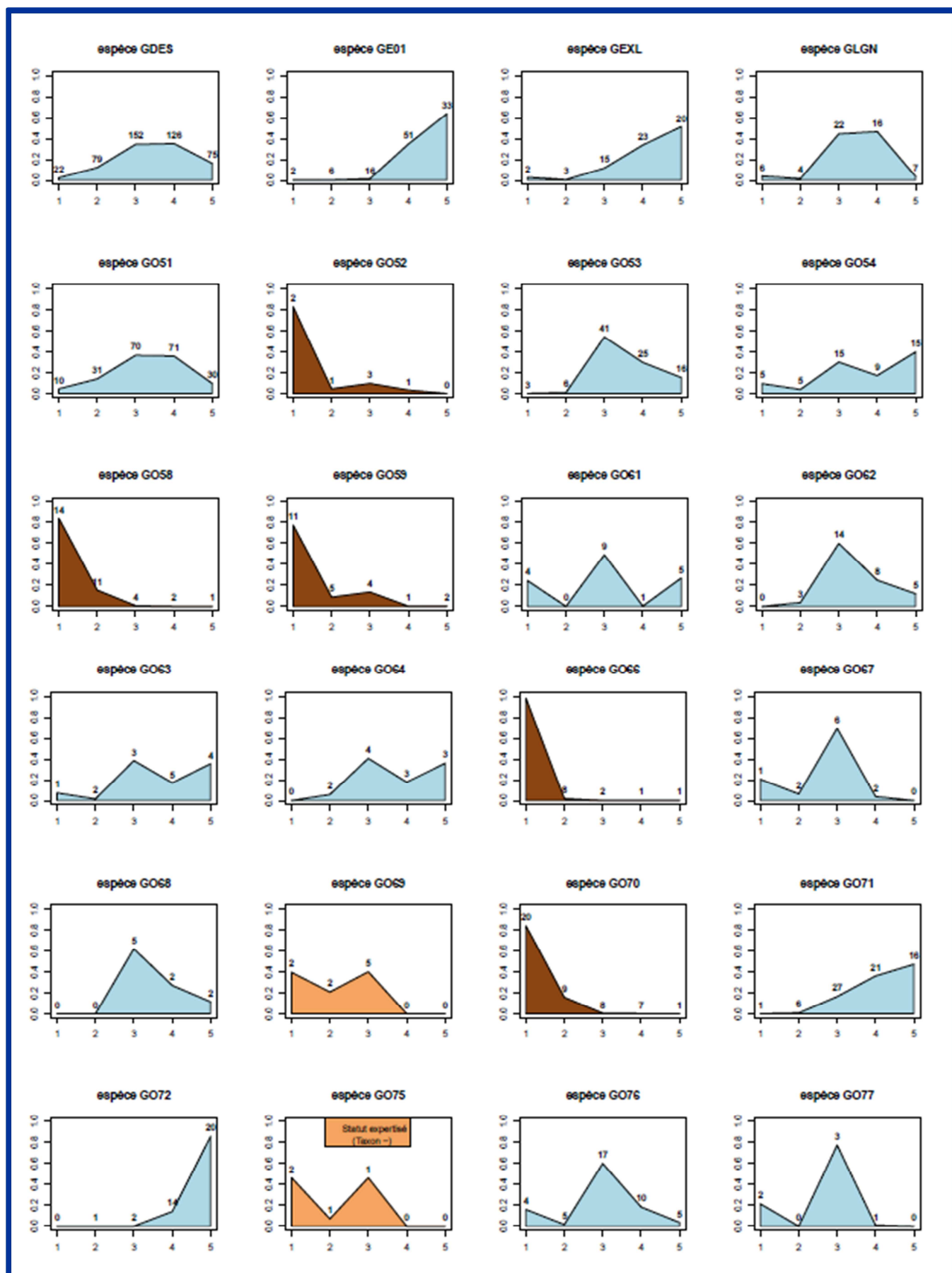
## Annexe 5 (2)



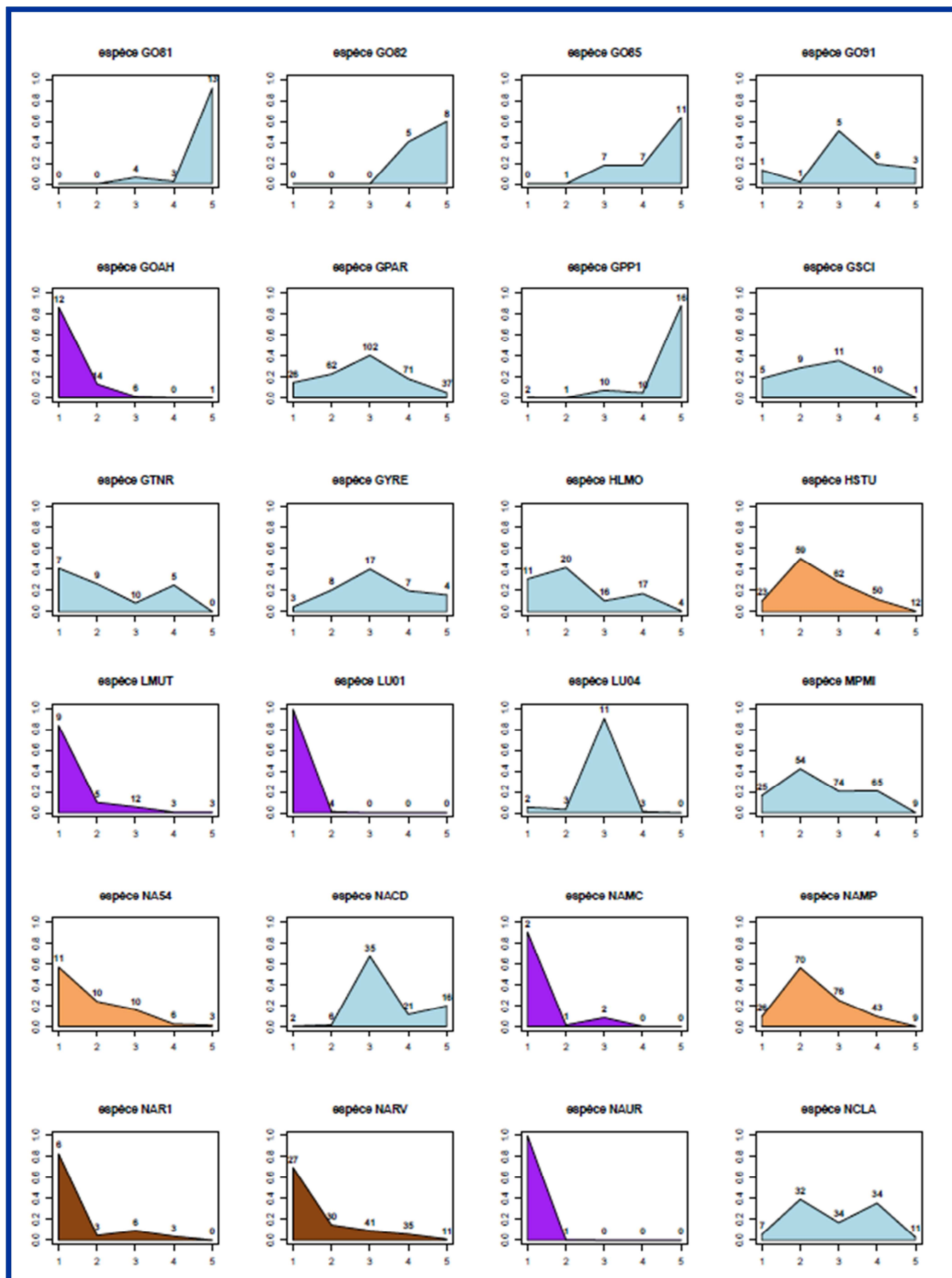
## Annexe 5 (3)



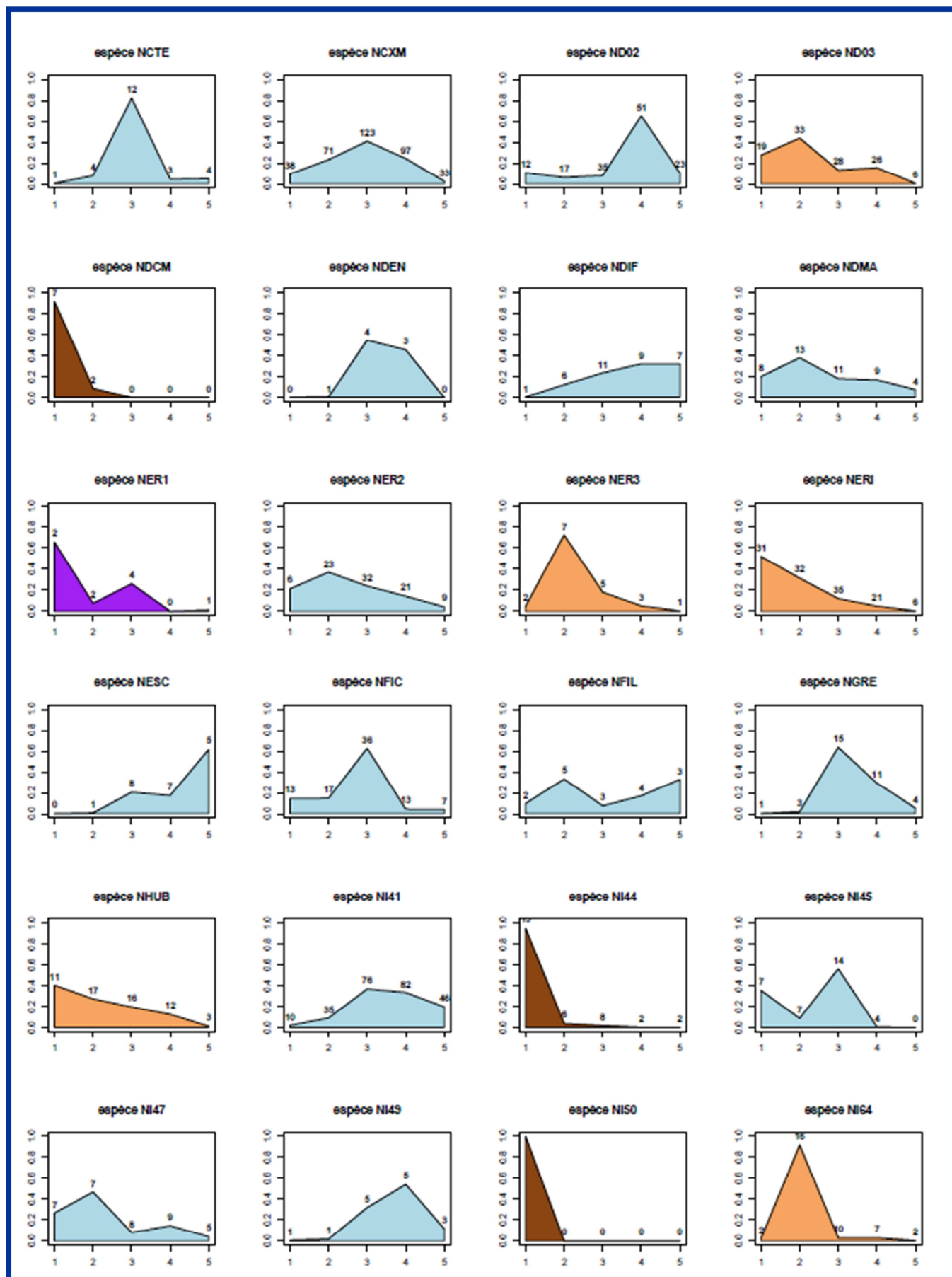
## Annexe 5 (4)



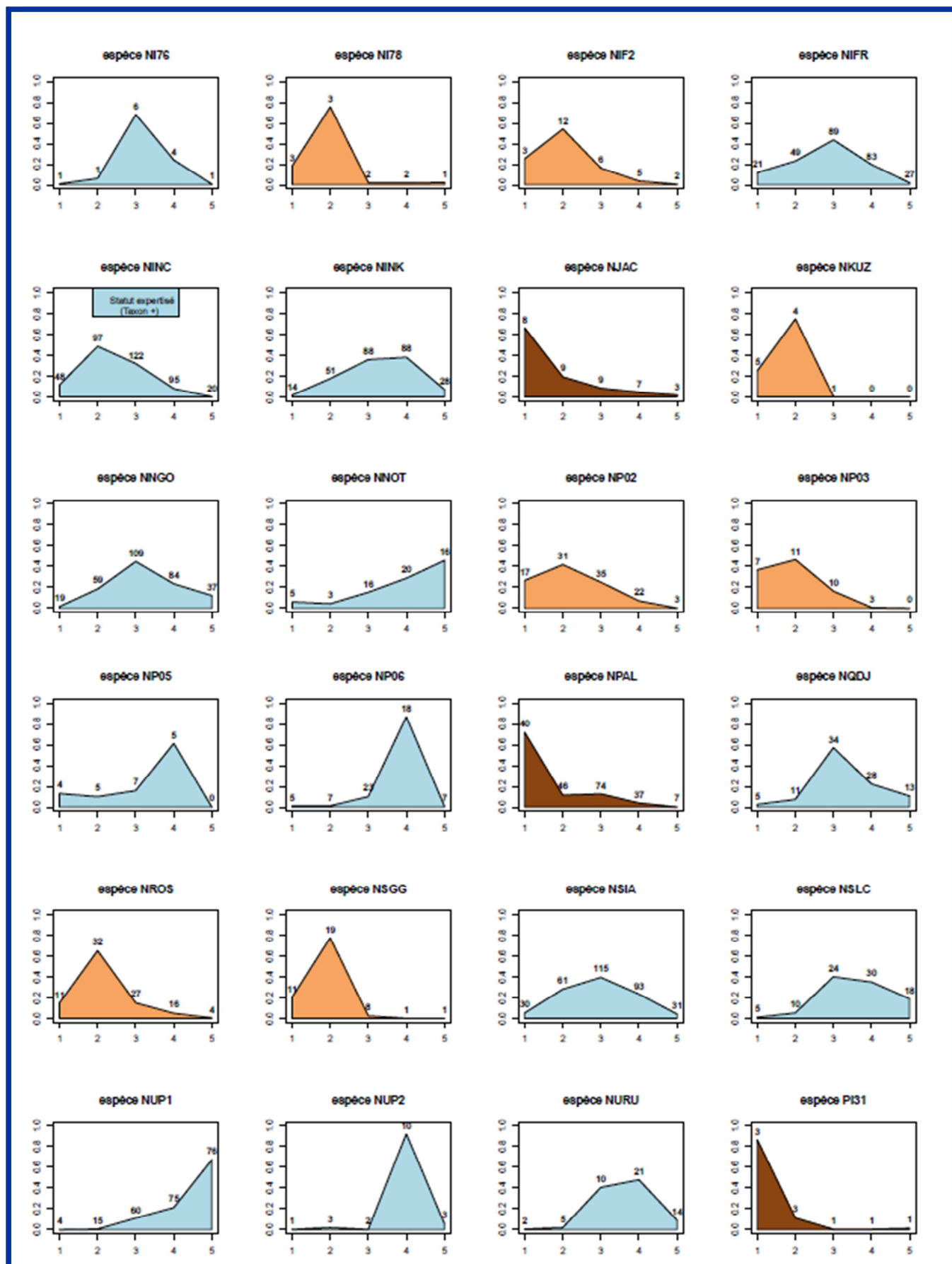
## Annexe 5 (5)



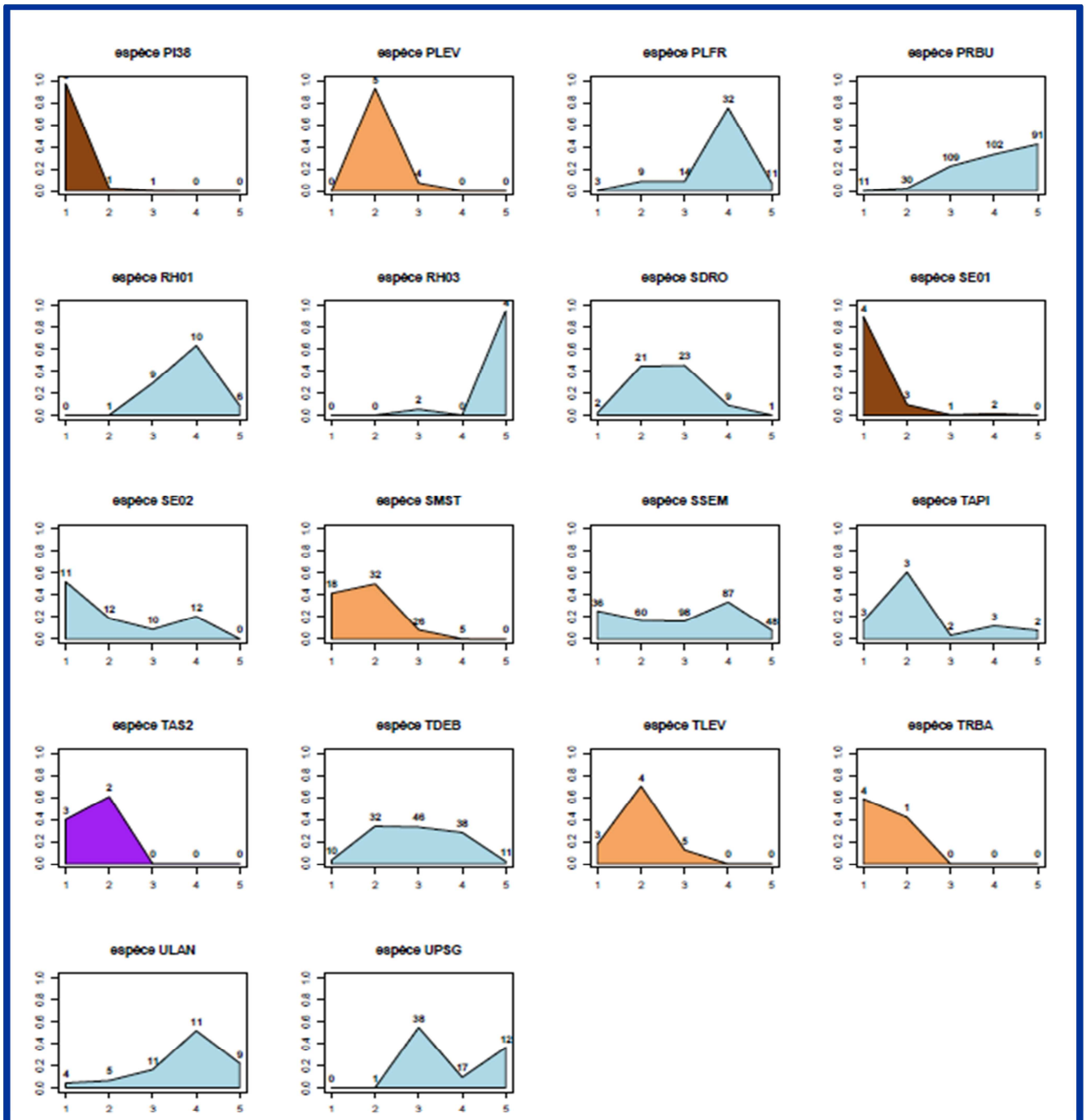
## Annexe 5 (6)



## Annexe 5 (7)

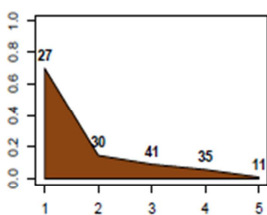


## Annexe 5 (8)



### Légende :

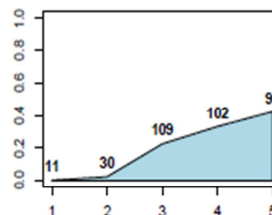
**Taxon 2-**



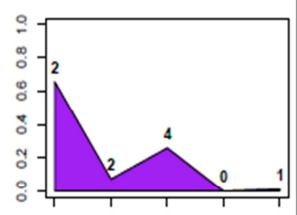
**Taxon -**



**Taxon +**



**Taxon Hal.**



## Annexe 6 : Etat Ecologique au relevé

### A) Zone naturelle "Volcan"

Grille d'Evaluation Volcan, Scénario (15)-5-1 OPT (EQR BE-EM = 0,915)				
Etat	seuils	effectifs	Calcul borne EQR	Seuils EQRs
TBE	19,139 ; 20,00	227	0,9750	0,975 ; Val. Max (1,019)
BE	17,961 ; <19,139	154	0,9150	0,915 ; <0,975
EM	11,778; <17,961	114	0,6000	0,60 ; < 0,915
ME	6,674; <11,778	9	0,3400	0,34 ; <0,60
TME	0 ; <6,674	3	0,0000	0,00 ; < 0,34
<b>Total</b>		<b>507</b>		
<b>Relevés</b>				
<b>Total Volcan</b>		<b>507</b>		
<b>Total &lt; BE</b>		<b>126</b>	<b>Soit :</b>	<b>24,85%</b>

### Tableaux d'Etat au relevé, Zone naturelle "Volcan"

(Tableaux classés par ordre alphabétique et chronologique de code relevé)

Grille d'Evaluation Volcan, Scénario (15)-5-1 OPT (EQR BE-EM = 0,915)							
Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
ABSm2	Absalon	Absalon	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
ABSm3	Absalon	Absalon	19,69	1,00328	0	19,63	TBE
ABSm4	Absalon	Absalon	19,39	0,98771	0	19,63	TBE
ACRm0	Anse Céron	RD10 Habitation Céron	19,21	0,97882	0	19,63	TBE
ACRm1	Anse Céron	RD10 Habitation Céron	19,14	0,97524	0	19,63	TBE
ACRm2	Anse Céron	RD10 Habitation Céron	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
ACRm3	Anse Céron	RD10 Habitation Céron	18,65	0,95029	0	19,63	BE
ACRm4	Anse Céron	RD10 Habitation Céron	19,67	1,00213	0	19,63	TBE
BABg1	Rivière Baret	Bellevue	8,08	0,41159	0	19,63	ME
BABg2	Rivière Baret	Bellevue	2,82	0,14345	0	19,63	TME
BABg3	Rivière Baret	Bellevue	8,61	0,43846	0	19,63	ME
BABg4	Rivière Baret	Bellevue	10,01	0,51009	0	19,63	ME
BABg5	Rivière Baret	Bellevue	11,85	0,60366	0	19,63	EM
BDIg1	Rivière Bras David aval	INRA	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BDIg2	Rivière Bras David aval	INRA	19,08	0,97181	0	19,63	BE
BDIg3	Rivière Bras David aval	INRA	19,50	0,99325	0	19,63	TBE
BDIg4	Rivière Bras David aval	INRA	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BDIg5	Rivière Bras David aval	INRA	19,37	0,98685	0	19,63	TBE
BDIg6	Rivière Bras David aval	Site INRA	19,65	1,00083	0	19,63	TBE
BDIg7	Rivière Bras David aval	Site INRA	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BDMg1	Rivière Bras David amt	Maison de la forêt	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BDMg2	Rivière Bras David amt	Maison de la forêt	19,73	1,00535	0	19,63	TBE
BDMg3	Rivière Bras David amt	Maison de la forêt	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BDMg4	Rivière Bras David amt	Maison de la forêt	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BDMg5	Rivière Bras David amt	Maison de la forêt	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BDMg6	Rivière Bras David amt	Maison de la forêt	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BDMg7	Rivière Bras David amt	Maison de la forêt	20,00	1,01885	0	19,63	TBE



## Annexe 6 – 2 (Partie A : Zone Volcan, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
BEMm7	Bezaudin	Morne Ma Croix	18,19	0,92645	0	19,63	BE
BEPg1	Rivière Beaugendre	Pont RN2	19,29	0,98269	0	19,63	TBE
BEPg2	Rivière Beaugendre	Pont RN2	19,03	0,96936	0	19,63	BE
BEPg3	Rivière Beaugendre	Pont RN2	17,59	0,89599	0	19,63	EM
BEPg4	Rivière Beaugendre	Pont RN2	19,60	0,99842	0	19,63	TBE
BEPg5	Rivière Beaugendre	Pont RN2	17,99	0,91669	0	19,63	BE
BERm0	Ste Marie - Bezaudin	Pont RD24 - Ste Marie	18,41	0,93767	0	19,63	BE
BERm1	Ste Marie - Bezaudin	Pont RD24 - Ste Marie	18,05	0,91955	0	19,63	BE
BERm2	Ste Marie - Bezaudin	Pont RD24 - Ste Marie	17,18	0,87535	0	19,63	EM
BERm3	Ste Marie - Bezaudin	Pont RD24 - Ste Marie	17,93	0,91319	0	19,63	EM
BERm4	Ste Marie - Bezaudin	Pont RD24 - Ste Marie	18,19	0,92646	0	19,63	BE
BERm6	Ste Marie - Bezaudin	Pont RD24 - Ste Marie	18,99	0,96735	0	19,63	BE
BERm7	Ste Marie - Bezaudin	Pont RD24 - Ste Marie	17,05	0,86862	0	19,63	EM
BLAm1	Blanche	Alma	19,28	0,98209	0	19,63	TBE
BLAm2	Blanche	Alma	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BLAm3	Blanche	Alma	19,65	1,00081	0	19,63	TBE
BLAm4	Blanche	Alma	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
BPBm1	Basse Pointe	Pont RN1 bourg Basse Pointe	18,63	0,94889	0	19,63	BE
BPBm2	Basse Pointe	Pont RN1 bourg Basse Pointe	17,25	0,87872	0	19,63	EM
BPBm3	Basse Pointe	Pont RN1 bourg Basse Pointe	18,20	0,92724	0	19,63	BE
BPBm4	Basse Pointe	Pont RN1 bourg Basse Pointe	17,48	0,89033	0	19,63	EM
BSCg1	Rivière Bras de Sable aval	Rv. Chaude-radier Avt Confl. GRG	18,53	0,94410	0	19,63	BE
BSCg2	Rivière Bras de Sable aval	Rv. Chaude-radier Avt Confl. GRG	18,42	0,93817	0	19,63	BE
BSCg3	Rivière Bras de Sable aval	Rv. Chaude-radier Avt Confl. GRG	19,71	1,00432	0	19,63	TBE
BSCg4	Rivière Bras de Sable aval	Rv. Chaude-radier Avt Confl. GRG	19,33	0,98469	0	19,63	TBE
BSCg5	Rivière Bras de Sable aval	Rv. Chaude-radier Avt Confl. GRG	19,66	1,00136	0	19,63	TBE
BSCg6	Rivière Bras de Sable aval	Rv. Chaude-radier Avt Confl. GRG	18,99	0,96738	0	19,63	BE
BSCg7	Rivière Bras de Sable aval	Rv. Chaude-radier Avt Confl. GRG	19,00	0,96801	0	19,63	BE
CAAg1	Gde Rivière Capesterre aval	Pont RN1	19,53	0,99503	0	19,63	TBE
CAAg2	Gde Rivière Capesterre aval	Pont RN1	19,33	0,98447	0	19,63	TBE
CAAg3	Gde Rivière Capesterre aval	Pont RN1	18,71	0,95319	0	19,63	BE
CAAg4	Gde Rivière Capesterre aval	Pont RN1	19,43	0,98961	0	19,63	TBE
CAAg5	Gde Rivière Capesterre aval	Pont RN1	18,80	0,95766	0	19,63	BE
CAAg6	Gde Rivière Capesterre aval	Pont RN1	19,37	0,98666	0	19,63	TBE
CAAg7	Gde Rivière de Capesterre	Pont RN1	19,73	1,00486	0	19,63	TBE
CABg2	Ravine Carrière	Bonne-Mère	17,92	0,91289	0	19,63	EM
CABg4	Ravine Carrière	Bonne-Mère	18,70	0,95245	0	19,63	BE
CADm1	La Tracée	Deux Choux	19,58	0,99722	0	19,63	TBE
CADm2	La Tracée	Deux Choux	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
CADm3	La Tracée	Deux Choux	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
CADm4	La Tracée	Deux Choux	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
CAFm0	Carbet	Fond Baise	19,53	0,99497	0	19,63	TBE
CAFm1	Carbet	Fond Baise	17,92	0,91281	0	19,63	EM
CAFm2	Carbet	Fond Baise	19,68	1,00272	0	19,63	TBE
CAFm3	Carbet	Fond Baise	18,35	0,93482	0	19,63	BE
CAFm4	Carbet	Fond Baise	18,22	0,92814	0	19,63	BE
CAFm6	Carbet	Fond Baise	19,08	0,97203	0	19,63	BE
CAFm7	Carbet	Fond Baise	19,61	0,99891	0	19,63	TBE
CAMm1	Capot	Mackintosh	18,30	0,93201	0	19,63	BE
CAMm2	Capot	Mackintosh	19,60	0,99835	0	19,63	TBE
CAMm3	Capot	Mackintosh	18,85	0,96024	0	19,63	BE
CAMm4	Capot	Mackintosh	18,67	0,95121	0	19,63	BE

## Annexe 6 - 3 (Partie A : Zone Volcan, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
CANm0	Duclos	Tunnel Didier	19,26	0,98119	0	19,63	TBE
CANm1	Duclos	Tunnel Didier	19,29	0,98244	0	19,63	TBE
CANm2	Duclos	Tunnel Didier	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
CANm3	Duclos	Tunnel Didier	19,30	0,98325	0	19,63	TBE
CANm4	Duclos	Tunnel Didier	19,01	0,96865	0	19,63	BE
CANm6	Duclos	Tunnel Didier	19,40	0,98844	0	19,63	TBE
CANm7	Duclos	Tunnel Didier	19,70	1,00338	0	19,63	TBE
CAPg1	Gde Rivière Capesterre amt	La Digue	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
CAPg2	Gde Rivière Capesterre amt	La Digue	19,58	0,99724	0	19,63	TBE
CAPg3	Gde Rivière Capesterre amt	La Digue	19,66	1,00161	0	19,63	TBE
CAPg4	Gde Rivière Capesterre amt	La Digue	19,47	0,99165	0	19,63	TBE
CAPg5	Gde Rivière Capesterre amt	La Digue	19,60	0,99836	0	19,63	TBE
CAPm1	Capot	Centre de stockage des déchets	18,62	0,94853	0	19,63	BE
CAPm2	Capot	Centre de stockage des déchets	17,22	0,87745	0	19,63	EM
CAPm3	Capot	Centre de stockage des déchets	17,69	0,90100	0	19,63	EM
CAPm4	Capot	Centre de stockage des déchets	17,97	0,91551	0	19,63	BE
CARm0	Carbet	Source Pierrot	18,44	0,93918	0	19,63	BE
CARm1	Carbet	Source Pierrot	19,58	0,99742	0	19,63	TBE
CARm2	Carbet	Source Pierrot	19,64	1,00076	0	19,63	TBE
CARm3	Carbet	Source Pierrot	19,17	0,97672	0	19,63	TBE
CARm4	Carbet	Source Pierrot	19,43	0,98965	0	19,63	TBE
CARm6	Carbet	Source Pierrot	19,72	1,00472	0	19,63	TBE
CARm7	Carbet	Source Pierrot	19,42	0,98942	0	19,63	TBE
CASm1	Carbet	STEP Carbet	17,07	0,86981	0	19,63	EM
CASm2	Carbet	STEP Carbet	16,52	0,84151	0	19,63	EM
CASm3	Carbet	STEP Carbet	17,18	0,87526	0	19,63	EM
CASm4	Carbet	STEP Carbet	14,86	0,75709	0	19,63	EM
CAVm0	Capot	AEP Vivé Capot	18,33	0,93362	0	19,63	BE
CAVm1	Capot	AEP Vivé Capot	18,91	0,96322	0	19,63	BE
CAVm2	Capot	AEP Vivé Capot	18,77	0,95642	0	19,63	BE
CAVm3	Capot	AEP Vivé Capot	18,88	0,96204	0	19,63	BE
CAVm4	Capot	AEP Vivé Capot	19,29	0,98265	0	19,63	TBE
CAVm6	Capot	AEP Vivé Capot	18,83	0,95918	0	19,63	BE
CAVm7	Capot	AEP Vivé Capot	18,59	0,94704	0	19,63	BE
CBNm0	Case Navire	Bourg Schoelcher	17,79	0,90623	0	19,63	EM
CBNm1	Case Navire	Bourg Schoelcher	17,61	0,89686	0	19,63	EM
CBNm2	Case Navire	Bourg Schoelcher	17,44	0,88854	0	19,63	EM
CBNm3	Case Navire	Bourg Schoelcher	18,39	0,93695	0	19,63	BE
CBNm4	Case Navire	Bourg Schoelcher	17,91	0,91240	0	19,63	EM
CBNm6	Case Navire	Bourg Schoelcher	18,61	0,94816	0	19,63	BE
CBNm7	Case Navire	Bourg Schoelcher	19,06	0,97107	0	19,63	BE
CCLg1	Canal issu Caféière	Longueteau	13,88	0,70726	0	19,63	EM
CCLg3	Canal issu Caféière	Longueteau	13,95	0,71075	0	19,63	EM
CCLg5	Canal issu Caféière	Longueteau	13,97	0,71156	0	19,63	EM
CERm0	Anse Céron	Habitation Céron	19,41	0,98877	0	19,63	TBE
CERm1	Anse Céron	Habitation Céron	19,32	0,98423	0	19,63	TBE
CERm2	Anse Céron	Habitation Céron	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
CERm3	Anse Céron	Habitation Céron	18,91	0,96351	0	19,63	BE
CERm4	Anse Céron	Habitation Céron	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
CERm6	Anse Céron	Habitation Céron	19,47	0,99180	0	19,63	TBE
CERm7	Anse Céron	Habitation Céron	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
CNHm7	Case Navire	Habitation Fond Rousseau	19,10	0,97300	0	19,63	BE

## Annexe 6 - 4 (Partie A : Zone Volcan, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
COCm1	Couleuvre	Couleuvre	17,13	0,87265	0	19,63	EM
COCm2	Couleuvre	Couleuvre	19,66	1,00152	0	19,63	TBE
COCm3	Couleuvre	Couleuvre	19,35	0,98549	0	19,63	TBE
COCm4	Couleuvre	Couleuvre	19,54	0,99519	0	19,63	TBE
FLSm1	Fond Lahaye	STEP Schoelcher 2	10,70	0,54527	0	19,63	ME
FLSm2	Fond Lahaye	STEP Schoelcher 2	12,87	0,65554	0	19,63	EM
FLSm3	Fond Lahaye	STEP Schoelcher 2	16,30	0,83021	0	19,63	EM
FLSm4	Fond Lahaye	STEP Schoelcher 2	16,34	0,83224	0	19,63	EM
FRPm1	François	Porcherie	19,19	0,97769	0	19,63	TBE
FRPm2	François	Porcherie	19,32	0,98426	0	19,63	TBE
FRPm3	François	Porcherie	19,10	0,97314	0	19,63	BE
FRPm4	François	Porcherie	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAAg1	Rivière Gde Anse aval	Amont Pont D6	18,94	0,96492	0	19,63	BE
GAAg2	Rivière Gde Anse aval	Amont Pont D6	17,12	0,87229	0	19,63	EM
GAAg3	Rivière Gde Anse aval	Amont Pont D6	17,66	0,89944	0	19,63	EM
GAAg4	Rivière Gde Anse aval	Amont Pont D6	19,01	0,96827	0	19,63	BE
GAAg5	Rivière Gde Anse aval	Amont Pont D6	19,06	0,97118	0	19,63	BE
GABg1	Rivière Galion amt	Bassin bleu	19,39	0,98774	0	19,63	TBE
GABg2	Rivière Galion amt	Bassin bleu	19,54	0,99537	0	19,63	TBE
GABg3	Rivière Galion amt	Bassin bleu	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GABg4	Rivière Galion amt	Bassin bleu	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GABg5	Rivière Galion amt	Bassin bleu	19,49	0,99265	0	19,63	TBE
GABm7	Galion	Amont Siapoc	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAGm0	Galion	Grand Galion	17,67	0,90008	0	19,63	EM
GAGm1	Galion	Grand Galion	18,72	0,95364	0	19,63	BE
GAGm2	Galion	Grand Galion	18,92	0,96371	0	19,63	BE
GAGm3	Galion	Grand Galion	18,22	0,92818	0	19,63	BE
GAGm4	Galion	Grand Galion	18,50	0,94251	0	19,63	BE
GAGm6	Galion	Grand Galion	18,26	0,93017	0	19,63	BE
GAGm7	Galion	Grand Galion	17,82	0,90767	0	19,63	EM
GALm0	Galion	Gommier	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GALm1	Galion	Gommier	18,48	0,94146	0	19,63	BE
GALm2	Galion	Gommier	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GALm3	Galion	Gommier	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GALm4	Galion	Gommier	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GALm6	Galion	Gommier	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GALm7	Galion	Gommier	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAMg1	Rivière Gde Anse amt	Moscou	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAMg2	Rivière Gde Anse amt	Moscou	19,56	0,99666	0	19,63	TBE
GAMg3	Rivière Gde Anse amt	Moscou	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAMg4	Rivière Gde Anse amt	Moscou	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAMg5	Rivière Gde Anse amt	Moscou	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAMg6	Rivière Gde Anse amt	Moscou	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAMg7	Rivière Gde Anse amt	Moscou	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAPg1	Rivière du Galion aval	Sous pont RN1	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GAPg2	Rivière du Galion aval	Sous pont RN1	19,29	0,98249	0	19,63	TBE
GAPg3	Rivière du Galion aval	Sous pont RN1	19,52	0,99443	0	19,63	TBE
GAPg4	Rivière du Galion aval	Sous pont RN1	19,33	0,98490	0	19,63	TBE
GAPg5	Rivière du Galion aval	Sous pont RN1	19,29	0,98256	0	19,63	TBE
GAPg6	Rivière Galion	Pont embouchure	18,69	0,95213	0	19,63	BE
GAPg7	Rivière Galion	Pont embouchure	18,68	0,95173	0	19,63	BE

## Annexe 6 - 5 (Partie A : Zone Volcan, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
GASm1	Galion	Siapoc (peintures)	19,05	0,97037	0	19,63	BE
GASm2	Galion	Siapoc (peintures)	19,58	0,99748	0	19,63	TBE
GASm3	Galion	Siapoc (peintures)	19,19	0,97737	0	19,63	TBE
GASm4	Galion	Siapoc (peintures)	18,70	0,95268	0	19,63	BE
GBBg1	Ravine Gd Boucan	La Boucan	15,67	0,79826	0	19,63	EM
GBBg2	Ravine Gd Boucan	La Boucan	14,62	0,74482	0	19,63	EM
GBBg3	Ravine Gd Boucan	La Boucan	15,52	0,79067	0	19,63	EM
GBBg4	Ravine Gd Boucan	La Boucan	13,89	0,70758	0	19,63	EM
GBBg5	Ravine Gd Boucan	La Boucan	15,65	0,79706	0	19,63	EM
GCMg7	Rivière Gd Carbet	Amont	19,05	0,97069	0	19,63	BE
GCMg8	Rivière Gd Carbet	Amont	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GCPg1	Rivière Gd Carbet	Pont RN1	19,01	0,96856	0	19,63	BE
GCPg2	Rivière Gd Carbet	Pont RN1	18,24	0,92921	0	19,63	BE
GCPg3	Rivière Gd Carbet	Pont RN1	18,00	0,91717	0	19,63	BE
GCPg4	Rivière Gd Carbet	Pont RN1	18,80	0,95794	0	19,63	BE
GCPg5	Rivière Gd Carbet	Pont RN1	18,27	0,93077	0	19,63	BE
GCPg6	Rivière Gd Carbet	Pont RN	18,11	0,92232	0	19,63	BE
GCPg7	Rivière Gd Carbet	Pont RN	19,04	0,96979	0	19,63	BE
GCPg8	Rivière Gd Carbet	Pont RN	18,55	0,94483	0	19,63	BE
GGAg1	Gde Riv. à Goyave aval	Amont SIS Bonne-Mère	18,92	0,96389	0	19,63	BE
GGAg2	Gde Riv. à Goyave aval	Amont SIS Bonne-Mère	19,56	0,99631	0	19,63	TBE
GGAg3	Gde Riv. à Goyave aval	Amont SIS Bonne-Mère	19,69	1,00327	0	19,63	TBE
GGAg4	Gde Riv. à Goyave aval	Amont SIS Bonne-Mère	19,00	0,96768	0	19,63	BE
GGAg5	Gde Riv. à Goyave aval	Amont SIS Bonne-Mère	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GGAg6	Gde Riv. à Goyave aval	Amont SIS	19,65	1,00090	0	19,63	TBE
GGAg7	Gde Riv. à Goyave	Amont SIS	19,52	0,99448	0	19,63	TBE
GGPg1	Gde Rivière à Goyave amt	Amont prise d'eau	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GGPg2	Gde Rivière à Goyave amt	Amont prise d'eau	19,54	0,99534	0	19,63	TBE
GGPg3	Gde Rivière à Goyave amt	Amont prise d'eau	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GGPg4	Gde Rivière à Goyave amt	Amont prise d'eau	19,56	0,99628	0	19,63	TBE
GGPg5	Gde Rivière à Goyave amt	Amont prise d'eau	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GPAg2	Rivière Gde Plaine aval	Amont pont RN2	19,28	0,98241	0	19,63	TBE
GPAg4	Rivière Gde Plaine aval	Amont pont RN2	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GPAg5	Rivière Gde Plaine aval	Amont pont RN2	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GPAg6	Rivière Gde Plaine aval	Pont RN	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GPAg7	Rivière Gde Plaine aval	Pont RN	19,46	0,99148	0	19,63	TBE
GRDm0	Grand Rivière	Trou Diabliesse	19,64	1,00062	0	19,63	TBE
GRDm1	Grand Rivière	Trou Diabliesse	19,39	0,98782	0	19,63	TBE
GRDm2	Grand Rivière	Trou Diabliesse	19,28	0,98226	0	19,63	TBE
GRDm3	Grand Rivière	Trou Diabliesse	19,33	0,98455	0	19,63	TBE
GRDm4	Grand Rivière	Trou Diabliesse	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
GRDm6	Grand Rivière	Trou Diabliesse	19,70	1,00371	0	19,63	TBE
GRDm7	Grand Rivière	Trou Diabliesse	19,27	0,98146	0	19,63	TBE
GRLg1	Ravine Grossou	ZA Lamentin	16,87	0,85964	0	19,63	EM
GRLg2	Ravine Grossou	ZA Lamentin	18,96	0,96583	0	19,63	BE
GRLg3	Ravine Grossou	ZA Lamentin	17,46	0,88922	0	19,63	EM
GRLg4	Ravine Grossou	ZA Lamentin	17,91	0,91245	0	19,63	EM
GRSm0	Grande Rivière	Stade	19,07	0,97125	0	19,63	BE
GRSm1	Grande Rivière	Stade	18,77	0,95625	0	19,63	BE
GRSm2	Grande Rivière	Stade	18,28	0,93104	0	19,63	BE
GRSm3	Grande Rivière	Stade	18,34	0,93405	0	19,63	BE
GRSm4	Grande Rivière	Stade	19,01	0,96863	0	19,63	BE
GRSm6	Grande Rivière	Stade	18,66	0,95044	0	19,63	BE
GRSm7	Grande Rivière	Stade	19,35	0,98588	0	19,63	TBE

## Annexe 6 – 6 (Partie A : Zone Volcan, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
HECg1	Rivière aux Herbes	Choisy	18,72	0,95347	0	19,63	BE
HECg2	Rivière aux Herbes	Choisy	18,15	0,92474	0	19,63	BE
HECg3	Rivière aux Herbes	Choisy	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
HECg4	Rivière aux Herbes	Choisy	19,02	0,96889	0	19,63	BE
HECg5	Rivière aux Herbes	Choisy	19,31	0,98372	0	19,63	TBE
HECg6	Rivière aux Herbes	Choisy	18,79	0,95741	0	19,63	BE
HECg7	Rivière aux Herbes	Choisy	18,70	0,95279	0	19,63	BE
HEMg1	Rivière aux Herbes	Marché	17,74	0,90363	0	19,63	EM
HEMg2	Rivière aux Herbes	Marché	16,84	0,85777	0	19,63	EM
HEMg3	Rivière aux Herbes	Marché	17,14	0,87323	0	19,63	EM
HEMg4	Rivière aux Herbes	Marché	17,51	0,89217	0	19,63	EM
HEMg5	Rivière aux Herbes	Marché	18,20	0,92733	0	19,63	BE
HEMg7	Rivière aux Herbes	Marché	17,80	0,90675	0	19,63	EM
HEYg1	Rivière aux Herbes	Les Yuccas	16,22	0,82637	0	19,63	EM
HEYg2	Rivière aux Herbes	Les Yuccas	16,90	0,86107	0	19,63	EM
HEYg3	Rivière aux Herbes	Les Yuccas	16,64	0,84772	0	19,63	EM
HEYg4	Rivière aux Herbes	Les Yuccas	16,84	0,85807	0	19,63	EM
HEYg5	Rivière aux Herbes	Les Yuccas	16,84	0,85794	0	19,63	EM
LEDg1	Rivière Lézarde aval	Par la section Diane	19,07	0,97123	0	19,63	BE
LEDg2	Rivière Lézarde aval	Par la section Diane	19,21	0,97880	0	19,63	TBE
LEDg3	Rivière Lézarde aval	Par la section Diane	19,51	0,99392	0	19,63	TBE
LEDg4	Rivière Lézarde aval	Par la section Diane	19,59	0,99780	0	19,63	TBE
LEDg5	Rivière Lézarde aval	Par la section Diane	19,18	0,97727	0	19,63	TBE
LEDg6	Rivière Lézarde aval	Par la section Diane	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LEDg7	Rivière Lézarde aval	Par la section Diane	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LEJm7	Lézarde	Habitation Jonction	19,67	1,00209	0	19,63	TBE
LEPm0	Lézarde	Pont RN1	19,26	0,98106	0	19,63	TBE
LEPm1	Lézarde	Pont RN1	18,82	0,95863	0	19,63	BE
LEPm2	Lézarde	Pont RN1	16,79	0,85554	0	19,63	EM
LEPm3	Lézarde	Pont RN1	18,58	0,94667	0	19,63	BE
LEPm4	Lézarde	Pont RN1	18,75	0,95527	0	19,63	BE
LEPm6	Lézarde	Pont RN1	17,93	0,91343	0	19,63	EM
LEPm7	Lézarde	Pont RN1	16,29	0,82999	0	19,63	EM
LOPm0	Lorrain	Amont Pirogue	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LOPm1	Lorrain	Amont Pirogue	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LOPm2	Lorrain	Amont Pirogue	19,68	1,00266	0	19,63	TBE
LOPm3	Lorrain	Amont Pirogue	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LOPm4	Lorrain	Amont Pirogue	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LOPm6	Lorrain	Amont Pirogue	19,07	0,97137	0	19,63	BE
LOPm7	Lorrain	Amont Pirogue	19,63	0,99989	0	19,63	TBE
LORm0	Lorrain	Trace des Jésuites	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LORm1	Lorrain	Trace des Jésuites	19,12	0,97390	0	19,63	BE
LORm2	Lorrain	Trace des Jésuites	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LORm3	Lorrain	Trace des Jésuites	19,67	1,00185	0	19,63	TBE
LORm4	Lorrain	Trace des Jésuites	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LORm6	Lorrain	Trace des Jésuites	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LORm7	Lorrain	Trace des Jésuites	19,63	1,00010	0	19,63	TBE
LOSm0	Lorrain	Seguineau - Amt pont RN1	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LOSm1	Lorrain	Seguineau - Amt pont RN1	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LOSm2	Lorrain	Seguineau - Amt pont RN1	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
LOSm3	Lorrain	Seguineau - Amt pont RN1	19,48	0,99241	0	19,63	TBE
LOSm4	Lorrain	Seguineau - Amt pont RN1	18,74	0,95475	0	19,63	BE
LOSm6	Lorrain	Seguineau - Amt pont RN1	19,76	1,00643	0	19,63	TBE
LOSm7	Lorrain	Seguineau - Amt pont RN1	19,38	0,98736	0	19,63	TBE

## Annexe 6 - 7 (Partie A : Zone Volcan, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
L0Tm1	Longvilliers	Station service Total	16,45	0,83775	0	19,63	EM
L0Tm2	Longvilliers	Station service Total	17,00	0,86602	0	19,63	EM
L0Tm3	Longvilliers	Station service Total	15,55	0,79227	0	19,63	EM
L0Tm4	Longvilliers	Station service Total	17,15	0,87385	0	19,63	EM
LTDm1	La Tracée	Denel (confiture+jus de fruits)	18,18	0,92635	0	19,63	BE
LTDm2	La Tracée	Denel (confiture+jus de fruits)	19,44	0,99035	0	19,63	TBE
LTDm3	La Tracée	Denel (confiture+jus de fruits)	18,32	0,93320	0	19,63	BE
LTDm4	La Tracée	Denel (confiture+jus de fruits)	18,94	0,96471	0	19,63	BE
LTSm1	La Tracée	STEP Gros Morne 2	12,70	0,64675	0	19,63	EM
LTSm2	La Tracée	STEP Gros Morne 2	16,59	0,84525	0	19,63	EM
LTSm3	La Tracée	STEP Gros Morne 2	15,51	0,79020	0	19,63	EM
LTSm4	La Tracée	STEP Gros Morne 2	17,44	0,88833	0	19,63	EM
MACm0	Rre Madame	Pont de chaîne	16,78	0,85476	0	19,63	EM
MACm1	Rre Madame	Pont de chaîne	17,87	0,91059	0	19,63	EM
MACm2	Rre Madame	Pont de chaîne	17,45	0,88916	0	19,63	EM
MACm3	Rre Madame	Pont de chaîne	18,38	0,93641	0	19,63	BE
MACm4	Rre Madame	Pont de chaîne	16,66	0,84865	0	19,63	EM
MACm6	Rre Madame	Pont de chaîne	15,45	0,78709	0	19,63	EM
MACm7	Rre Madame	Pont de chaîne	15,12	0,77001	0	19,63	EM
MOEm7	Rre Monsieur	Patronnage de l'Espérance	17,16	0,87432	0	19,63	EM
MOLm7	Rre Monsieur	Fond Latreille	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
MOMm0	Rre Monsieur	Pont Mongérald	14,81	0,75423	0	19,63	EM
MOMm1	Rre Monsieur	Pont Mongérald	15,26	0,77714	0	19,63	EM
MOMm2	Rre Monsieur	Pont Mongérald	17,08	0,86991	0	19,63	EM
MOMm3	Rre Monsieur	Pont Mongérald	17,91	0,91246	0	19,63	EM
MOMm4	Rre Monsieur	Pont Mongérald	16,47	0,83879	0	19,63	EM
MOMm6	Rre Monsieur	Pont Mongérald	16,45	0,83811	0	19,63	EM
MOMm7	Rre Monsieur	Pont Mongérald	15,50	0,78961	0	19,63	EM
MPDg1	Rre Moustique Petit-Bourg	Duquerry	18,92	0,96390	0	19,63	BE
MPDg2	Rre Moustique Petit-Bourg	Duquerry	18,45	0,94012	0	19,63	BE
MPDg3	Rre Moustique Petit-Bourg	Duquerry	19,02	0,96905	0	19,63	BE
MPDg4	Rre Moustique Petit-Bourg	Duquerry	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
MPDg5	Rre Moustique Petit-Bourg	Duquerry	19,47	0,99185	0	19,63	TBE
MPPg1	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont RN1	18,51	0,94270	0	19,63	BE
MPPg2	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont RN1	18,04	0,91922	0	19,63	BE
MPPg3	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont RN1	18,17	0,92538	0	19,63	BE
MPPg4	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont RN1	18,87	0,96111	0	19,63	BE
MPPg5	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont RN1	18,62	0,94874	0	19,63	BE
MPPg6	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont RD	19,25	0,98077	0	19,63	TBE
MPPg7	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont RD	19,35	0,98577	0	19,63	TBE
MPSg2	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont D33	17,30	0,88141	0	19,63	EM
MPSg3	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont D33	18,86	0,96056	0	19,63	BE
MPSg4	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont D33	18,87	0,96132	0	19,63	BE
MPSg5	Rre Moustique Petit-Bourg	Pont D33	18,43	0,93901	0	19,63	BE
MPTg1	Rre Moustique Petit-Bourg	Trianon	18,30	0,93232	0	19,63	BE
MPTg2	Rre Moustique Petit-Bourg	Trianon	19,60	0,99865	0	19,63	TBE
MPTg3	Rre Moustique Petit-Bourg	Trianon	19,37	0,98666	0	19,63	TBE
MPTg4	Rre Moustique Petit-Bourg	Trianon	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
MPTg5	Rre Moustique Petit-Bourg	Trianon	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
MPTg6	Rre Moustique Petit-Bourg	Trianon	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
MPTg7	Rre Moustique Petit-Bourg	Trianon	20,00	1,01885	0	19,63	TBE

## Annexe 6 - 8 (Partie A : Zone Volcan, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
MSAg1	Rre Moustique Ste Rose aval	Amont embouchure	19,40	0,98808	0	19,63	TBE
MSAg2	Rre Moustique Ste Rose aval	Amont embouchure	19,45	0,99098	0	19,63	TBE
MSAg3	Rre Moustique Ste Rose aval	Amont embouchure	19,12	0,97380	0	19,63	BE
MSAg4	Rre Moustique Ste Rose aval	Amont embouchure	19,31	0,98371	0	19,63	TBE
MSAg5	Rre Moustique Ste Rose aval	Amont embouchure	19,39	0,98780	0	19,63	TBE
MSDg1	Rre Moustique Ste Rose aval	Débauchée	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
MSDg2	Rre Moustique Ste Rose aval	Débauchée	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
MSDg3	Rre Moustique Ste Rose aval	Débauchée	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
MSDg4	Rre Moustique Ste Rose aval	Débauchée	19,25	0,98056	0	19,63	TBE
MSDg5	Rre Moustique Ste Rose aval	Débauchée	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
NOAg1	Rivière Nogent aval	Pont RN2	19,42	0,98953	0	19,63	TBE
NOAg2	Rivière Nogent aval	Pont RN2	18,93	0,96413	0	19,63	BE
NOAg3	Rivière Nogent aval	Pont RN2	18,13	0,92376	0	19,63	BE
NOAg4	Rivière Nogent aval	Pont RN2	17,46	0,88932	0	19,63	EM
NOAg5	Rivière Nogent aval	Pont RN2	19,43	0,98961	0	19,63	TBE
NOAg6	Rivière Nogent aval	Pont RN	18,84	0,95973	0	19,63	BE
NOAg7	Rivière Nogent	Pont RN	18,88	0,96174	0	19,63	BE
OHPg1	Ravine de Onze Heure	Petit-Bourg	6,78	0,34559	0	19,63	ME
OHPg2	Ravine de Onze Heure	Petit-Bourg	4,37	0,22270	0	19,63	TME
OHPg3	Ravine de Onze Heure	Petit-Bourg	7,21	0,36747	0	19,63	ME
OHPg4	Ravine de Onze Heure	Petit-Bourg	5,34	0,27184	0	19,63	TME
OHPg5	Ravine de Onze Heure	Petit-Bourg	8,20	0,41787	0	19,63	ME
PALm0	Lézarde	Palourde Lézarde	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PALm1	Lézarde	Palourde Lézarde	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PALm2	Lézarde	Palourde Lézarde	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PALm3	Lézarde	Palourde Lézarde	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PALm4	Lézarde	Palourde Lézarde	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PALm6	Lézarde	Palourde Lézarde	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PALm7	Lézarde	Palourde Lézarde	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PBSg1	Rivière du Premier Bras	Severin	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PBSg2	Rivière du Premier Bras	Severin	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PBSg3	Rivière du Premier Bras	Severin	19,69	1,00321	0	19,63	TBE
PBSg4	Rivière du Premier Bras	Severin	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PBSg5	Rivière du Premier Bras	Severin	19,62	0,99925	0	19,63	TBE
PBSg6	Rivière du Premier Bras	Amt Séverin	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
PBSg7	Rivière du Premier Bras	Amt Séverin	19,40	0,98853	0	19,63	TBE
PEEg1	Rivière des Pères	Amt embouchure	19,08	0,97187	0	19,63	BE
PEEg2	Rivière des Pères	Amt embouchure	19,15	0,97566	0	19,63	TBE
PEEg3	Rivière des Pères	Amt embouchure	18,51	0,94284	0	19,63	BE
PEEg4	Rivière des Pères	Amt embouchure	19,36	0,98626	0	19,63	TBE
PEEg5	Rivière des Pères	Amt embouchure	18,24	0,92911	0	19,63	BE
PEEg6	Rivière des Pères	Pont RN	19,35	0,98562	0	19,63	TBE
PEEg7	Rivière des Pères	Pont RN	19,06	0,97120	0	19,63	BE
PEPg1	Rivière du Pérou	Petit Pérou	16,36	0,83356	0	19,63	EM
PEPg2	Rivière du Pérou	Petit Pérou	19,60	0,99829	0	19,63	TBE
PEPg3	Rivière du Pérou	Petit Pérou	13,90	0,70791	0	19,63	EM
PEPg4	Rivière du Pérou	Petit Pérou	9,75	0,49668	0	19,63	ME
PEPg5	Rivière du Pérou	Petit Pérou	17,39	0,88594	0	19,63	EM
PGGg1	Petite Rivière à Goyave	Pont D33	16,49	0,84023	0	19,63	EM
PGGg2	Petite Rivière à Goyave	Pont D33	16,26	0,82809	0	19,63	EM
PGGg3	Petite Rivière à Goyave	Pont D33	16,46	0,83866	0	19,63	EM
PGGg4	Petite Rivière à Goyave	Pont D33	15,03	0,76572	0	19,63	EM
PGGg5	Petite Rivière à Goyave	Pont D33	16,84	0,85796	0	19,63	EM

## Annexe 6 - 9 (Partie A : Zone Volcan, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
PGPg1	Petite Rivière à Goyave	Pont RN1	17,87	0,91020	0	19,63	EM
PGPg2	Petite Rivière à Goyave	Pont RN1	18,84	0,95960	0	19,63	BE
PGPg3	Petite Rivière à Goyave	Pont RN1	19,39	0,98783	0	19,63	TBE
PGPg4	Petite Rivière à Goyave	Pont RN1	18,62	0,94869	0	19,63	BE
PGPg5	Petite Rivière à Goyave	Pont RN1	18,80	0,95763	0	19,63	BE
PLBm0	Petite Lézarde	Pont Belle Île	19,69	1,00328	0	19,63	TBE
PLBm1	Petite Lézarde	Pont Belle Île	17,89	0,91142	0	19,63	EM
PLBm2	Petite Lézarde	Pont Belle Île	18,04	0,91905	0	19,63	BE
PLBm3	Petite Lézarde	Pont Belle Île	18,75	0,95492	0	19,63	BE
PLBm4	Petite Lézarde	Pont Belle Île	18,90	0,96298	0	19,63	BE
PLBm6	Petite Lézarde	Pont Belle Île	18,24	0,92924	0	19,63	BE
PLBm7	Petite Lézarde	Pont Belle Île	19,16	0,97624	0	19,63	TBE
PLPg1	Rivière du Plessis	Pont RN2	16,87	0,85917	0	19,63	EM
PLPg2	Rivière du Plessis	Pont RN2	15,44	0,78670	0	19,63	EM
PLPg3	Rivière du Plessis	Pont RN2	17,31	0,88167	0	19,63	EM
PLPg4	Rivière du Plessis	Pont RN2	18,27	0,93095	0	19,63	BE
PLPg5	Rivière du Plessis	Pont RN2	17,66	0,89967	0	19,63	EM
PLVg1	Rivière du Plessis	Vanibel	18,55	0,94502	0	19,63	BE
PLVg2	Rivière du Plessis	Vanibel	18,30	0,93241	0	19,63	BE
PLVg3	Rivière du Plessis	Vanibel	18,20	0,92731	0	19,63	BE
PLVg4	Rivière du Plessis	Vanibel	18,96	0,96596	0	19,63	BE
PLVg5	Rivière du Plessis	Vanibel	18,84	0,95956	0	19,63	BE
PLVg6	Rivière du Plessis	Vanibel	18,29	0,93193	0	19,63	BE
PLVg7	Rivière du Plessis	Vanibel	19,65	1,00076	0	19,63	TBE
PORm1	Pocquet	Pont RN1	18,20	0,92727	0	19,63	BE
PORm2	Pocquet	Pont RN1	17,69	0,90118	0	19,63	EM
PORm3	Pocquet	Pont RN1	17,66	0,89943	0	19,63	EM
PORm4	Pocquet	Pont RN1	17,94	0,91416	0	19,63	EM
PPCg2	Rivière Petite Plaine	Confitererie	18,60	0,94761	0	19,63	BE
PPCg3	Rivière Petite Plaine	Confitererie	17,72	0,90258	0	19,63	EM
PPCg4	Rivière Petite Plaine	Confitererie	18,89	0,96206	0	19,63	BE
PPCg5	Rivière Petite Plaine	Confitererie	19,61	0,99912	0	19,63	TBE
PPGg1	Rivière Petite Plaine	Gué	18,97	0,96659	0	19,63	BE
PPGg2	Rivière Petite Plaine	Gué	18,04	0,91881	0	19,63	BE
PPGg3	Rivière Petite Plaine	Gué	18,50	0,94263	0	19,63	BE
PPGg4	Rivière Petite Plaine	Gué	18,02	0,91774	0	19,63	BE
PPGg5	Rivière Petite Plaine	Gué	18,25	0,92983	0	19,63	BE
RBAG1	Ravine Bleue	Aval élevage ouassous	13,64	0,69509	0	19,63	EM
RBAG2	Ravine Bleue	Aval élevage ouassous	13,38	0,68182	0	19,63	EM
RBAG3	Ravine Bleue	Aval élevage ouassous	17,16	0,87423	0	19,63	EM
RBAG4	Ravine Bleue	Aval élevage ouassous	14,45	0,73630	0	19,63	EM
RBAG5	Ravine Bleue	Aval élevage ouassous	15,40	0,78459	0	19,63	EM
RODm2	Roxelane	Distillerie Depaz	12,17	0,61975	0	19,63	EM
RODm4	Roxelane	Distillerie Depaz	17,42	0,88754	0	19,63	EM
ROJg1	Rivière La Rose	Jardin d'eau	19,48	0,99217	0	19,63	TBE
ROJg2	Rivière La Rose	Jardin d'eau	19,72	1,00462	0	19,63	TBE
ROJg3	Rivière La Rose	Jardin d'eau	18,95	0,96529	0	19,63	BE
ROJg4	Rivière La Rose	Jardin d'eau	19,16	0,97604	0	19,63	TBE
ROJg5	Rivière La Rose	Jardin d'eau	18,99	0,96722	0	19,63	BE
ROJg6	Rivière La Rose	Jardin d'eau	18,98	0,96714	0	19,63	BE
ROJg7	Rivière La Rose	Jardin d'eau	19,67	1,00218	0	19,63	TBE



## Annexe 6 - 10 (Partie A : Zone Volcan, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
ROMg1	Rivière Rouge	Matouba	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
ROMg2	Rivière Rouge	Matouba	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
ROMg3	Rivière Rouge	Matouba	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
ROMg4	Rivière Rouge	Matouba	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
ROMg5	Rivière Rouge	Matouba	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
RORm1	Rouge	Pont RN1	18,66	0,95053	0	19,63	BE
RORm2	Rouge	Pont RN1	18,73	0,95431	0	19,63	BE
RORm3	Rouge	Pont RN1	18,39	0,93680	0	19,63	BE
RORm4	Rouge	Pont RN1	18,83	0,95931	0	19,63	BE
ROSm0	Roxelane	Ancien Pont	16,95	0,86369	0	19,63	EM
ROSm1	Roxelane	Ancien Pont	17,85	0,90950	0	19,63	EM
ROSm2	Roxelane	Ancien Pont	14,73	0,75021	0	19,63	EM
ROSm3	Roxelane	Ancien Pont	17,60	0,89678	0	19,63	EM
ROSm4	Roxelane	Ancien Pont	17,36	0,88421	0	19,63	EM
ROSm6	Roxelane	Ancien Pont	16,70	0,85098	0	19,63	EM
ROSm7	Roxelane	Ancien Pont	15,84	0,80680	0	19,63	EM
ROZm7	Roxelane	Depaz	18,10	0,92206	0	19,63	BE
SAEg1	Rivière Salée	Espérance	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
SAEg2	Rivière Salée	Espérance	19,33	0,98478	0	19,63	TBE
SAEg3	Rivière Salée	Espérance	19,37	0,98690	0	19,63	TBE
SAEg4	Rivière Salée	Espérance	19,50	0,99361	0	19,63	TBE
SAEg5	Rivière Salée	Espérance	19,73	1,00530	0	19,63	TBE
SAPg2	Rivière Sarcelle	Aval pont D33	17,86	0,90979	0	19,63	EM
SEBg1	Rivière Sens	Bisdary	19,07	0,97170	0	19,63	BE
SEBg2	Rivière Sens	Bisdary	16,13	0,82152	0	19,63	EM
SEBg3	Rivière Sens	Bisdary	19,05	0,97050	0	19,63	BE
SEBg4	Rivière Sens	Bisdary	18,69	0,95205	0	19,63	BE
SEBg5	Rivière Sens	Bisdary	18,33	0,93394	0	19,63	BE
SEBg8	Rivière Sens	Aval	17,41	0,88686	0	19,63	EM
SEMg8	Rivière Sens	Amont	17,70	0,90169	0	19,63	EM
SJFm1	Fond St Jacques	Musée	18,39	0,93678	0	19,63	BE
SJFm2	Fond St Jacques	Musée	18,40	0,93733	0	19,63	BE
SJFm3	Fond St Jacques	Musée	18,45	0,94009	0	19,63	BE
SJFm4	Fond St Jacques	Musée	19,15	0,97560	0	19,63	TBE
SNMg1	Ravine St Nicolas	Montebello	19,46	0,99141	0	19,63	TBE
VHEg1	Gde Rivière Vieux-Habitants aval	Amt embouchure	19,24	0,98018	0	19,63	TBE
VHEg2	Gde Rivière Vieux-Habitants aval	Amt embouchure	19,70	1,00358	0	19,63	TBE
VHEg3	Gde Rivière Vieux-Habitants aval	Amt embouchure	18,25	0,92969	0	19,63	BE
VHEg4	Gde Rivière Vieux-Habitants aval	Amt embouchure	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
VHEg5	Gde Rivière Vieux-Habitants aval	Amt embouchure	18,86	0,96070	0	19,63	BE
VHEg6	Gde Rivière Vieux-Habitants aval	Amt embouchure	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
VHEg7	Gde Rivière Vieux-Habitants aval	Amt embouchure	19,18	0,97685	0	19,63	TBE
VHGg1	Gde Rivière Vieux-Habitants amt	Amont du gué	19,65	1,00117	0	19,63	TBE
VHGg2	Gde Rivière Vieux-Habitants amt	Amont du gué	19,37	0,98664	0	19,63	TBE
VHGg3	Gde Rivière Vieux-Habitants amt	Amont du gué	18,89	0,96254	0	19,63	BE
VHGg4	Gde Rivière Vieux-Habitants amt	Amont du gué	18,91	0,96338	0	19,63	BE
VHGg5	Gde Rivière Vieux-Habitants amt	Amont du gué	20,00	1,01885	0	19,63	TBE
VHGg6	Gde Rivière Vieux-Habitants amt	Prise d'eau	19,65	1,00118	0	19,63	TBE
VHGg7	Gde Rivière Vieux-Habitants amt	Prise d'eau	19,39	0,98769	0	19,63	TBE

## Annexe 6 - 11 (Partie A : Zone Volcan, fin)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	Notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
XBAg5	Ravine Grand Boucan	Aval éloigné STEP	18,20	0,92728	0	19,63	BE
XBMg5	Ravine Grand Boucan	Amont STEP	19,33	0,98450	0	19,63	TBE
XHYg5	Rejet STEP les Yuccas	Rejet direct	15,38	0,78339	0	19,63	EM
XPCg5	Rejet Confiturerie	Rejet direct	19,18	0,97721	0	19,63	TBE
XRAg5	Ravine aux Avocats	Choisy	18,18	0,92596	0	19,63	BE
XRAg7	Ravine aux Avocats	Aval	17,90	0,91172	0	19,63	EM
XRAg8	Ravine aux Avocats	Aval	18,67	0,95106	0	19,63	BE
XRMg7	Ravine aux Avocats	Amont	19,58	0,99750	0	19,63	TBE
XRMg8	Ravine aux Avocats	Amont	19,09	0,97231	0	19,63	BE
XSGg5	Rejet STEP Goyave	Rejet direct	10,91	0,55571	0	19,63	ME
XSIg5	Rejet Bassin CSDND	Sortie de tuyau	19,24	0,98002	0	19,63	TBE
XSPg5	Rejet STEP Pérou	Rejet direct	12,32	0,62739	0	19,63	EM
XVHg5	Afflt Gde RivièreVieux-Habitants	Amont du gué	19,33	0,98477	0	19,63	TBE



## Annexe 6 - 12 : Etat Ecologique au relevé

### B) Zone naturelle "Plaine"

Grille d'Evaluation Volcan, Scénario (15)-5-1 OPT (EQR BE-EM = 0,915)				
Etat	seuils	effectifs	Calcul borne EQR	Seuils EQRs
TBE	19,139 ; 20,00	227	0,9750	0,975 ; Val. Max (1,019)
BE	17,961 ; <19,139	154	0,9150	0,915 ; <0,975
EM	11,778 ; <17,961	114	0,6000	0,60 ; < 0,915
ME	6,674 ; <11,778	9	0,3400	0,34 ; <0,60
TME	0 ; <6,674	3	0,0000	0,00 ; < 0,34
<b>Total</b>		<b>507</b>		
<b>Relevés</b>				
<b>Total Volcan</b>		<b>507</b>		
<b>Total &lt; BE</b>		<b>126</b>	<b>Soit :</b>	<b>24,85%</b>

### Tableaux d'Etat au relevé, Zone naturelle "Plaine"

(Tableaux classés par ordre alphabétique et chronologique de code relevé)

Scénario Plaine-20-3-1 Optimisé (EQR BE-EM = 0,80)							
Code relevé	Cours d'eau	Nom station	notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
BAMm7	Srce Fond Bambou	NA	18,48	1,02670	0	18,0	TBE
BAMm8	Srce Fond Bambou	NA	18,40	1,02203	0	18,0	TBE
BAUm7a	Srce Morne Escarpé-Baudelle	NA	18,67	1,03744	0	18,0	TBE
BAUm7b	Srce Morne Escarpé-Baudelle	NA	19,08	1,05989	0	18,0	TBE
BAUm8	Srce Morne Escarpé-Baudelle	NA	19,36	1,07570	0	18,0	TBE
CDSm1	Canal de Ducos	STEP Ducos 1	8,96	0,49772	0	18,0	ME
CDSm2	Canal de Ducos	STEP Ducos 1	0,26	0,01454	0	18,0	TME
CDSm3	Canal de Ducos	STEP Ducos 1	8,24	0,45781	0	18,0	ME
CDSm4	Canal de Ducos	STEP Ducos 1	10,92	0,60668	0	18,0	ME
COPm0	Coulisses	Petit Bourg	13,50	0,74984	0	18,0	EM
COPm1	Coulisses	Petit Bourg	11,81	0,65609	0	18,0	EM
COPm2	Coulisses	Petit Bourg	13,63	0,75735	0	18,0	EM
COPm3	Coulisses	Petit Bourg	13,89	0,77193	0	18,0	EM
COPm4	Coulisses	Petit Bourg	13,59	0,75474	0	18,0	EM
COPm6	Coulisses	Petit Bourg	13,02	0,72312	0	18,0	EM
COPm7	Coulisses	Petit Bourg	14,38	0,79871	0	18,0	EM
COSm7	Rivière de Coulisses	Parcours sportif	15,16	0,84221	0	18,0	BE
DAMm7a	Source Les Dames	NA	19,02	1,05654	0	18,0	TBE
DAMm7b	Source Les Dames	NA	19,36	1,07554	0	18,0	TBE
DAMm8	Source Les Dames	NA	18,63	1,03503	0	18,0	TBE
DCAm1	Deux Courants	Abattoir volailles	10,75	0,59722	0	18,0	ME
DCAm2	Deux Courants	Abattoir volailles	8,35	0,46395	0	18,0	ME
DCAm3	Deux Courants	Abattoir volailles	1,99	0,11044	0	18,0	TME
DCAm4	Deux Courants	Abattoir volailles	13,72	0,76225	0	18,0	EM

## Annexe 6 – 13 (Partie B : Zone Plaine, suite)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
DCSm1	Deux Courants	Pont Seraphin	10,57	0,58740	0	18,0	ME
DCSm2	Deux Courants	Pont Seraphin	10,84	0,60207	0	18,0	ME
DCSm3	Deux Courants	Pont Seraphin	12,63	0,70185	0	18,0	EM
DCSm4	Deux Courants	Pont Seraphin	12,16	0,67578	0	18,0	EM
DCSm6	Deux Courants	Pont Seraphin	12,64	0,70195	0	18,0	EM
DCSm7bis	Deux Courants	Pont RN3	13,99	0,77713	0	18,0	EM
DESm1	Desroses	Quartier Desroses	20,00	1,11111	0	18,0	TBE
DESm2	Desroses	Quartier Desroses	19,25	1,06968	0	18,0	TBE
DESm3	Desroses	Quartier Desroses	20,00	1,11111	0	18,0	TBE
DESm4	Desroses	Quartier Desroses	18,94	1,05224	0	18,0	TBE
DESm7	Desroses	Habitation Trianon	15,09	0,83856	0	18,0	BE
DOAm7	Source Dos d'Ane	NA	17,37	0,96478	0	18,0	TBE
FHSm1	Ravine	STEP Ste Luce 2	6,64	0,36897	0	18,0	TME
FHSm2	Ravine	STEP Ste Luce 2	4,63	0,25711	0	18,0	TME
FHSm3	Ravine	STEP Ste Luce 2	6,20	0,34425	0	18,0	TME
FHSm4	Ravine	STEP Ste Luce 2	8,37	0,46522	0	18,0	ME
GCSm1	Grand Case	STEP Vauclin 2	14,19	0,78833	0	18,0	EM
GCSm2	Grand Case	STEP Vauclin 2	14,23	0,79039	0	18,0	EM
GCSm3	Grand Case	STEP Vauclin 2	6,66	0,36996	0	18,0	TME
GCSm4	Grand Case	STEP Vauclin 2	13,05	0,72507	0	18,0	EM
LEGm0	Lézarde	Gué de la Désirade	20,00	1,11111	0	18,0	TBE
LEGm1	Lézarde	Gué de la Désirade	16,96	0,94237	0	18,0	TBE
LEGm2	Lézarde	Gué de la Désirade	18,80	1,04432	0	18,0	TBE
LEGm3	Lézarde	Gué de la Désirade	20,00	1,11111	0	18,0	TBE
LEGm4	Lézarde	Gué de la Désirade	18,40	1,02237	0	18,0	TBE
LEGm6	Lézarde	Gué de la Désirade	17,70	0,98331	0	18,0	TBE
LEGm7	Lézarde	Gué de la Désirade	17,68	0,98200	0	18,0	TBE
OMDm0	Oman	Dormante	18,53	1,02954	0	18,0	TBE
OMDm1	Oman	Dormante	16,56	0,92020	0	18,0	BE
OMDm2	Oman	Dormante	17,49	0,97181	0	18,0	TBE
OMDm3	Oman	Dormante	18,00	0,99973	0	18,0	TBE
OMDm4	Oman	Dormante	15,84	0,88026	0	18,0	BE
OMDm6	Oman	Dormante	17,37	0,96521	0	18,0	TBE
OMDm7	Oman	Dormante	17,25	0,95815	0	18,0	TBE
PAQm2	Paquemar	Paquemar	20,00	1,11111	0	18,0	TBE
PAQm3	Paquemar	Paquemar	17,27	0,95964	0	18,0	TBE
PAQm4	Paquemar	Paquemar	14,84	0,82463	0	18,0	BE
PIAm6	Pilote	Amont bourg	14,55	0,80828	0	18,0	BE
PIAm7	Pilote	Amont bourg	16,17	0,89825	0	18,0	BE
PIBm0	Pilote	Aval bourg	9,88	0,54902	0	18,0	ME
PIBm1	Pilote	Aval bourg	6,02	0,33464	0	18,0	TME
PIBm2	Pilote	Aval bourg	6,04	0,33566	0	18,0	TME
PIBm3	Pilote	Aval bourg	14,29	0,79392	0	18,0	EM
PIBm4	Pilote	Aval bourg	13,37	0,74292	0	18,0	EM
PILm0	Pilote	Beauregard	20,00	1,11111	0	18,0	TBE
PILm1	Pilote	Beauregard	18,68	1,03750	0	18,0	TBE

## Annexe 6 - 14 (Partie B : Zone Plaine, fin)

Code relevé	Cours d'eau	Nom station	notes	EQR	Note min HER	Note REF	Etat au relevé
PILm2	Pilote	Beauregard	16,22	0,90100	0	18,0	BE
PILm3	Pilote	Beauregard	16,13	0,89596	0	18,0	BE
PILm4	Pilote	Beauregard	18,18	1,00975	0	18,0	TBE
PILm6	Pilote	Beauregard	18,46	1,02573	0	18,0	TBE
PILm7	Pilote	Beauregard	18,23	1,01256	0	18,0	TBE
PIMm6	Petite Pilote	Pont Madeleine	16,14	0,89668	0	18,0	BE
PIMm7	Petite Pilote	Pont Madeleine	14,71	0,81750	0	18,0	BE
PPMm1	Petite Pilote	Distillerie La Mauny	18,45	1,02484	0	18,0	TBE
PPMm2	Petite Pilote	Distillerie La Mauny	15,21	0,84480	0	18,0	BE
PPMm3	Petite Pilote	Distillerie La Mauny	19,19	1,06637	0	18,0	TBE
PPMm4	Petite Pilote	Distillerie La Mauny	15,62	0,86801	0	18,0	BE
PRBm0	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	17,39	0,96620	0	18,0	TBE
PRBm1	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	16,37	0,90938	0	18,0	BE
PRBm2	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	17,05	0,94716	0	18,0	TBE
PRBm3	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	15,99	0,88852	0	18,0	BE
PRBm4	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	14,76	0,81980	0	18,0	BE
PRBm6	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	17,19	0,95523	0	18,0	TBE
PRBm7	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	16,04	0,89137	0	18,0	BE
SIFm1	Simon	Fontane	12,00	0,66642	0	18,0	EM
SIFm2	Simon	Fontane	16,62	0,92316	0	18,0	BE
SIFm3	Simon	Fontane	16,65	0,92485	0	18,0	BE
SIFm4	Simon	Fontane	18,26	1,01470	0	18,0	TBE
VAUm0	Vauclin	La Broue	20,00	1,11111	0	18,0	TBE
VAUm1	Vauclin	La Broue	17,22	0,95645	0	18,0	TBE
VAUm2	Vauclin	La Broue	17,43	0,96826	0	18,0	TBE
VAUm3	Vauclin	La Broue	17,55	0,97485	0	18,0	TBE
VAUm4	Vauclin	La Broue	14,63	0,81278	0	18,0	BE
VAUm6	Vauclin	La Broue	17,18	0,95419	0	18,0	TBE
VAUm7	Vauclin	La Broue	17,22	0,95688	0	18,0	TBE
VERm8	La Vermeille	NA	18,71	1,03947	0	18,0	TBE







## Résumé :

Dans le contexte biogéographique particulier des Antilles, qui comporte de nombreuses espèces de diatomées tropicales inconnues en métropole, aucune méthode de bio-indication diatomique pré-existante ne s'est avérée fiable pour diagnostiquer l'état écologique des cours d'eau. Afin de pouvoir mettre en œuvre la DCE, qui doit aussi s'appliquer dans les DOM français, les services gestionnaires de Martinique et de Guadeloupe (Offices de l'Eau, DEALs) appuyés par l'ONEMA ont lancé en 2009 un premier programme de recherche-transfert de 3 à 4 ans destiné à repérer et identifier les flores diatomiques de chaque île, à étudier leur écologie et à mettre en place un nouvel indice diatomique spécifique utilisable ensuite pour diagnostiquer l'état écologique dans le cadre des réseaux de surveillance de routine. Ce programme initial, pris en charge par le consortium ASCONIT-IRSTEA, a abouti à une première version d'IDA (Indice Diatomique des Antilles) restituée via un rapport final (Version Finale du 14-10-2013). Suite au constat de quelques défauts de jeunesse et à la réalisation de campagnes complémentaires d'échantillonnage en 2012 et 2013, il a été prospecté en tout, au cours de **8 campagnes saisonnières de prélèvement**, un total de **130 stations** réparties de façon presque égale sur les deux îles. Ces campagnes ont visé à la réalisation d'échantillonnages et mesures de terrain permettant de recueillir, de façon couplée, plus d'une trentaine de descripteurs abiotiques (dont il a pu être tiré un référentiel complet portant sur **25 descripteurs physico-chimiques**, utilisé ensuite pour les analyses de données), ainsi que des prélèvements biologiques de biofilms représentatifs de l'état des stations. Parmi eux, **607 relevés complets ont été pleinement exploitables**. Au total, **512 taxons diatomiques différents** ont pu être identifiés et dénombrés au niveau spécifique, et ont donc été pris en compte dans les comptages. Une analyse exploratoire réalisée à partir d'une technique neuronale non supervisée (SOM), réalisée et commentée dans le premier rapport, a permis de dégager une typologie des assemblages naturels et de ceux structurés par les principaux types d'altérations rencontrés aux Antilles qui a à nouveau servi pour soutenir certains aspects de la présente démarche (autoécologie des taxons, biotypologie, regroupements d'HERs en ensembles naturels de plus grande taille ...). Des techniques multivariées classiques (ACP, ACC) ont permis d'explicitier la structuration des gradients abiotiques présents et leur correspondance avec la distribution des espèces et la composition des assemblages. L'**IDA-2** (Indice Diatomique des Antilles, version 2) a été construit sur un gradient composite d'anthropisation intégratif de 10 variables abiotiques significativement influencées par les pressions humaines. Un gradient composite multi-métrique d'anthropisation (GCMA) a été divisé en 5 classes de qualité abiotique ensuite utilisées pour décliner les profils écologiques des espèces constitutives. Après seuillage sur l'occurrence et les abondances relatives, 186 taxons ont été suffisamment occurrents et abondants pour qu'il soit possible de leur calculer un profil de qualité écologique. 8 d'entre eux étant mis de côté pour cause d'écologie haline (entrées littorales sur certaines stations aval), **178 taxons** participent au final au calcul de l'indice. **131 taxons qualifiés de « Taxons<sup>+</sup> »** sont des espèces d'eau douce dont la présence ne porte pas spécialement de message relatif à l'altération anthropique. 47 taxons porteurs d'un message gradé d'alerte ont été repérés. L'interprétation de leurs profils a été raffinée par rapport à la démarche IDA-1 et a permis de les répartir en **25 « Taxons<sup>-</sup> »** (écologie centrée sur des altérations anthropiques moyennes) et **22 « Taxons<sup>2-</sup> »** (indicateurs d'altération anthropique forte), qui exercent un poids différent dans la diminution des notes d'indice. Sur le plan du zonage des conditions naturelles, deux grands ensembles regroupés ont été repérés pour décliner une stratégie d'EQRs servant de base à l'évaluation d'état écologique : une zone aux eaux peu minéralisées commune aux parties volcaniques des 2 îles (Zone « Volcan »), et une zone à hydrochimie naturelle fortement minéralisée regroupant la zone des Mornes et la Plaine du Lamentin en Martinique (Zone « Plaine »). Après plusieurs tests, un système d'évaluation au relevé individuel a été calé et validé par expertise. Plusieurs principes d'agrégation temporelle de l'état écologique au site ont ensuite été testés. Celui qui donnerait les résultats les plus consistants sur le plan du classement écologique, introduisant des dérogations ménagées conditionnelles de 25% de profondeur de classe au principe européen dit de « One Out-All Out », n'est pas le système qui a été ensuite retenu pour application future au niveau national (cf nouvel Arrêté « Evaluation » à paraître prochainement). Il faudra donc adapter les grilles proposées dans cet Arrêté, convenables au relevé, pour rendre leur utilisation compatible avec l'évaluation agrégée des sites basée sur la moyenne de 3 relevés individuels annuels. L'IDA-1, qui n'avait pas encore de caractère officiel, ayant été rendu rapidement caduc par l'élaboration du nouvel indice IDA-2, qui a résolu les quelques problèmes de jeunesse rencontrés, on convient à partir de maintenant de simplifier la terminologie en renommant cette dernière version tout simplement **IDA (Indice Diatomique des Antilles)**.