

Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en outre-mer

L'indice diatomique antillais **IDA**



Cette version (juin 2019) sera en test courant 2019 et les ajustements seront intégrés dans une version ultérieure.

Ce document présente la méthode réglementaire d'évaluation biologique de l'état des cours d'eau basée sur les diatomées, dénommée « IDA » (indice diatomique antillais), ainsi que les modalités pratiques de sa mise en œuvre. Ce guide est téléchargeable sur le site de l'AFB (<https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/guides-protocoles>).

Le calcul des valeurs indicielles se fait via un module de calcul en libre accès sur le site : <http://www.seee.eaufrance.fr>

Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en outre-mer

L'indice diatomique antillais **IDA**



E. Lefrançois, A. Eulin, J. Guéguen, M. Coste, F. Delmas, O. Monnier



Auteurs et contributeurs

Coordinateur

Olivier Monnier (olivier.monnier@afbiodiversite.fr), Agence française pour la biodiversité

Auteurs

Estelle Lefrançois (estellelefrancois82@gmail.com), Asconit (actuellement à Eco in'Eau)

Anne Eulin (anne.eulin-garrigue@hydrecolab.com), Asconit (actuellement à Hydreco)

Julie Gueguen (julie.gueguen@irstea.fr), Irstea

Michel Coste (michel.coste@irstea.fr), Irstea

François Delmas (francois.delmas@irstea.fr), Irstea

Olivier Monnier (olivier.monnier@afbiodiversite.fr), Agence française pour la biodiversité

Contributeurs

Cécile Bellot, Stéphanie Couprie, Samuel Dembski et Yorick Reyjol, Agence française pour la biodiversité

Sophie Kanor, Office de l'eau Guadeloupe

Julie Gresser, Office de l'eau Martinique

Sophie Glépin et Vanessa Martin, Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Guadeloupe

Corinne Figueras, Christophe Gillet et Jean-Luc Lefebvre, Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Martinique

Stéphane Lucet et Jean-Pierre Cabaret, ministère de la Transition écologique et solidaire

La rédaction du guide a été réalisée par les partenaires techniques et scientifiques qui ont élaboré la méthode, Irstea et Asconit, sous la coordination de l'Agence française pour la biodiversité. L'Agence française pour la biodiversité, les Offices de l'eau, les Directions de l'environnement, de l'aménagement et du logement et le ministère de la Transition écologique et solidaire ont contribué à la relecture, à la vérification et à l'amélioration du document.

Faites parvenir tout retour critique à cette adresse mail : olivier.monnier@afbiodiversite.fr

Les retours critiques sont vivement encouragés afin d'améliorer ce guide technique dans le futur.



Avant-propos

La bioindication est l'un des dispositifs essentiels du processus d'évaluation de l'état des milieux aquatiques dans le cadre de la directive cadre sur l'eau (DCE). L'Agence française pour la biodiversité (AFB) est responsable du développement et de la validation des méthodes DCE prescrites réglementairement par le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). Les organismes gestionnaires de bassins, les Offices de l'eau, ont quant à eux la charge du déploiement opérationnel de la surveillance de la qualité des milieux aquatiques.

Ce guide témoigne du succès des efforts de coordination entre organismes gestionnaires nationaux et locaux pour orienter et rendre opérationnels les travaux scientifiques. En effet, la collaboration de l'AFB et des Offices de l'eau Guadeloupe et Martinique, a permis de faire naître l'indice diatomique antillais (IDA), puis au terme du programme de R&D qui en a assuré la construction, d'organiser le transfert réglementaire de cet outil.

Pour mener à bien ce travail, Asconit et Irstea ont collaboré de façon étroite et complémentaire, non seulement pour l'important travail d'acquisition et de traitement des données environnementales et biologiques, mais également lors du processus d'expertise de la méthode qui a suivi, conformément au schéma national des données sur l'eau (SNDE). La propriété intellectuelle des acquis de ce travail, qui contribue largement au contenu du présent guide, est donc largement partagée et indissociable.

L'objectif du présent document est de synthétiser de manière didactique toutes les étapes clés de la mise en œuvre de l'indice diatomique antillais (IDA), de l'élaboration du plan d'échantillonnage au calcul de la note indiciaire ou *ecological quality ratio* (EQR), en passant par les méthodes de prélèvement, de préparation du matériel biologique, d'analyse des échantillons et la bancarisation des données d'inventaires.

Destiné aux opérateurs de terrain, gestionnaires et bureaux d'études techniques, ce guide est un outil indispensable pour accompagner et garantir une bonne application de la méthode indiciaire, et ainsi suivre de manière fiable les progrès de la préservation ou de la reconquête du bon état écologique et de la biodiversité des milieux aquatiques antillais.

Il doit permettre à tout prestataire de service apte à la détermination des diatomées benthiques d'appliquer l'IDA aux Antilles. Il accompagnera également les gestionnaires dans la conception de leurs cahiers des charges pour les prestations de mise en œuvre de l'IDA sur le réseau de contrôle et de surveillance (RCS). Cet ouvrage se veut être un outil pratique, mais aussi un document de référence garantissant une mise en œuvre rigoureuse de l'IDA et limitant ainsi les incertitudes de la méthode.



Résumé

L'indice diatomique antillais (IDA) est un outil de bioindication, destiné à l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau des Antilles françaises à partir de la structure de la communauté des diatomées benthiques.

Cet outil a été développé conjointement par Asconit et Irstea, dans le cadre d'un programme de recherche et développement sous la maîtrise d'ouvrage des Offices de l'eau et des Directions de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL) des Antilles et avec le soutien technique et financier de l'Agence française pour la biodiversité (AFB), afin de doter les Antilles d'un outil « DCE-compatible » disponible pour le 2^e plan de gestion DCE (2016-2021 ; European commission 2000, MTES 2018a&b). Réglementairement, l'usage de l'IDA est limité au suivi du réseau de contrôle et de surveillance (RCS).

Le présent guide a pour objet de cadrer la mise en œuvre opérationnelle de l'IDA afin d'obtenir les résultats d'évaluation les plus fiables possible. À chaque étape de l'acquisition des données de surveillance, il convient de respecter le protocole de mise en œuvre de l'indice, de la phase de terrain jusqu'au calcul de la note ou EQR, notamment lors de la conception du plan d'échantillonnage, de sa mise en œuvre, du traitement des échantillons récoltés, de la détermination des espèces et du comptage des unités diatomiques, ainsi que lors du calcul des notes indicelles à partir des inventaires spécifiques. Des incertitudes peuvent être générées à chaque niveau de mise en œuvre du protocole.

Aussi, cet ouvrage a pour but de décrire précisément chacune des étapes clés de la démarche, afin que la mise en œuvre de l'indice soit la plus rigoureuse et reproductible possible. Toutefois, le présent guide ne saurait se substituer à une formation adaptée d'opérateurs qualifiés.

Mots clés

Antilles - Bioindication - Cours d'eau - Diatomées - Directive cadre sur l'eau (DCE) - État écologique - Évaluation - Guadeloupe - Martinique - Réseau de contrôle et de surveillance (RCS) - Surveillance - Qualité



Sigles et abréviations

ACC : analyse canonique des correspondances

ACP : analyse en composantes principales

API : *application programming interface*

BE : bon état

CHCP : classification hiérarchique sur composantes principales

DBO₅ : demande biologique en oxygène sur cinq jours

DCE : directive cadre sur l'eau

DCO : demande chimique en oxygène

DEAL : direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement

EQB : élément de qualité biologique

EQR : *ecological quality ratio*

GCA : gradient composite d'anthropisation

GCMA : gradient composite multimétrique d'anthropisation

HER : hydro-écorégion

IBD : indice biologique diatomées

IDA : indice diatomique antillais

MES : matières en suspension

NKJ : azote Kjeldahl

NO₂ : nitrites

NO₃ : nitrates

O₂ : dioxygène

P. Tot : phosphore total

PO₄ : phosphates

RCS : réseau de contrôle et de surveillance

Sandre : service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau

SEEE : système d'évaluation de l'état des eaux

SO₄ : sulfates

STEU : station de traitement des eaux usées

TBE : très bon état



Sommaire

Résumé et mots clés	4
Sigles et abréviations.....	5
1 Le contexte et les objectifs du guide.....	8
1.1 La directive cadre sur l'eau (DCE)	8
1.2 Le contexte antillais	8
1.3 Les diatomées benthiques aux Antilles françaises	9
<i>La biologie des diatomées</i>	9
<i>Des capacités bioindicatrices avérées</i>	11
1.4 L'indice diatomique antillais (IDA).....	13
1.5 Le périmètre de mise en œuvre de l'IDA	13
1.6 Les restrictions d'application de la méthode et les réserves sur la fiabilité des résultats d'IDA	14
2 La création de l'indice diatomique antillais.....	17
2.1 La démarche globale d'analyse.....	17
2.2 La sélection des taxons contributifs à l'indice	20
<i>Le calcul des profils écologiques de chaque espèce</i>	20
<i>Le seuillage des espèces indiciaires</i>	21
<i>Les taxons d'alerte</i>	21
2.3 La transformation de l'information écologique en seuils de qualité.....	23
<i>L'interprétation des résultats et la vérification de la relation « pression-impact » obtenue</i>	23
<i>La construction de la grille d'EQR (ecological quality ratio) au relevé</i>	24
3 L'acquisition du matériel biologique	27
3.1 La période d'échantillonnage.....	27
3.2 Les conditions de prélèvement.....	28
3.3 La méthode de prélèvement	30
3.4 Les données complémentaires.....	31
<i>Les informations géodésiques et de projection</i>	31
<i>Les mesures des paramètres physico-chimiques in situ</i>	31
<i>Les images du site de prélèvement</i>	31
<i>Les conditions hydrologiques et morphologiques</i>	31
3.5 La fixation des échantillons	33
3.6 L'identification des échantillons	34



3.7 Le traitement des échantillons et la confection des préparations permanentes	34
<i>Le matériel</i>	34
<i>Le principe du traitement</i>	35
<i>Les difficultés couramment rencontrées</i>	36
3.8 L'archivage des données, des préparations permanentes et des prélèvements ..	37
4 L'acquisition des données biologiques : l'inventaire des diatomées.....	38
4.1 L'analyse des lames permanentes	38
<i>Le matériel</i>	38
<i>La méthode de comptage</i>	38
<i>Les ouvrages de référence et autres ouvrages utiles</i>	39
<i>Les difficultés de détermination couramment rencontrées</i>	39
4.2 La bancarisation des résultats	41
<i>L'encodage des taxons</i>	41
<i>La saisie et la bancarisation des données</i>	41
5 Le calcul de l'IDA	42
5.1 La formule de calcul	42
5.2 Le calcul de l'IDA avec le système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE).....	43
5.3 La grille d'interprétation de la note d'IDA au relevé	43
5.4 L'évaluation intégrée de l'état écologique au site	44
6 Niveau de confiance et d'incertitude.....	45
6.1 Le niveau de confiance de l'état écologique	45
6.2 Les incertitudes associées à l'IDA	45
<i>Les incertitudes liées à l'utilisation de l'élément de qualité « diatomées »</i>	45
<i>Les incertitudes liées à la conception de l'outil</i>	46
<i>Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'outil</i>	46
Références bibliographiques.....	48
Table des illustrations	51
Annexe : liste des taxons indiciaires et autres taxons antillais	53



Le contexte et les objectifs du guide

1.1 La directive cadre sur l'eau (DCE)

La directive cadre sur l'eau (*European commission 2000*), 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. Les principaux objectifs sont la réduction ou la suppression des rejets de substances chimiques prioritaires, la non détérioration de la qualité des eaux, et dans bien des cas la reconquête du bon état des eaux et des milieux aquatiques. La mise en œuvre de la DCE est réalisée par cycles de gestion de six ans, l'objectif général d'atteinte du bon état des eaux étant fixé à 2027, avec des échéances intermédiaires en 2015 et 2021.

La DCE introduit deux éléments d'importance pour l'établissement de l'état des masses d'eau.

La prise en compte de l'état écologique au même titre que l'état chimique. L'état écologique est l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Il est évalué à partir d'éléments de qualité hydromorphologiques, chimiques (polluants spécifiques), physico-chimiques, et biologiques prédéfinis par catégorie de masses d'eaux (cours d'eau, plans d'eau, eaux de transition, eaux côtières). Pour les eaux continentales, les compartiments biologiques clés (ou éléments de qualité biologique : EQB) à la base de la construction des indicateurs, sont le phytoplancton, le phytobenthos, les macrophytes, les invertébrés benthiques et les poissons. L'état chimique, quant à lui, est apprécié sur la base des concentrations en substances toxiques définies par la DCE.

L'état écologique est évalué par rapport à des conditions de référence, elles-mêmes déclinées selon une typologie des masses d'eau basée sur des caractéristiques physiques et chimiques de celles-ci « déterminantes pour la biologie ». Pour les cours d'eau, cette typologie est basée sur le croisement des hydro-écorégions (HER) et des rangs de Strahler.

1.2 Le contexte antillais

L'application de la DCE dans les départements et régions d'outre-mer (DROM) 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 des milieux aquatiques. Ces opérations soumises à rapportage vers l'Union européenne sont réalisées dans le cadre des réseaux institutionnels de suivi, et notamment du réseau de contrôle et de surveillance (RCS ; **Figure 1**).

Cependant, le caractère tropical des Antilles françaises (**Tableau 1**) fait que les compartiments biologiques clés présents sont très différents de ceux de la métropole, tant dans leur composition spécifique que dans leur fonctionnement. Cela a conduit à développer des indices biologiques spécifiques pour ces territoires.



Tableau 1. Quelques éléments descriptifs de la Guadeloupe et de la Martinique

	Martinique	Basse-Terre de Guadeloupe
Superficie	1 128 km ²	848 km ²
Point culminant	1 397 m (montagne Pelée)	1 467 m (La Soufrière)
Longueur du plus long cours d'eau	33,4 km (Rivière La Lézarde)	38,7 km (Grande Rivière à Goyave)
Pluviométrie annuelle	1 500 à 6 000 mm/an	1 200 à 8 000 mm/an

a



b

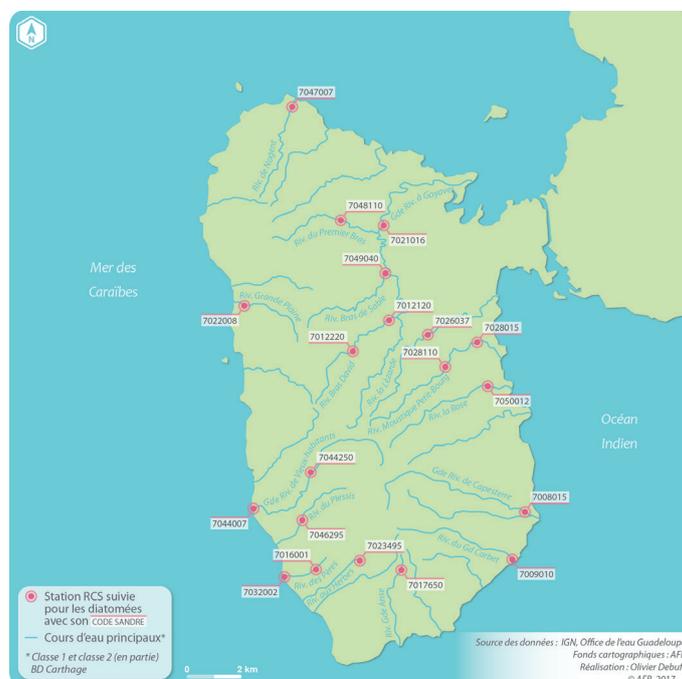


Figure 1. Les stations «diatomées» du réseau de contrôle et de surveillance (RCS) des cours d'eau de la Martinique (a) et de la Guadeloupe (b).

1.3 Les diatomées benthiques aux Antilles françaises

La biologie des diatomées

Les diatomées (*Bacillariophyta*) sont des micro-algues unicellulaires. Organismes photosynthétiques, elles contiennent de la chlorophylle a et c, ainsi que d'autres pigments caroténoïdes responsables de leur couleur brun-jaune.

Elles sont dotées d'un squelette siliceux, le frustule, composé de deux valves emboîtées l'une dans l'autre et jointes par des bandes de silice (Figure 2, page suivante).

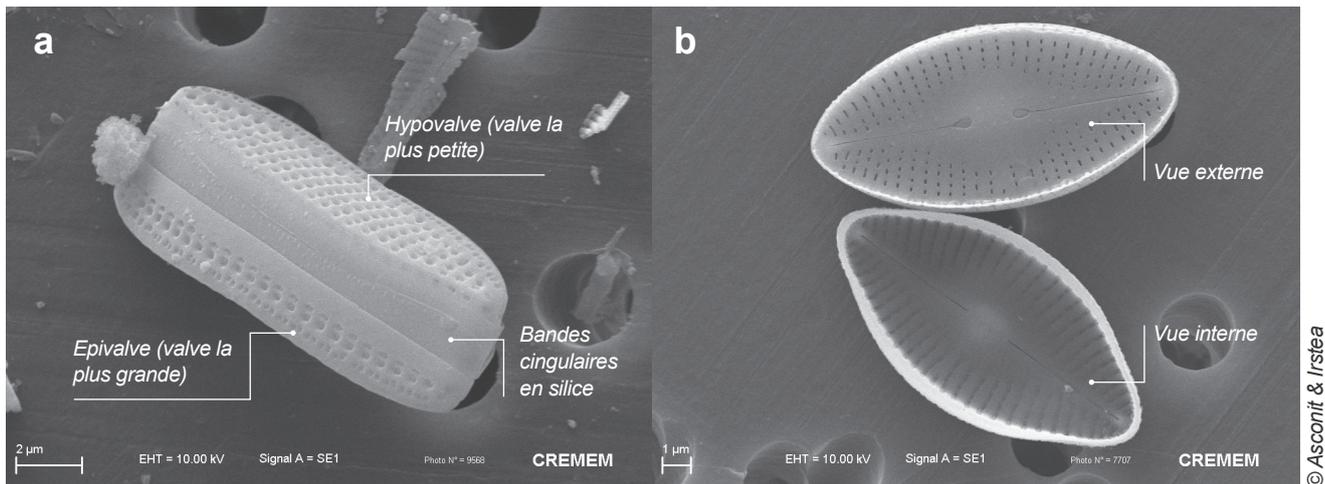


Figure 2. (a) frustule fermé de *Nitzschia amphibia* ; (b) frustule ouvert de *Diadesmis confervacea* (Microscopie électronique à balayage). (D'après Asconit consultants & Irstea 2013a).

Selon les espèces, les diatomées adoptent différentes formes de vie :

- les **diatomées benthiques** (ou périphytiques) vivent fixées sur des substrats durs (de nature minérale, végétale ou animale) au sein d'un biofilm (lui-même composé d'une matrice polysaccharidique et d'organismes unicellulaires ou pluricellulaires microscopiques de différentes natures : bactéries, autres algues, etc.). Elles peuvent être fixées au substrat selon différents modes d'attachement ou motiles au sein du biofilm (Figure 4) ;
- les **espèces planctoniques** flottent librement en pleine eau.

Néanmoins, certaines espèces peuvent vivre soit en suspension dans la colonne d'eau, soit être fixées au substrat (espèces tychoplanctoniques).

Elles peuvent être solitaires ou former des colonies.

Les diatomées se multiplient principalement de manière végétative. Ce mode de reproduction est à l'origine de la taille variable des cellules d'une même espèce (Figure 3). La reproduction sexuée n'intervient que ponctuellement, sous l'influence de facteurs internes (taille minimale atteinte par la cellule) ou environnementaux. La cellule initiale issue de la reproduction sexuée retrouve alors la taille maximale de l'espèce.

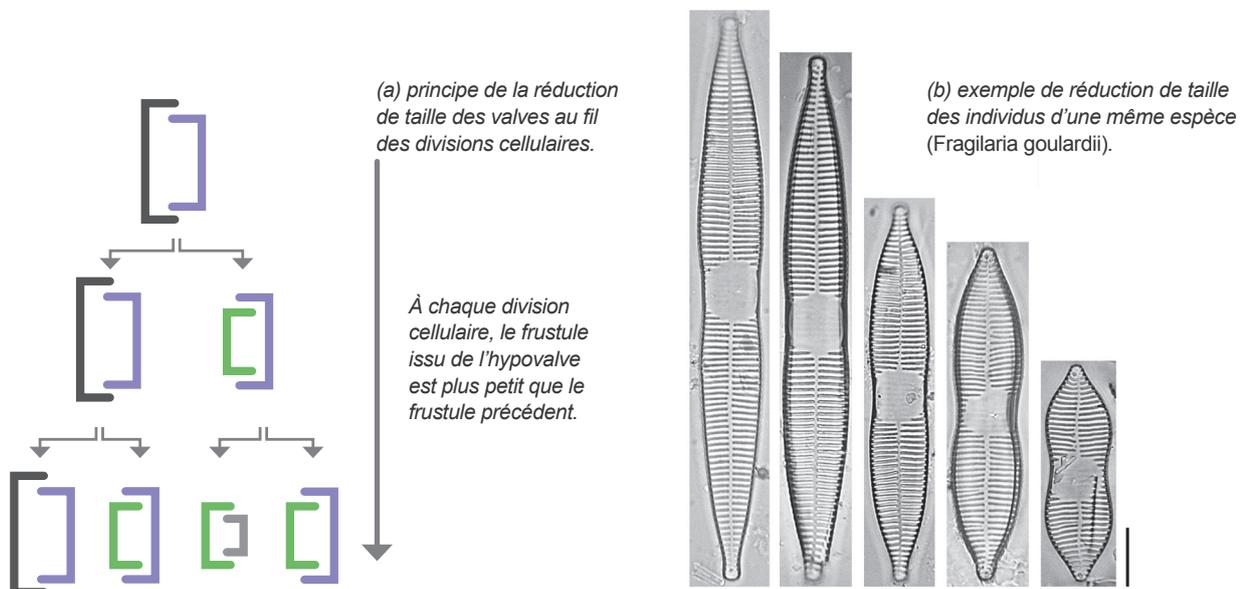
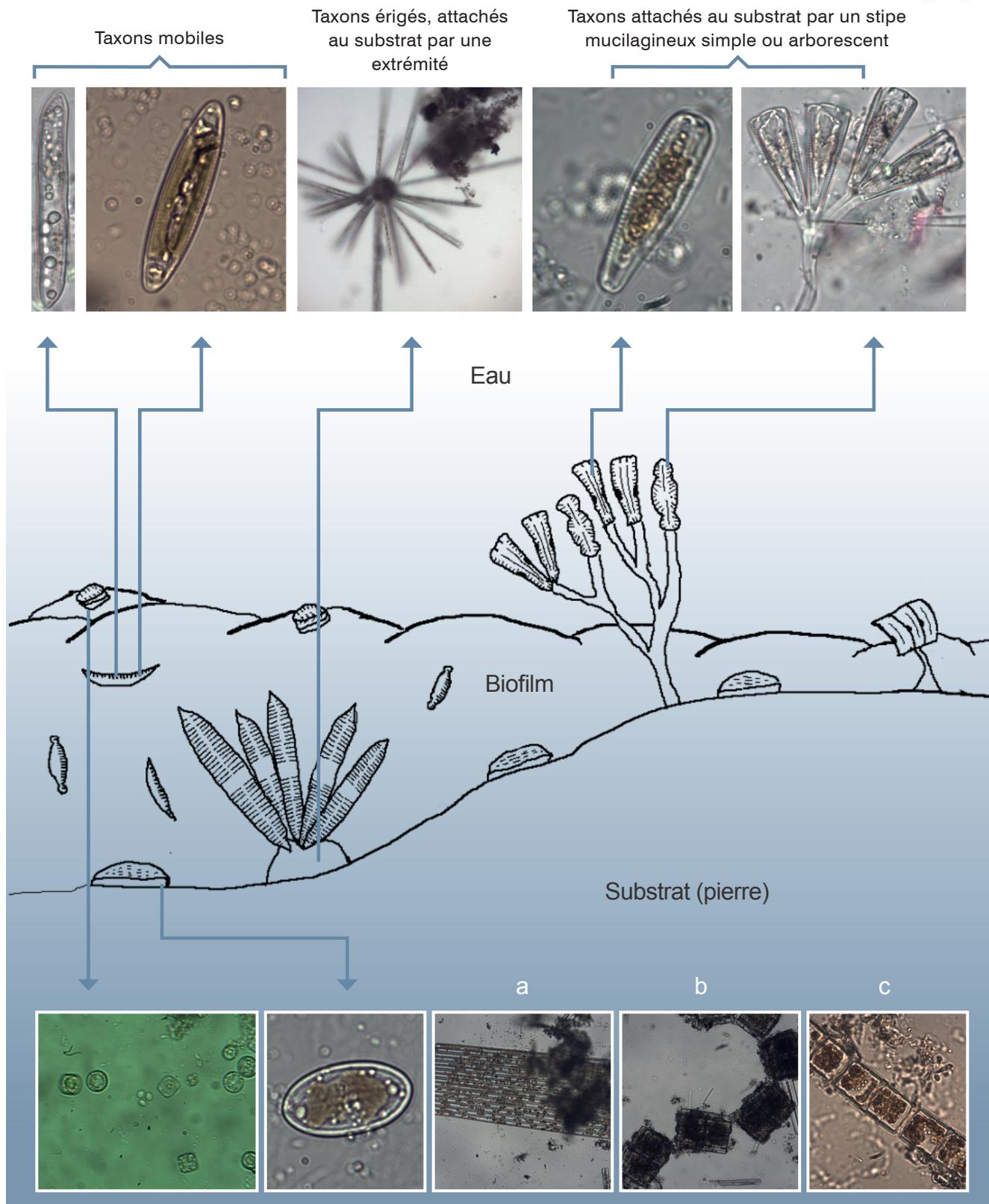


Figure 3. Multiplication végétative des diatomées. Barre d'échelle = 10 µm.



© Gilles Gassiole

Figure 4. Formes de vie des diatomées benthiques (Modifié d'après Gassiole 2014).

Formes coloniales
 a) en ruban,
 b) chaîne en zig-zag,
 c) en filament

Des capacités bioindicatrices avérées

Les diatomées possèdent la plupart des qualités essentielles pour la bioindication de la qualité des milieux aquatiques.

Ce groupe d'algues comporte un très grand nombre d'espèces : près de 30 000 ont été décrites et selon Mann & Droop (1996), il pourrait en exister jusqu'à 200 000 sur la planète.

Au cours du programme de recherche et développement destiné à la création de l'IDA, 512 taxons différents ont été inventoriés aux Antilles.

Les diatomées sont sensibles aux conditions de milieu. En effet, chaque espèce a ses propres préférences vis-à-vis de paramètres environnementaux aussi variés que la température, la lumière, le pH, le courant, le substrat, le broutage par les herbivores, les matières organiques oxydables, l'azote et le phosphore, les sels dissous, la teneur en silice, etc.

Les conditions environnementales des cours d'eau des Antilles françaises se distinguent globalement de celles de la métropole par leur oligotrophie (pauvreté en éléments nutritifs, en particulier l'azote et le phosphore), leur température élevée, leur forte capacité auto-épuration liée à l'importance des phénomènes dilutifs et à la forte vélocité de l'eau.

Les espèces benthiques, fixées au substrat ou motiles, vivent à l'intérieur ou en surface d'une matrice de polysaccharides et forment le biofilm (**Figure 4**). Elles sont intégratrices des conditions locales de milieu. Sur le plan temporel, compte tenu de leur vitesse de multiplication, on considère que les diatomées benthiques reflètent les conditions intégrées de qualité du milieu aquatique du mois ou des deux mois qui précèdent leur prélèvement. Cette capacité intégratrice varie d'une espèce à l'autre. Les petites espèces, ayant une vitesse de multiplication plus rapide, sont intégratrices sur un plus court terme que les espèces de grande taille.

Ces caractéristiques biologiques sont particulièrement intéressantes aux Antilles où les crues intenses et fréquentes entraînent des phénomènes de chasse à la suite desquels les communautés de diatomées benthiques se reconstituent plus rapidement que les autres communautés biologiques (EQB).

Elles sont abondantes dans le milieu et faciles à prélever.

Néanmoins, aux Antilles, du fait de l'oligotrophie du milieu, des phénomènes réguliers de chasse, ou du broutage parfois intense par les mollusques et les poissons, la biomasse de diatomées benthiques est parfois très faible et nécessite le prélèvement d'une plus grande surface de biofilm qu'en métropole.

Leur détermination ne nécessite pas de matériel ni de technique trop sophistiqués. En effet, grâce à leur squelette siliceux, l'identification à l'espèce est possible en microscopie optique à un grossissement de 1 000 fois en immersion. L'utilisation du contraste de phase ou du contraste interférentiel améliore les conditions d'observation, en particulier pour les espèces peu silicifiées.

La détermination des diatomées nécessite cependant les compétences d'opérateurs formés et expérimentés.



1.4 L'indice diatomique antillais (IDA)

L'indice diatomique antillais (IDA) a été créé dans le cadre d'un programme de recherche & développement mené conjointement au niveau de la Martinique et de la Guadeloupe, entre 2009 et 2012, par le consortium Asconit Consultants-Irstea, sous un montage financier associant les offices de l'eau et les DEAL des deux départements, l'Onema, et incluant également une part d'autofinancement des deux maîtres d'œuvre impliqués.

La conception de l'IDA est développée dans les rapports de Gueguen *et al.* (2013, 2014) et résumée dans la synthèse de Monnier *et al.* (2016), ainsi qu'en partie 3 du présent guide. Un atlas des diatomées des Antilles (Asconit Consultants & Irstea 2013a, 2013b) a également été produit au cours du programme de R&D et est un outil indispensable à la mise en œuvre de l'IDA.

Bien que conçu différemment de l'indice biologique diatomées (IBD), l'IDA est lui aussi un indice basé sur la structure du peuplement des diatomées benthiques de la station considérée et nécessite donc de connaître l'abondance spécifique relative de chaque espèce.

Cet indice a été validé et est préconisé règlementairement pour l'évaluation de l'état écologique des masses d'eau de type « cours d'eau » dans le cadre du programme de surveillance DCE aux Antilles, conformément à l'arrêté modifié du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface, pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement (MTES 2018a). L'application du présent guide est donc limitée à ce cadre.

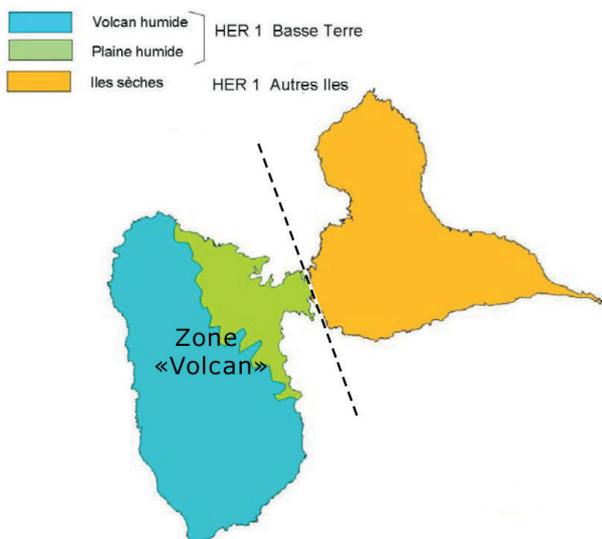
1.5 Le périmètre de mise en œuvre de l'IDA

L'IDA a été conçu à partir d'un jeu de données issu d'échantillons prélevés sur l'ensemble du territoire martiniquais et uniquement sur la Basse-Terre de Guadeloupe. Il n'a pas été validé sur la Grande-Terre, du fait de l'absence de cours d'eau permanents, ni sur les autres îles de Guadeloupe (La Désirade, Marie-Galante, Les Saintes). Par conséquent, le territoire d'application actuel de l'IDA concerne :

- La Martinique, où deux zones naturelles aux caractéristiques physico-chimiques distinctes ont été identifiées : la zone « Volcan », correspondant à l'hydro-écorégion (HER) « Pitons du Nord », et la zone « Plaine », regroupant les deux HER « Plaine du Lamentin » et « Mornes du Sud » telles qu'elles ont été définies par Chandris *et al.* (2004) (**Figure 5**, page suivante).
- La Basse-Terre de Guadeloupe, regroupant les deux HER « Volcan humide » et « Plaine humide » (Wasson *et al.* 2005) au sein d'une même zone naturelle « Volcan » (**Figure 5**, page suivante).

La rivière La Lézarde, en Martinique, prend sa source dans l'HER « Pitons du Nord », traverse ensuite l'HER « Plaine du Lamentin » jusqu'à son embouchure, mais sans que cela ait une influence sensible sur son hydrochimie et sa minéralisation naturelle. Elle est donc considérée pour l'évaluation de son état écologique comme appartenant sur tout son cours à la zone naturelle « Volcan ».

Hydro-écorégions de la Guadeloupe



Hydro-écorégions de la Martinique



Figure 5. Délimitation des hydro-écorégions (HER) de la Basse-Terre et de la Grande-Terre de Guadeloupe, de la Martinique, ainsi que leurs regroupements en secteurs naturels abiotiques « homogènes » définis aux Antilles françaises pour la mise en oeuvre de l'IDA. D'après Chandèsris et al. 2004 et Wasson et al. 2005.

1.6 Les restrictions d'application de la méthode et les réserves sur la fiabilité des résultats d'IDA

Dans quelques cas particuliers, il peut arriver que le calcul d'IDA et le calcul d'état écologique au relevé soient entachés d'un problème d'assise indicielle un peu faible, voire insuffisante, qui vient altérer la fiabilité des résultats.

Les cas susceptibles d'affaiblir le niveau de confiance attaché à une évaluation par l'IDA vont surtout être rencontrés dans les trois cas de figure suivants :

- site peu biogène, au moins épisodiquement : cours d'eau d'altitude à forte hydrodynamique et à température fraîche sur substrat volcanique peu altéré, à eau peu minéralisée ; prélèvement en conditions hydrologiques apparemment normales (respect du protocole normatif de prélèvement diatomique hors épisode de crue), mais pouvant éventuellement intervenir suite à un épisode de débits soutenus. La quantité faible de matériel biologique récoltée sur le terrain permet alors difficilement l'atteinte de l'effectif cible de comptage (500 unités diatomiques comptées), même après comptage de deux lames différentes (limite indiquée par la norme NF T 90 – 354, Afnor 2016). Les effectifs du relevé en taxons totaux et en taxons indiciels comptés peuvent au final être inférieurs à 500 ;



- site contenant beaucoup de taxons actuellement non-indiciels. Ce type de cas est le plus souvent rencontré dans des situations naturelles ou altérées particulières, insuffisamment prospectées et de fait faiblement représentées dans le jeu de données historique. Ces situations, encore peu décrites, peuvent présenter de grandes spécificités de flore locale. Il n'y a alors pas de difficulté particulière à atteindre un effectif de comptage de 500 unités diatomiques, mais une proportion importante des espèces trouvées dans l'inventaire ne sont pas indicielles dans l'IDA. En effet, elles n'atteignent pas des seuils d'occurrence et/ou d'abondance relative suffisants pour bien caractériser leur écologie. Des profils indiciels fiables ne peuvent pas être calculés pour ces espèces. A noter que certains de ces taxons pourront devenir indiciels lors d'une nouvelle version de cet indice, suite à l'atteinte des seuils quantitatifs de sélection sur l'occurrence et l'abondance relative ;
- site périodiquement sous influence haline littorale. Ce cas de figure peut se présenter sur l'aval de certains cours d'eau de Martinique (Grande Rivière Pilote à l'aval du bourg de Rivière Pilote, Deux Courants à l'aval du Pont Séraphin, etc.). Il semble plus exceptionnel en Basse-Terre de Guadeloupe. Dans un tel cas, la présence au moins périodique de formes halines arrivées du milieu littoral, indépendante de l'altération anthropique, peut marquer l'assemblage diatomique. Cependant, de tels sites peuvent aussi subir des impacts anthropiques et à ce titre, ils peuvent faire l'objet de prospections périodiques, même s'ils ne font pas forcément partie des réseaux réguliers de surveillance. Sous réserve que l'influence haline ne devienne pas trop importante, le reste de la flore du relevé témoigne certainement assez bien de la qualité du cours d'eau avant cette intrusion de taxons halins.

Les trois types de situations décrits ci-dessus, seuls ou en cumul, peuvent contribuer à un affaiblissement de la représentativité d'un calcul indiciel donné.

Il a donc été décidé de traiter ces situations particulières en tenant compte de la fréquence relative des taxons indiciels dans les relevés :

- dénombrement de taxons indiciels ≥ 90 % de l'objectif de comptage (soit au moins 450 unités diatomiques identifiées / 500) : pas de message particulier d'alerte quant à la représentativité du calcul indiciel. On va notamment trouver dans ce cas de figure les relevés n'atteignant pas tout à fait 500 unités diatomiques indicielles, que ce soit du fait de l'effectif compté juste en dessous de l'effectif-cible ou du fait qu'il y a des taxons non indiciels dans le relevé ;
- dénombrement de taxons indiciels ≥ 75 % et < 90 % de l'objectif de comptage (soit de 375 à 449 unités diatomiques identifiées / 500) : assise du relevé en taxons indiciels un peu faible, fiabilité réduite du calcul indiciel ;
- dénombrement de taxons < 75 % de l'objectif de comptage (soit moins de 375 unités diatomiques identifiées / 500) : calcul d'IDA non valide.

Certains cours d'eau des Antilles sur socle volcanique peuvent se révéler sous influence hydrothermale par l'intermédiaire d'écoulements de surface ou de résurgences des nappes phréatiques, comme c'est fréquemment le cas en

Basse-Terre de Guadeloupe (ex. : Rivière Galion, Rivière Grande Plaine, bassins versants de la Rivière Noire, de la Rivière du Carbet, etc.) et possiblement sur la moitié Nord de la Martinique, sous l'influence de quelques sources. L'augmentation de la minéralisation de l'eau, les effets thermiques et l'ambiance réductrice générés dans les zones de mélange entre l'apport hydrothermal et la rivière peuvent faire baisser les notes d'indice diatomique, sans qu'il s'agisse dans ce cas des effets d'une pression anthropique (ce phénomène est d'origine naturelle...). La note indicielle calculée dans de telles conditions serait biaisée.

Les secteurs de cours d'eau concernés par des entrées hydrothermales proches et fortes sortent donc du cadre de validité d'application de la méthode IDA.

La création de l'indice diatomique antillais

2

2.1 La démarche globale d'analyse

Toutes les étapes d'analyses de données nécessaires à la construction de l'IDA sont détaillées dans le rapport de synthèse final du programme de conception de l'indice (Gueguen *et al.* 2015). Une synthèse sur la construction de l'indice est également donnée dans Monnier *et al.* (2016).

L'organisation des différentes phases suivies au cours de la démarche d'analyse biomathématique des données est résumée ci-dessous (Figure 6).

Il a tout d'abord été nécessaire d'étudier les **principaux gradients présents dans le jeu de données abiotiques** (Figure 6, ①), correspondant aux forçages environnementaux et anthropiques s'appliquant sur les cours d'eau locaux. Cette étape a fait appel à une analyse des composantes principales (ACP) des données abiotiques complètes et a permis de déterminer les classes de chimie des eaux échantillonnées.

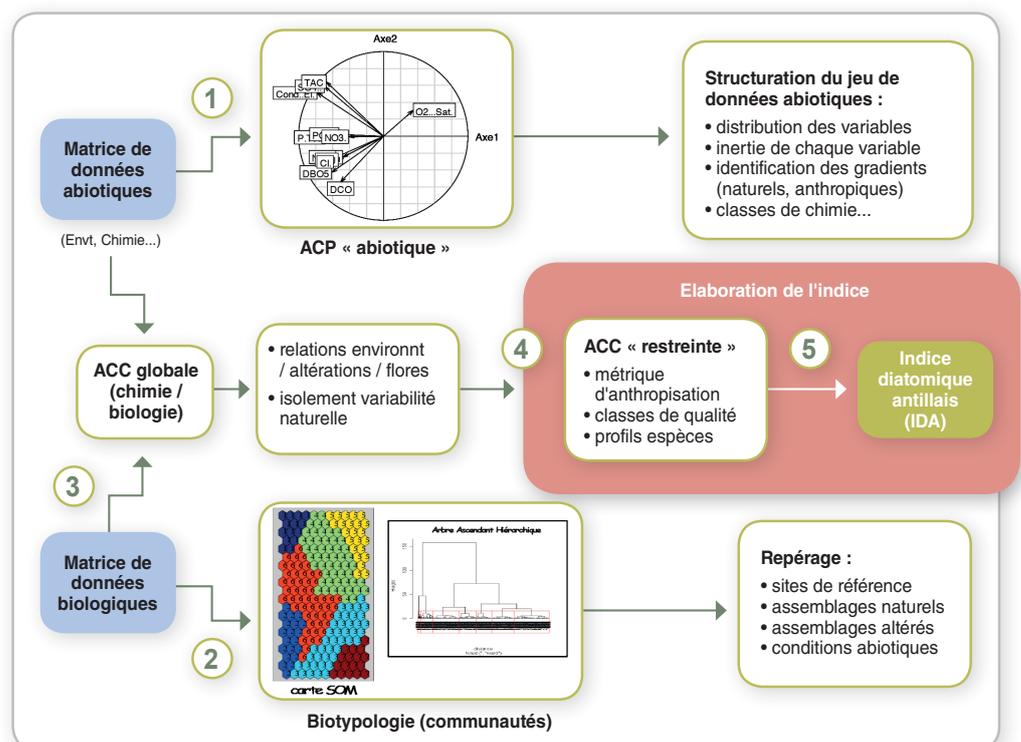


Figure 6. Organigramme de la démarche d'analyse des données pour le développement de l'indice diatomique antillais (IDA).
 ACP : analyse des composantes principales ;
 ACC : analyse canonique des correspondances.
 Source : Gueguen et al. 2015.

Il a ensuite été nécessaire d'essayer de comprendre la **structuration des communautés de diatomées** en réponse à ces forçages environnementaux globaux rencontrés en Martinique et Guadeloupe. Ce point est important pour mieux caractériser les flores typiques (naturelles, altérées), mais aussi pour pouvoir déterminer, dans le cadre d'application de la DCE, à quels sites de référence adéquats il sera possible de comparer un site de réseau dont on cherche à évaluer l'état écologique. Cette tâche (**Figure 6, ②**) repose sur la mise en œuvre d'un réseau neuronal non supervisé, la *self-organizing map* (SOM), qui a permis de définir les assemblages types. L'interprétation des résultats a permis de définir des assemblages diatomiques caractéristiques des différents types de sites de références et, au contraire, ceux inféodés aux conditions altérées, ainsi que les assemblages représentatifs de conditions d'altérations de nature et d'intensité variables.

En outre, cette étape a permis de vérifier qu'il n'y avait pas, dans des conditions naturelles comparables, de typologie bien spécifique d'une île ou de l'autre et que, par conséquent, le jeu de données global pouvait être analysé en bloc pour les étapes suivantes.

Après cette prise de connaissance des jeux de données et de leur structuration, une analyse canonique des correspondances complète (ACC), a été mise en œuvre (**Figure 6, ③**). Cette méthode de statistique descriptive multidimensionnelle permet d'explorer les relations pouvant exister entre deux groupes de variables quantitatives observées sur le même ensemble d'individus (ici un site à une date donnée). Elle permet donc de projeter dans un même espace les paramètres abiotiques, les relevés et les taxons.

Afin de **mettre en relation la réponse des espèces avec les gradients d'anthropisation** (**Figure 6, ④**), dix variables abiotiques de qualité des eaux fortement affectées dans un sens non équivoque par les activités humaines ont été sélectionnées et une analyse canonique des correspondances restreinte a été mise en œuvre sur la base de ces dix variables d'anthropisation. Elle a permis de **mettre en évidence la part de variabilité naturelle de ces variables et de définir le gradient composite d'altération, qui résume l'influence des pressions anthropiques sur les sites aux différentes dates** (**Figure 7**).

Toutes ces analyses statistiques ont permis de montrer que les données biotiques permettaient de repérer l'effet des pressions anthropiques sur les relevés au moins aussi bien que les données abiotiques. En effet, la réponse biologique est certainement plus fiable et plus représentative de la dimension temporelle, qu'un seul prélèvement d'eau à un instant donné.

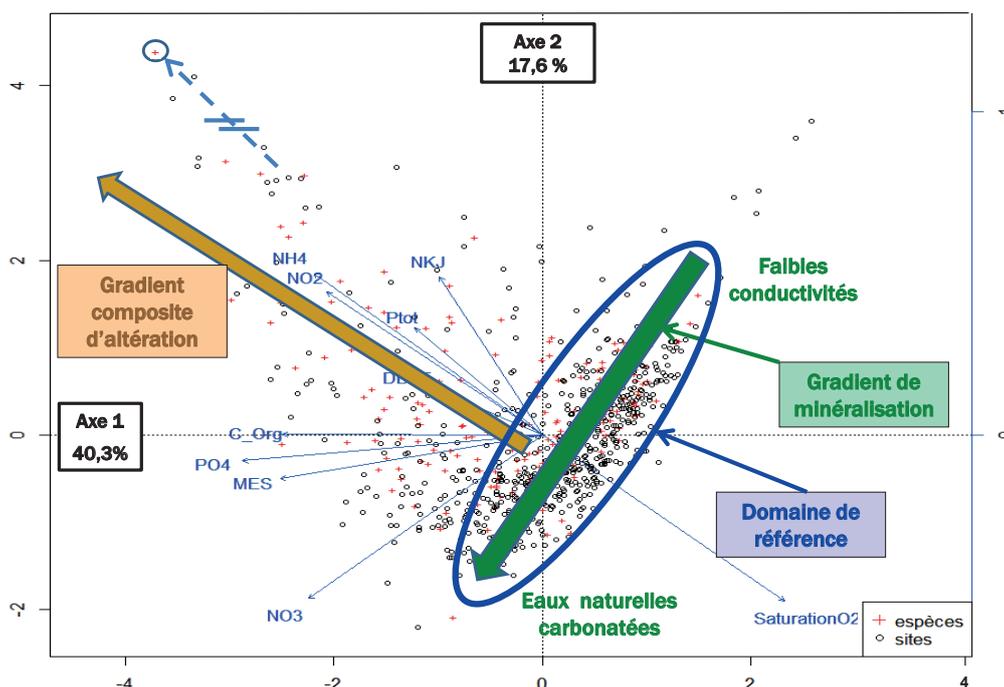


Figure 7. Interprétation schématique des gradients contenus dans le premier plan factoriel de l'analyse canonique des correspondances (ACC) restreinte, basée sur les 10 variables d'anthropisation. Source Gueguen et al. 2015.



Afin d'intégrer cette information et, à terme, de rendre l'indice plus robuste, il a été décidé de créer **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 aux gradients chimiques. Dans le cadre de l'ACC restreinte, il intègre donc deux 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 l'ACP réalisée sur les 10 descripteurs d'anthropisation retenus ;
- la seconde émanant de la matrice-réponse des assemblages biologiques au même assortiment de variables abiotiques.

Ce GCMA s'écrit comme la somme des gradients « Gradient ACP » et « Gradient ACC » calculés en utilisant l'inertie des trois premiers axes de chaque analyse selon la formule suivante :

GCMA = Gradient ACP + Gradient ACC, où :

$$\text{Gradient ACP}_j = \sum_{i=1}^3 \text{inertieAxe}_i * \text{projection_relevé}_j \text{ Axe}_i, \text{ où } i = \text{axe et } j = \text{relevé}$$

$$\text{Gradient ACC}_j = \sum_{i=1}^3 \text{inertieAxe}_i * \text{projection_relevé}_j \text{ Axe}_i, \text{ où } i = \text{axe et } j = \text{relevé}$$

Le GCMA s'interprète aussi comme un score de qualité qui évolue dans le sens inverse de l'altération anthropique. La projection des sites à une date donnée sur le GCMA a permis de vérifier que les stations de Martinique se mélangeaient parfaitement avec celles de Guadeloupe et qu'outre la convergence des flores, il était légitime aussi sur ce plan de construire un indice commun pour les deux îles.

L'utilisation d'une classification hiérarchique sur composantes principales (CHCP) a ensuite mis en évidence des groupes de relevés (ou clusters) de qualité la plus semblable possible et a permis de discrétiser le gradient en cinq classes de qualité (**Figure 8**). L'effectif et les limites de chaque classe de qualité sont donnés par le **Tableau 2**.

Figure 8.
Création des classes de qualité :
a) Segmentation des classes basées sur l'homogénéité intra-groupe par classification hiérarchique sur composantes principales (CHCP) ;
b) Box-plot de projection des relevés dans les classes.
Source Gueguen et al. (2015).

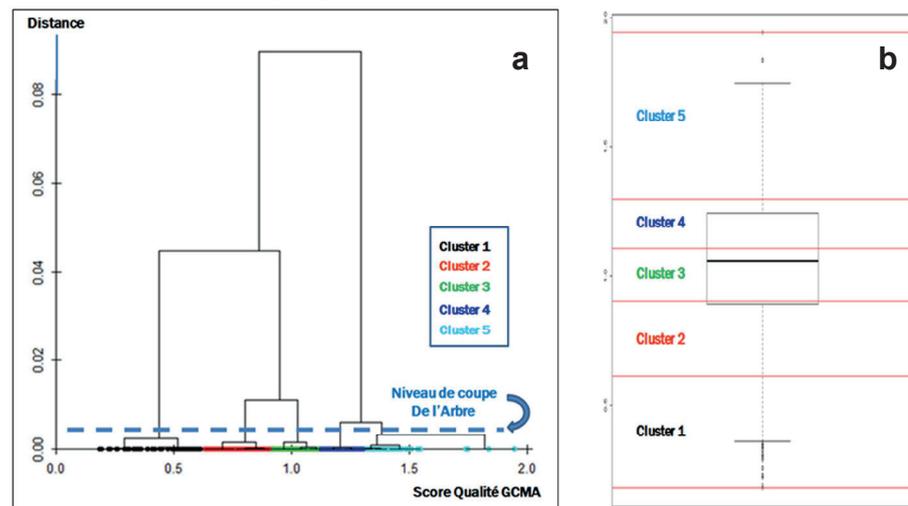


Tableau 2. Caractéristiques des classes de qualité du gradient composite multimétrique d'anthropisation (GCMA) obtenues par segmentation (méthode par classification hiérarchique sur composantes principales - CHCP). Source : Gueguen et al. 2015

Classe	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Qualité	mauvaise	médiocre	moyenne	bonne	très bonne
Scores GCMA	(0,182 ; 0,611)	(0,611 ; 0,903)	(0,903 ; 1,110)	(1,110 ; 1,300)	(1,300 ; 1,940)
Effectifs/Classe	62	101	183	159	102

La classe 2 (qualité médiocre) et surtout la classe 1 (mauvaise qualité) représentent les situations avec un degré de pollution respectivement moyen et fort. Chaque relevé (site - date) et chaque taxon ont alors pu être affectés à une classe de qualité.

La dernière étape correspond à la **conception proprement dite de l'IDA** (Figure 6, ⑤), à savoir :

- sélection des taxons potentiellement contributifs à l'IDA. Afin de garantir une assise minimale de l'information écologique disponible, il a été décidé d'appliquer un seuillage quantitatif basé sur le nombre d'occurrences du taxon dans le jeu de données disponible ;
- calcul des profils écologiques de ces taxons, exprimés en abondances relatives pondérées par classe de qualité ;
- interprétation de la physionomie des profils écologiques, au moyen d'un faisceau de règles de décision, afin d'attribuer un statut et une valeur indicatrice particulière au taxon dans le futur indice ;
- formulation de l'indice, test de différents prototypes de formules de calcul, sélection de la version définitive de l'indice à partir des résultats produits.

La description plus détaillée de ces étapes et les choix réalisés pour stabiliser la version finale de l'IDA sont présentés dans la section suivante (2.2).

2.2 La sélection des taxons contributifs à l'indice

Le calcul des profils écologiques de chaque espèce

Les profils écologiques se définissent comme la probabilité de trouver une espèce donnée dans les différentes classes de qualité telles qu'elles ont été définies par discrétisation du GCMA (Figure 9).

Ils se calculent par la formule suivante :

$$P(sp_{classe}) = \frac{(OccTaxon_{classe} * \sum_{classe} abondRel_{sp})}{NbSites_{classe} * \sum A}$$

$$A = \frac{(OccTaxon * \sum_{classe} AbondRelTaxon)}{NbSites_{classe}}$$

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

Où : $P(sp_{classe})$ est la probabilité d'occurrence d'une espèce dans une classe donnée ou son abondance relative pondérée

$OccTaxon_{classe}$ est l'occurrence de l'espèce dans la classe

$OccTaxon$ est l'occurrence globale de l'espèce

$\sum_{classe} abond Rel sp$ est la somme des abondances relatives de l'espèce dans chaque classe

$\sum_{classe} abond Rel Taxon$ est la somme des abondances relatives de tous les taxons présents dans la classe

$Nb Sites_{classe}$ est le nombre de sites (ou relevés) dans la classe

Une fois les valeurs d'abondance relative pondérée pour chaque taxon et pour chacune des cinq classes de qualité calculées, il devient possible de représenter graphiquement les profils écologiques de chaque espèce (Figure 9).

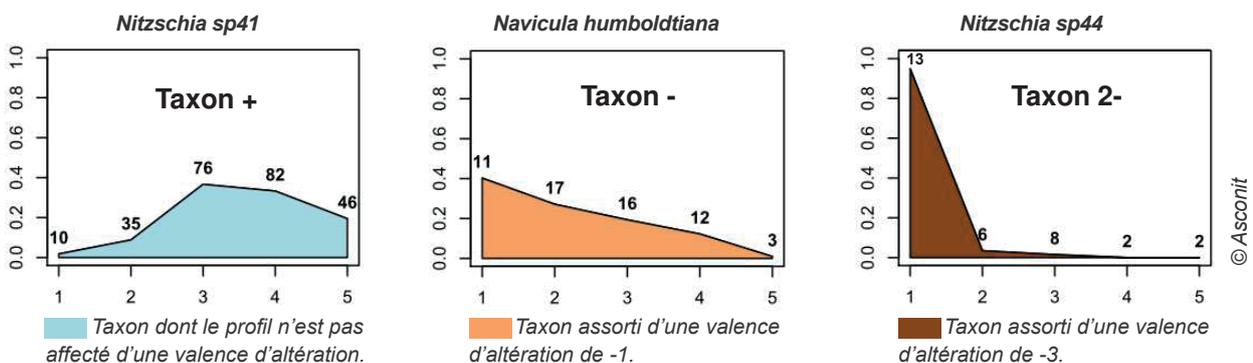


Figure 9. Représentation graphique des profils écologiques de trois taxons. En abscisse, les classes de qualité ; en ordonnées, l'abondance relative pondérée du taxon pour chaque classe ; en étiquette au-dessus de la courbe, le nombre de relevés dans lesquels le taxon a été inventorié.



Le seuillage des espèces indicelles

Compte tenu du grand nombre de taxons inventoriés (512 taxons) et du nombre important de taxons ayant une très faible occurrence et/ou abondance relative, il a été jugé opportun de réduire la liste des taxons pris en compte dans le calcul de l'indice. Ce choix présentait le double avantage de produire un outil indiciel reposant à la fois sur des assises taxonomique et écologique relativement fiables et garantissant une mise en œuvre opérationnelle plus aisée.

Le seuillage des taxons indicels a été réalisé selon les deux règles suivantes :

- le taxon devait être présent dans au moins cinq échantillons différents du jeu de données ;
- le taxon devait avoir une abondance relative supérieure à 2,5 % dans au moins un relevé.

Cent quatre-vingt-six taxons ont été ainsi sélectionnés. Parmi eux, huit espèces dont l'écologie déjà décrite dans la littérature est typique de conditions halines, ont été écartées, portant ainsi le nombre de taxons participant au calcul effectif de l'IDA à 178. Ces taxons sont listés en annexe 1.

Les taxons d'alerte

L'examen de la structure des peuplements a permis de mettre en avant trois caractéristiques essentielles du peuplement diatomique antillais qui ont été déterminantes pour l'établissement de la formule de calcul de l'IDA.

- La plupart des taxons dominants sont euryèces. Leurs préférences écologiques sont assez larges.
- Il existe en permanence un flux de colonisation de l'amont vers l'aval (ou drift) très significatif de ces espèces.
- La plupart des activités polluantes sont implantées et/ou plus concentrées à proximité des embouchures. Le linéaire de cours d'eau n'est plus suffisant pour une homogénéisation des caractéristiques chimiques du milieu et la mise en place d'assemblages de diatomées caractéristiques de fortes altérations.

Faute d'un linéaire de cours d'eau suffisant, le gradient longitudinal d'altération de la flore diatomique ne se met que partiellement en place aux Antilles, et c'est seulement dans quelques cas particuliers (par exemple, aval immédiat de rejet de STEU ou de rhumerie) qu'on peut observer des peuplements complètement caractéristiques de ces conditions altérées. Dans ces conditions, l'évaluation de la qualité de l'eau à partir des diatomées repose sur le repérage de taxons d'alerte, qui fonctionnent comme un signal d'alarme d'une pollution, même si celle-ci est très localisée.

De plus, il est à noter qu'il existe un fort niveau de saprobie naturel dans les DOM insulaires 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 matériel végétal hautement fermentescible (fruits, fleurs, feuilles) provenant de la ripisylve.

C'est en tenant compte de tous ces éléments et sur la base des profils écologiques préalablement déterminés que les critères de choix des taxons d'alerte ont été adoptés (**Tableau 3**, page suivante).

Tableau 3. Critères de sélection des taxons d'alerte servant au calcul de l'indice diatomique antillais (IDA). Pour la signification des classes de qualité, voir le Tableau 2

Niveau d'alerte	Valence d'altération dans l'IDA	Critères de sélection
Taxon « 2 - »	-3	Probabilité d'abondance dans la classe 1 $\geq 0,6$ ET Probabilité d'abondance dans les classes 1 et 2 $\geq 0,8$ ET Probabilité d'abondance dans les classes 4 et 5 $\leq 0,1$
Taxon « - »	-1	Probabilité d'abondance dans les classes 1 et 2 $\geq 0,55$ ET Probabilité d'abondance dans les classes 4 et 5 $\leq 0,175$

Tous les autres taxons indiciels ne remplissant pas les conditions précisées dans le **Tableau 3**, ne présentent aucun message particulier vis-à-vis de la détection de l'altération et sont nommés taxons « + ».

Les 178 taxons contributifs pour l'IDA sont ainsi répartis :

- 22 Taxons « 2 - », assortis d'une valence d'altération de -3 (couleur marron dans la **Figure 9**),
- 25 Taxons « - », assortis d'une valence d'altération de -1 (couleur beige dans la **Figure 9**),
- 131 Taxons « + » (couleur bleu clair dans la **Figure 9**), sans signification particulière vis-à-vis de la détection de l'altération.

NB : huit taxons halophiles dépassant les seuils quantitatifs ont été dotés d'un profil. Néanmoins, ils ne participent ni à l'effectif du relevé servant à calculer la note indicielle, ni au calcul d'indice.

Deux taxons ont fait l'objet d'une expertise et se sont vu attribuer un statut différent de celui obtenu par l'application stricte des critères précisés dans le **Tableau 3** :

- *Gomphonema sp75* n'a été rencontré que quatre fois, en Martinique uniquement. Il ne devrait donc pas contribuer à l'IDA. Cependant, il présente les caractéristiques d'un taxon « urbain » et est potentiellement abondant dans certaines stations fortement anthropisées. Il a donc été considéré comme un taxon « - » et contribue au calcul de l'IDA.
- *Nitzschia inconspicua* serait considéré comme un taxon « - » (bien qu'en limite de basculement) après application rigoureuse des critères de sélection des taxons d'alerte. Ce taxon est de plus très abondant notamment dans les classes 2, 3 et 4. Son statut de taxon d'alerte représente donc un fort enjeu pour l'IDA. Or l'analyse fine du jeu de données montre que ce taxon fait preuve d'une euryécie marquée (large amplitude des conditions écologiques qu'il peut tolérer) et que les conditions lui deviennent favorables dès que la minéralisation et la température de l'eau sont suffisantes, soit dans la partie aval des bassins versants. Au-delà d'un effet indirect par augmentation de la conductivité de l'eau, sa liaison avec l'anthropisation n'est ni systématique, ni même évidente. Il peut dominer les assemblages sur des sites de



référence minéralisés des Mornes de Martinique, et on le rencontre aussi sur certains sites de référence situés à l'aval d'un massif volcanique, mais avec un plaquage de tufs augmentant la minéralisation de l'eau (ex. : Anse Céron au nord de la Martinique). Ce taxon est donc à considérer comme un taxon « + ».

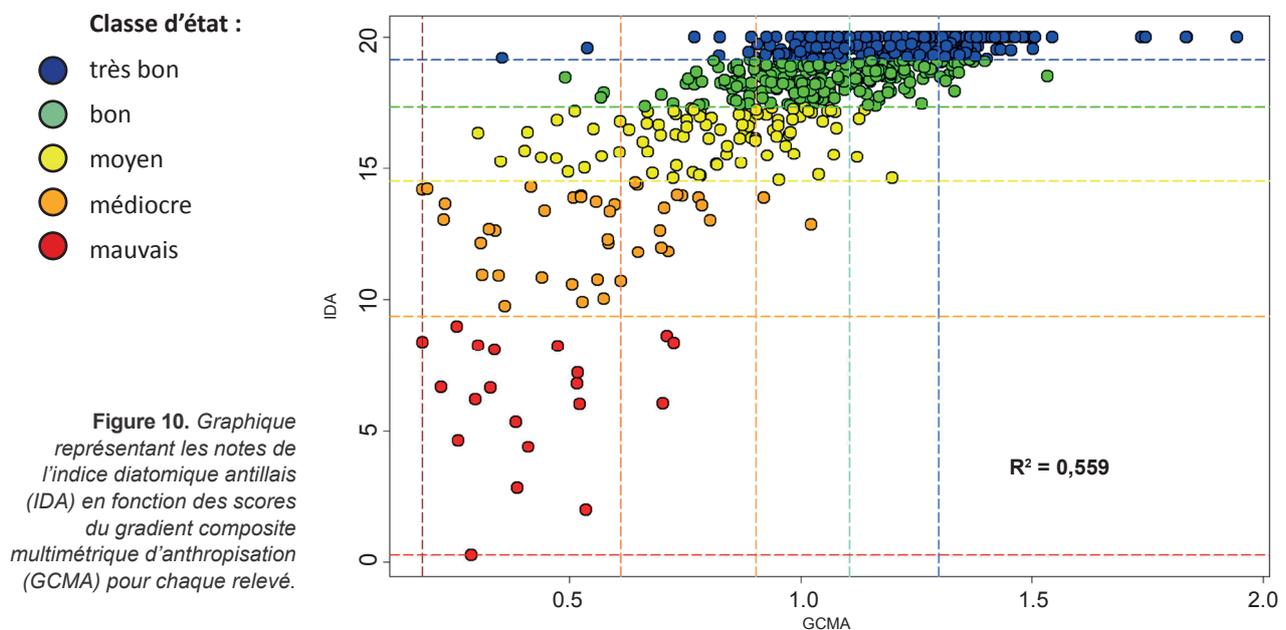
2.3 La transformation de l'information écologique en seuils de qualité

L'interprétation des résultats et la vérification de la relation « pression-impact » obtenue

Dans un premier temps, une grille d'interprétation a été définie, toutes zones naturelles confondues. Le seuil de basculement entre très bon état (TBE) et bon état (BE) a été fixé au percentile 20, le reste du vecteur découpé en quatre classes selon l'algorithme de Jenks-Fisher. Cinq classes d'état (ou de qualité biologique) ont ainsi été définies.

En projetant les notes d'IDA calculée pour chaque relevé en fonction du gradient composite multimétrique d'anthropisation (GCMA) (Figure 10), on observe que l'IDA rend assez justement compte de la relation pression-impact. L'évaluation de l'état écologique ainsi obtenue est donc globalement satisfaisante.

Cependant cette relation pression-impact gagne en consistance écologique si on considère séparément les relevés de chaque zone naturelle. Cela a donc pleinement justifié la construction d'une grille d'EQR¹ centrée sur les niveaux de référence de chacune de ces zones, afin de rendre un diagnostic plus juste d'altération anthropique



¹ L'Ecological Quality Ratio (EQR) intègre la note indicielle calculée selon la formule établie, rapportée au niveau de référence de la zone naturelle dans laquelle l'échantillon a été prélevé. L'état écologique au site de prélèvement se détermine par rapport aux limites de classes d'état définies pour la zone considérée (MTES 2018a).

qui s'affranchisse en grande partie de ces différences naturelles. Les deux grands ensembles naturels repérés (la zone « Plaine » fortement minéralisée de Martinique, et la zone « Volcan » plus arrosée et sous l'effet d'une plus faible minéralisation naturelle de l'eau au nord de la Martinique et sur l'ensemble de la Basse-Terre de Guadeloupe) sont caractérisés par des forçages naturels différents qui influent sur le niveau de notation des sites de référence (Figure 5, § 1.5). Ceci conduit inévitablement à de sensibles décalages de niveau d'évaluation entre ces deux ensembles naturels à fortes particularités.

La construction de la grille d'EQR (*ecological quality ratio*) au relevé

Le principe de la conception de la grille d'EQR est résumé par la Figure 11 ci-dessous.

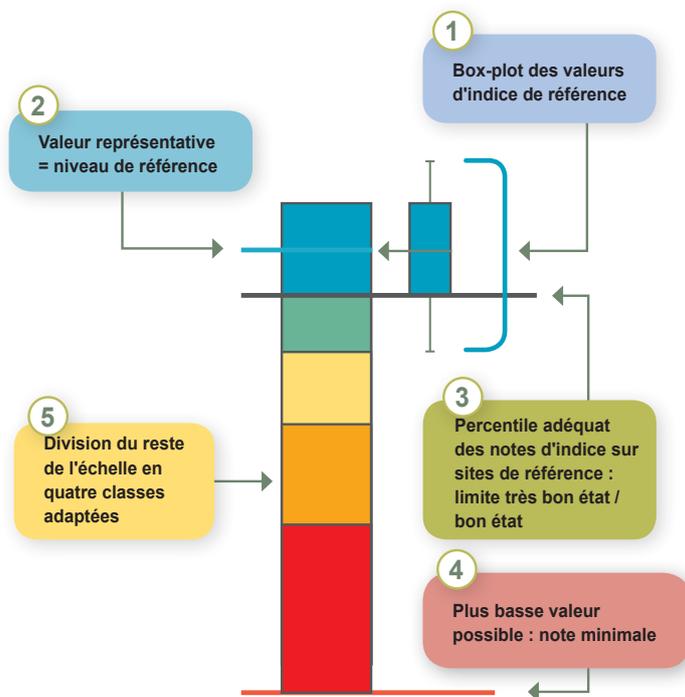


Figure 11. Schéma récapitulatif du principe de conception de la grille d'EQR (*ecological quality ratio*).

Chaque seuil de basculement d'une classe à l'autre est défini par une note indicienne seuil et une valeur d'EQR.

En ce qui concerne les classes de qualité écologique de chaque zone naturelle, la valeur d'EQR de chaque seuil de basculement d'une classe à l'autre est calculée en divisant la note d'IDA considérée (par exemple le 20^e percentile ou 15^e percentile) par la valeur de référence (par exemple la valeur médiane ou moyenne de l'IDA calculé sur les relevés des stations de référence).



Sur la base de ce principe, une démarche-expert a été conduite, aboutissant à plusieurs décisions argumentées.

En zone naturelle « Plaine » (Mornes du Sud et plaine du Lamentin en Martinique, sauf rivière La Lézarde), les calculs reposent sur les notes IDA de 100 relevés disponibles sur cette zone.

La valeur représentative de la classe « très bon état » (TBE) est définie par la moyenne des valeurs d'IDA calculées sur les sites de référence (IDA = 18,011 arrondi à 18,0 ; EQR = 1), car elle tient mieux compte que la médiane de la forte variabilité des notes de cette zone.

L'EQR optimal de basculement TBE-BE (bon état) correspond au 20^e percentile de la distribution des notes de référence (IDA = 17,19 ; EQR = 0,955) arrondi à la baisse, toujours dans le but d'intégrer la forte variabilité naturelle de la zone, mais en minimisant l'effet des valeurs extrêmes observées pour ces sites de référence de la zone « Plaine ». Les valeurs définitivement retenues pour le basculement TBE-BE sont IDA = 16,65 et EQR = 0,925.

Les limites de basculement entre les classes suivantes ont fait l'objet de simulations dans lesquelles différents EQR de basculement et leur conséquence sur le classement des stations ont été étudiés et expertisés collectivement. Les limites de classes entrées en vigueur sont présentées ci-dessous (**Tableau 4**).

Tableau 4. Limites des classes d'état écologique de la zone « Plaine » (Mornes du Sud et plaine du Lamentin en Martinique, sauf rivière La Lézarde) pour l'indice diatomique antillais (IDA)

Classe d'état	Niveau de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Grille d'EQR	1	≥ 0,925	≥ 0,8	≥ 0,61	≥ 0,38	0,38 - 0
Notes d'IDA	18,0	≥ 16,65	≥ 14,4	≥ 10,98	≥ 6,84	6,84 - 0
Effectif de relevés pour chaque classe		45	20	18	9	8
Pourcentage de relevés pour chaque classe		45 %	20 %	18 %	9 %	8 %

En zone naturelle « Volcan » (Basse-Terre de Guadeloupe et Pitons du Nord en Martinique), les calculs reposent sur les notes IDA de 507 relevés disponibles sur cette zone.

La valeur représentative de la classe TBE est définie par la moyenne des valeurs d'IDA calculées sur les sites de références (IDA = 19,631 arrondi à 19,63 ; EQR = 1). Par rapport à la médiane, ce choix a permis une meilleure prise en compte du référentiel de valeurs des sites de référence de basse altitude, dont les valeurs d'IDA sont sensiblement plus faibles que celles des sites amont.

L'EQR optimal de basculement TBE-BE correspond au 15^e percentile de la distribution des notes de référence (IDA = 17,961 ; EQR = 0,915), afin d'intégrer au mieux la variabilité de la notation dans les conditions de référence de cette zone.

Les limites de basculement entre les classes suivantes ont fait l'objet de simulations dans lesquelles différents EQR de basculement et leur conséquence sur le classement des stations ont été étudiés. Les limites de classes entrées en vigueur sont présentées ci-dessous (**Tableau 5**).

Tableau 5. *Limites des classes d'état écologique de la zone « Volcan » (Basse-Terre de Guadeloupe et Pitons du Nord en Martinique) pour l'indice diatomique antillais (IDA)*

Classe d'état	Niveau de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Grille d'EQR	1	≥ 0,975	≥ 0,915	≥ 0,60	≥ 0,34	0,34 - 0
Notes d'IDA	19,63	≥ 19,139	≥ 17,961	≥ 11,778	≥ 6,674	6,674 - 0
Effectif de relevés pour chaque classe		227	154	114	9	3
Pourcentage de relevés pour chaque classe		44,77 %	30,37 %	22,49 %	1,78 %	0,59 %



L'acquisition du matériel biologique

3

3.1 La période d'échantillonnage

Aux Antilles, bien qu'il y ait deux périodes climatiques identifiées – l'hivernage (de juillet à octobre), chaud et humide, au cours duquel des épisodes cycloniques sont à redouter et le carême (de février à avril) plus sec (**Figure 12**) – l'analyse du jeu de données biotiques n'a pas mis en évidence de variations significatives de la diversité ou de la nature des peuplements diatomiques. Il est néanmoins recommandé de privilégier la saison sèche, pendant laquelle les événements climatiques de forte intensité sont beaucoup plus rares.



Figure 12. Saisons climatiques aux Antilles. D'après site web <http://www.meteofrance.gp>.

En effet, comme le précise la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), l'intensité des événements hydrologiques antérieurs au prélèvement doit être prise en compte :

- après des événements hydrologiques de faible intensité (crues modérées accompagnées d'un panache turbide, mais n'ayant pas entraîné le déplacement des substrats durs, inondations de quelques jours...), il est recommandé d'attendre une semaine avant de faire des prélèvements ;
- après des événements hydrologiques de forte intensité (exondations durables, crues entraînant un remaniement des supports de prélèvement), il est recommandé d'attendre quatre semaines au minimum avant d'effectuer les prélèvements ;
- sur une rivière présentant un assec, ce qui s'apparente au cas des cours d'eau temporaires, il est nécessaire d'attendre au moins deux mois après la remise en eau avant de procéder à un échantillonnage représentatif de la qualité de l'eau.

Une des difficultés inhérentes aux Antilles vient du fait qu'il y a peu de stations limnigraphiques et que la qualification des événements hydrologiques reste souvent empirique.

3.2 Les conditions de prélèvement

Les prélèvements doivent être réalisés conformément à la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), dont les recommandations essentielles sont rappelées ci-dessous. Néanmoins, compte tenu des caractéristiques particulières liées à l'environnement tropical insulaire et aux peuplements diatomiques des Antilles françaises, certaines adaptations doivent être considérées.

Le prélèvement en faciès lotique de type « radier » (**Figure 13**) est préconisé en priorité, même si ce n'est pas le faciès dominant du site. La vitesse de courant, estimée visuellement à partir de la vitesse de surface, doit idéalement être supérieure à 20 cm/s. Ces conditions minimisent l'effet de dérive-dépôt des diatomées sur les substrats, ce qui biaiserait le résultat en augmentant la proportion de valves provenant de l'amont. Les milieux lenticules ne sont prospectés que par défaut.

Un seul échantillon est réalisé par station, quel que soit le nombre de supports prospectés.

La nature des supports à échantillonner est hiérarchisée comme suit :

- a. Support dur naturel le plus stable possible (blocs en priorité, puis pierres et enfin cailloux),

Compte tenu du caractère torrentiel des cours d'eau de la Guadeloupe et de la Martinique (transport solide important) une attention particulière a été portée au choix des supports afin de s'assurer qu'ils aient une stabilité maximale même lors de forts événements hydrauliques et qu'ils aient été immergés toute l'année. C'est pourquoi les substrats lourds, présentant une surface prélevable d'environ 1000 cm² et/ou bien fixés au fond du cours d'eau, présents dans la veine centrale de la rivière à une profondeur minimale de 15 cm, doivent être privilégiés.

- b. Support dur artificiel (piles de pont, quais,...).

Les supports verticaux, souvent des aménagements comme des piles de pont, sont relativement rares aux Antilles françaises. En revanche, les faciès lotiques ne le sont pas. Lorsqu'un effet de dérive-dépôt est suspecté, le rinçage délicat du substrat dans le courant est préconisé.



Les prélèvements sur support végétal n'ont pas été testés et ne doivent pas être réalisés.



Aucun prélèvement sur support meuble (sable, vases...) ni sur bois ne doit être réalisé car la présence d'espèces saprophytes biaiserait la note indiciaire.



La surface à échantillonner afin d'obtenir une flore diatomique représentative est d'environ 100 cm² au minimum, quels que soient le nombre et la nature des supports prospectés et la technique d'échantillonnage utilisée. Dans certains cas, cette surface pourra être étendue à 1 000 cm² ou plus (substrats pauvres en biofilm diatomique). Généralement, l'échantillonnage est réalisé sur cinq substrats différents (20 cm² par substrat).

La biomasse, globalement faible, des diatomées aux Antilles françaises est relativement variable d'une saison à l'autre et encore plus d'un cours d'eau à un autre. La surface échantillonnée doit donc être adaptée à l'abondance estimée de matériel biologique dans le prélèvement en cours (en fonction de la densité et de la couleur de l'échantillon dans le fond de la cuvette). Le nombre de substrats à prélever doit être compris entre 10 et 20 (voire plus) pour une surface cumulée pouvant dépasser 1 000 cm².

Si les supports sont recouverts d'algues filamenteuses ou de bryophytes, il convient de préférer les supports exempts de végétaux. Cependant si plus de 75 % des supports en sont porteurs, alors, au contraire, il est préférable de choisir ces supports et de les échantillonner en ayant au préalable ôté les végétaux.

Il est recommandé d'éviter les zones ombragées, peu biogènes et favorables aux espèces hétérotrophes.

Si toutes les conditions (**Figure 13**) ne peuvent être réunies sur la station choisie, il est recommandé de prioriser la disponibilité des supports durs naturels au faciès d'écoulement, lui-même à privilégier aux conditions d'éclairement.



Figure 13. Exemples de conditions de prélèvement :
a) conditions idéales (présence de nombreux substrats durs, faciès lotique, ensoleillement), Grande Rivière à Goyave, Guadeloupe ;
b) conditions défavorables (crue, substrats invisibles, faciès lentique).

3.3 La méthode de prélèvement

Le matériel de prélèvement recommandé est la brosse à dents ou le scalpel (Figure 14). Afin d'éviter toute contamination entre échantillonnages successifs, le matériel doit être renouvelé à chaque prélèvement et en aucun cas réutilisé.

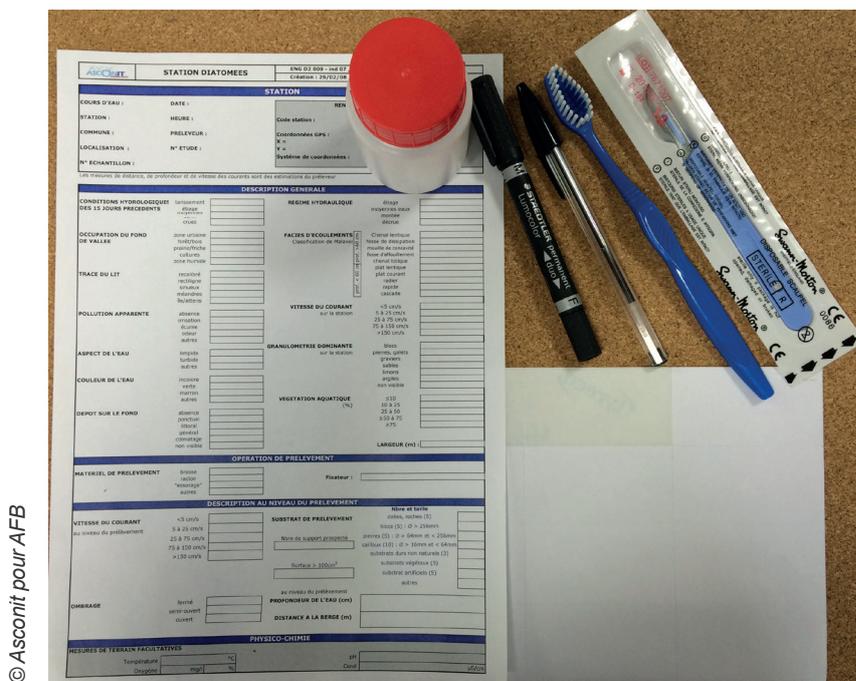


Figure 14. Matériel indispensable au prélèvement d'un échantillon de biofilm : fiche terrain, flacon hermétique, brosse à dents et scalpel, étiquettes, stylo, marqueur.

Le biofilm est prélevé le plus souvent par brossage des supports à l'aide d'une brosse à dents (Figure 15). La surface du support est systématiquement brossée puis rincée à l'éthanol à l'aide d'une pissette (ou à l'eau distillée lorsque le prélèvement est ensuite fixé avec une solution de formaldéhyde). Le prélèvement peut être recueilli directement dans le flacon hermétique (un volume de 100 ml est conseillé) ou dans un récipient plus large, préalablement soigneusement rincé pour éviter toute contamination, avant d'être transféré dans le flacon hermétique. Le préleveur doit veiller à récupérer le biofilm sur toute son épaisseur afin de ne pas privilégier les espèces motiles ou dressées présentes dans l'épaisseur ou en surface du biofilm, au détriment des espèces prostrées (Figure 4, page 11).



Figure 15. a) Récolte du matériel biologique par brossage. b) Prélèvement peu coloré indiquant une quantité encore trop faible de biofilm.



3.4 Les données complémentaires

Le prélèvement de biofilm doit systématiquement être accompagné d'éléments descriptifs du site (**Tableau 6**), qui seront utiles à la présentation, la bancarisation et l'interprétation des résultats.

Les informations géodésiques et de projection

Le relèvement des coordonnées géographiques de la station échantillonnée est indispensable pour vérifier la conformité de la position du point de prélèvement par rapport à la localisation de la station de mesure. Ces coordonnées sont également indispensables au calcul des notes d'IDA à l'aide du module de calcul en libre accès sur le site du système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE : <http://www.see.eaufrance.fr>)

Le système géodésique WGS84 doit être employé. La longitude (encodée X) et la latitude (encodée Y) du site de prélèvement doivent être relevées en mètres selon le système de projection adapté aux Antilles : UTM zone 20N.

Les mesures des paramètres physico-chimiques *in situ*

Afin de vérifier que les conditions environnementales au moment du prélèvement sont cohérentes avec les conditions environnementales attendues sur le site considéré, la température de l'eau (°C), le pH, le taux d'oxygène dissous (mg/L), la saturation en oxygène (%) et la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) doivent être mesurés à l'aide de sondes correctement calibrées et selon les normes en vigueur.

Les images du site de prélèvement

Bien que cela ne soit pas indispensable, il est parfois utile de pouvoir visualiser la station (vue amont, vue aval, vue de la zone de prélèvement, substrats prélevés) lors de l'interprétation des résultats.

Les conditions hydrologiques et morphologiques

Il est conseillé d'accompagner ces données et photographies du descriptif des conditions hydrologiques et morphologiques de la station au moment du prélèvement (**Tableau 6**). Tous ces éléments sont généralement consignés sur une « fiche terrain » conçue à cet effet. Un exemple de fiche terrain, conçu par Irstea, est téléchargeable sur le site « Hydrobio DCE » (<https://hydrobio-dce.irstea.fr/telecharger/diatomees-ibd/>)².

² A compter du 2^e semestre 2019, ces informations de référence seront hébergées sur le site de l'AFB.

Tableau 6. Éléments descriptifs accompagnant tout prélèvement de diatomées

	Élément descriptif	Méthode d'acquisition	Unité
Informations générales sur la station	Opérateur	Organisme/personne en charge de l'échantillonnage	
	Code station	Code SANDRE des stations du réseau de surveillance	
	Cours d'eau	Nom de la rivière	
	Station	Nom de la station	
	Commune	Nom de la commune	
	Code INSEE	Code de la commune	format 00000
	Longitude	WGS84, UTM zone 20N	mètres
	Latitude	WGS84, UTM zone 20N	mètres
	Altitude	de la station	mètres
	Réseau	Réseau d'appartenance de la station (Référence, RCS, RCO, contrôle d'enquête)	
Informations sur la station au moment du prélèvement	Date / heure	Jour du prélèvement / heure	jj/mm/aaaa/hh:mn
	Conditions hydrologiques	Inconnue/Nulle/Étiage/Forte/Hautes eaux	Nomenclature SANDRE (0/1/2/3/4)
	Largeur	Largeur moyenne du lit mouillé à l'endroit de la station (Télémetre ou estimation visuelle)	mètres
	Température	Température de l'eau mesurée à l'aide d'une sonde	°C
	Conductivité	Mesurée à l'aide d'une sonde	µS/cm
Informations sur le prélèvement	Support	- Pierres, galets (25-250 mm) - Roches, dalles, blocs (taille supérieure)	Nomenclature SANDRE (E/J)
	Classe de vitesse du courant	Estimation visuelle de la vitesse en surface (<5/5-25/25-75/75-150/>150)	Nomenclature SANDRE (cm/s) (N1/N3/N5/N4/N2)
	Ombrage	Fermé/semi-ouvert/ouvert	



3.5 La fixation des échantillons

La fixation des échantillons vise à arrêter la division cellulaire afin de respecter les proportions relatives entre les espèces au moment du prélèvement. Elle vise aussi à bloquer le développement de flores hétérotrophes (champignons, bactéries...) susceptibles de nuire à la bonne conservation des frustules diatomiques et à la qualité ultérieure des observations.

Selon la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), l'utilisation d'une solution tamponnée de formaldéhyde³ ou d'éthanol est recommandée pour la conservation des échantillons à long terme.

L'éthanol est une alternative moins risquée pour la santé humaine et l'environnement. L'emploi d'éthanol à 95 % permet d'obtenir facilement une concentration finale à 70 % (v/v).

Fiche sécurité formaldéhyde : molécule considérée comme cancérigène et mutagène selon les diverses classifications en vigueur ; elle présente différentes mentions de danger selon le règlement (UE) n°605/2014 du 5 juin 2014 (6^e adaptation au progrès technique du règlement CLP 1272/2008) :

- H350 - Peut provoquer le cancer
- H341 - Susceptible d'induire des anomalies génétiques
- H301 - Toxique en cas d'ingestion
- H311 - Toxique par contact cutanée
- H331 - Toxique par inhalation
- H314 - Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves
- H317 - Peut provoquer une allergie cutanée



³ Une solution de formaldéhyde (CH₂O) tamponnée à 4 % v/v (minimum) peut être obtenue par dilution d'une solution concentrée de formaldéhyde à 40 % (v/v) environ dans une solution tamponnée à pH 7. Le HEPES (N-2-hydroxyméthylpipérazine-N-2'-acide sulfonique), le borate et l'hexaméthylène-tétramine sont des tampons adaptés. La solution finale doit être de 1 % à 4 % (v/v) en fonction de la quantité de matières organiques estimée dans l'échantillon.

3.6 L'identification des échantillons

Chaque échantillon doit être identifié dès son prélèvement. Les mentions utiles à préciser sont :

- le nom du cours d'eau ;
- le nom et le code de la station ;
- la date ;
- le nom du préleveur ;
- le conservateur (nom, volume) ;
- les substrats (type, nombre).

3.7 Le traitement des échantillons et la confection des préparations permanentes

Le matériel

Le traitement du matériel biologique collecté fait appel au matériel décrit dans la norme NF T 90-354 (Afnor 2016) :

- hotte aspirante ou système équivalent ;
- plaque chauffante et four à sable (facultatif) ;
- verrerie de laboratoire (tubes à essai, coupelles, lames, lamelles de préférence rondes). Ces tubes doivent être résistants aux oxydants ou aux acides utilisés pour nettoyer les diatomées. L'utilisation de béciers plutôt que de tubes à essai est recommandée afin d'éviter les débordements et de favoriser une circulation lente et douce des liquides lors du chauffage. Les frustules sont ainsi mieux nettoyés et préservés ;
- pipettes ;
- cahier de laboratoire pour consigner les informations utiles au fur et à mesure des opérations ;
- centrifugeuse et cuve à ultrason sont facultatives ;
- les réactifs correspondants aux méthodes de traitement utilisées :
 - solution de peroxyde d'hydrogène à 30 % (v/v) minimum,
 - acide chlorhydrique à 30 % (v/v) environ,
 - acide nitrique concentré,
 - acide sulfurique concentré,
 - permanganate de potassium,
 - acide oxalique saturé ;
- résine de montage à indice de réfraction élevé (supérieur à 1,7), par exemple Naphrax®, (Brunel Microscopes Ltd),
- toluène pour la dilution de la résine de montage,
- eau déminéralisée ou distillée.



Le principe du traitement

L'identification des diatomées étant basée sur l'examen microscopique de leur frustule siliceux, les échantillons sont traités afin d'éliminer le protoplasme et toute la matière organique présente dans l'échantillon. La plupart des détails structuraux des frustules sont à la limite de la résolution de la lumière, c'est pourquoi les frustules nettoyés doivent être placés dans une résine réfringente.

Le traitement comporte plusieurs étapes comme le décrit la Norme NF T 90-354 (Afnor 2016). D'autres méthodes sont également décrites dans la norme européenne NF EN 13496 (CEN 2014).

Certaines étapes peuvent être adaptées afin d'améliorer la qualité des lames permanentes fabriquées à partir des échantillons antillais.

Une partie aliquote de l'échantillon est prélevée pour être traitée. L'aliquote est débarrassée du conservateur utilisé pour la fixation par des cycles de lavage/décantation à l'eau distillée ou déminéralisée dans des béchers. Les béchers sont couverts pour éviter toute contamination entre échantillons.

L'échantillon est débarrassé de la matière organique par un traitement à chaud avec de l'eau oxygénée. La température, la durée du traitement et la concentration finale en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 30 % (v/v) sont variables en fonction de l'estimation de la quantité de matière organique de l'échantillon (de 2 à 6 volumes d' H_2O_2 sont conseillés).

L'échantillon peut subir un long traitement au peroxyde d'hydrogène à 30 % (v/v) à froid à raison de six volumes d'eau oxygénée pour un volume d'échantillon, pendant deux à trois jours avant que la solution soit chauffée à 90 °C environ pendant une dizaine d'heures.

Avant le traitement au peroxyde d'hydrogène ou après refroidissement de l'échantillon, quelques millilitres d'acide chlorhydrique concentré sont ajoutés pour éliminer le carbonate de calcium.

Ces deux dernières étapes (traitement au peroxyde d'hydrogène à chaud, refroidissement et ajout d'acide chlorhydrique) peuvent être renouvelées une ou deux fois pour garantir la qualité optimale des lames.

Quatre cycles de rinçage par dilution et décantation dans de l'eau distillée ou déminéralisée sont ensuite effectués pour éliminer tous les résidus des produits chimiques utilisés. La décantation nécessite une dizaine d'heures au minimum, mais peut être accélérée par centrifugation (1500 tours/min pendant trois minutes).

Le culot est ensuite mis en suspension dans un volume d'eau distillée de manière à obtenir une suspension légèrement trouble.

Une goutte de la suspension est déposée sur une lamelle préalablement dégraissée (dans une solution aqueuse tensioactive obtenue par exemple avec quelques gouttes de liquide vaisselle). Attendre l'évaporation complète du liquide à température ambiante en la protégeant de la poussière et des courants d'air, ou placer la lamelle dans une étuve à une température inférieure à 40 °C pour accélérer l'évaporation.

Déposer une ou plusieurs gouttes de résine de montage (par exemple du Naphrax®) sur les lames préalablement identifiées.

À l'aide d'une pince, déposer les lamelles face couverte de diatomées sur la résine, poser la lame sur la plaque chauffante afin de laisser évaporer tout le solvant contenu dans la résine.

Lorsque les bulles de solvant se font plus rares, presser uniformément et délicatement la lamelle afin d'éliminer les dernières bulles et d'obtenir une répartition uniforme de la résine sur toute la surface de la lamelle.

Après refroidissement, les éventuelles bavures de résine devront être éliminées avec une lame de rasoir.

Une vérification de la concentration en diatomées en conditions réelles de comptage (grossissement x1000) est réalisée. Celle-ci doit être de 10 à 20 unités diatomiques par champs. Dans le cas contraire, il faut ajuster la dilution ou la concentration de la solution, jusqu'à obtention de la densité correcte.

La préparation permanente est alors prête pour la détermination et l'inventaire.

La réalisation de préparations permanentes de bonne qualité demande une certaine pratique.

Les difficultés couramment rencontrées

Certaines difficultés peuvent être rencontrées au cours des étapes de traitement de l'échantillon et de la fabrication des lames permanentes. Voici celles qui semblent plus fréquemment observées lors du traitement des échantillons prélevés aux Antilles.

Une réaction d'ébullition très forte lors de l'ajout des réactifs.

Il est recommandé d'ajouter les réactifs lentement en plusieurs étapes et d'augmenter la température progressivement. Le long traitement à l'eau oxygénée à froid préalable au traitement à chaud minimise le phénomène tout en améliorant la qualité finale des préparations permanentes.

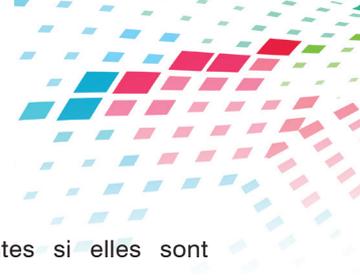
La présence de matière organique résiduelle formant une gangue autour des frustules ou des valves et gênant l'observation (**Figure 16**).

C'est la raison pour laquelle, plusieurs cycles complets de traitement à l'eau oxygénée concentrée à chaud, puis à l'acide chlorhydrique peuvent être nécessaires.



© Asconit pour AFB

Figure 16.
Présence de substances d'aspect mucilagineux autour des frustules ou des valves des diatomées.



La présence de silhouettes de cyanobactéries, gênantes si elles sont abondantes.

Le traitement au peroxyde d'hydrogène et à l'acide chlorhydrique peut être complété d'un traitement à l'acide nitrique concentré à chaud pendant une demi-heure environ, en surveillant l'éventuelle ébullition de la solution.

Des frustules contiennent des bulles (Figure 17).



Figure 17. Présence de bulles dans les frustules de diatomées.

Si les bulles sont peu nombreuses, la lame peut être chauffée à nouveau quelques secondes sur la plaque. En cas d'échec, monter une nouvelle lame, en ajoutant une goutte de xylène, de toluène ou d'éthanol sur la lamelle chargée des diatomées avant de la poser sur la résine de montage. En s'évaporant, le solvant sera remplacé par la résine.

La quantité de matériel biologique est insuffisante du fait de la biomasse algale souvent faible aux Antilles.

Il est recommandé de prélever une grande quantité de matériel biologique, sur une surface dépassant parfois 1 000 cm². La collecte des diatomées dans un récipient et le rinçage de la surface échantillonnée avec le biofilm déjà prélevé sans nouvel ajout d'éthanol permettent également de concentrer l'échantillon.

3.8 L'archivage des données, des préparations permanentes et des prélèvements

Comme précisé dans la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), les lames d'observation constituent des préparations permanentes.

Il est néanmoins conseillé de conserver également le reste de l'échantillon traité qui n'a pas été utilisé pour la confection des lames, ainsi que le reste de l'échantillon brut non traité.

Tous ces éléments doivent être archivés de manière cohérente afin de pouvoir les utiliser dans le cadre d'une nouvelle analyse, pour la confection de lames permanentes ou encore l'observation du matériel en microscopie électronique.

Le matériel traité peut être conservé dans l'éthanol pour éviter toute croissance microbienne ou toute dissolution chimique des diatomées. Le mélange glycérine/éthanol présente l'intérêt de mieux préserver les valves. Le matériel brut peut être stocké en l'état.

L'acquisition des données biologiques : l'inventaire des diatomées

4

4.1 L'analyse des lames permanentes

Le matériel

Les observations peuvent être réalisées au microscope avec un objectif de x100 à immersion pour un grossissement final de x1000, en contraste de phase, en contraste interférentiel ou en fond clair. Le mode fond clair peut être pénalisant pour certaines espèces très peu silicifiées comme *Mayamaea permitis* ou *Fistulifera saprophila*. Le contraste de phase est dans ce cas le meilleur moyen de les détecter.

La méthode de comptage

La méthode de comptage est comparable à celle décrite dans la norme NF T 90-354 (Afnor 2016).

Après un balayage exhaustif de la lame afin d'identifier le plus d'espèces possible, un comptage par champs (par exemple grâce à un balayage par transects, **Figure 18**) est effectué sur au moins 500 unités diatomiques afin de dresser un inventaire taxonomique. Il est recommandé d'éviter les champs situés en bordure de la lame afin de limiter un effet de bord (abondance relative des diatomées différente sur les bords). L'unité de comptage, ou unité diatomique, est la valve. Le frustule entier comporte deux valves, soit deux unités diatomiques.

Une attention particulière est apportée pour ne pas compter plus d'une fois une unité diatomique.

Les diatomées cassées ne sont prises en compte que si au moins les $\frac{3}{4}$ de la valve sont visibles et identifiables, ce qui évite de compter deux fois la même unité. La même règle est utilisée si l'unité dépasse du champ d'observation. Les taxons observés sont régulièrement photographiés pour éviter toute dérive d'identification pour les taxons déjà connus, pour distinguer certains morphotypes dont l'identification est parfois plus aisée en comparant les photographies ou encore pour une recherche ultérieure lorsque l'identification s'avère délicate.

Le nombre d'unités diatomiques à compter est supérieur à celui préconisé pour le calcul de l'IBD. Ce nombre correspond à un bon compromis entre l'effort d'analyse et le nombre d'espèces prises en compte pour le calcul de l'IDA et permet notamment une meilleure prise en compte des taxons d'alerte (cf. 2.1.4 page 19). Il a été déterminé lors de comptages à épuisement (détermination du nombre de nouveaux taxons observés par tranche de 100 valves comptées à concurrence de 1 000 valves).

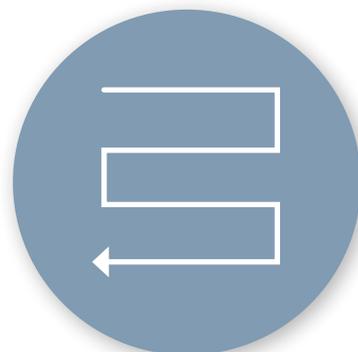


Figure 18. Balayage de la lame par transects horizontaux (d'après la norme NF T 90-354, Afnor 2007, modifié).



Les ouvrages de référence et autres ouvrages utiles

Les ouvrages de référence pour la détermination des diatomées aux Antilles

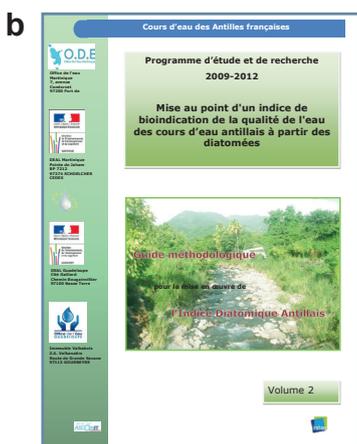
La flore des diatomées des Antilles françaises (Figure 19a), en six volumes (Eulin *et al.* 2017a,b,c,d,e,f), complète le présent guide pour la mise en œuvre de l'IDA. Elle remplace le guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'IDA, volumes 1 et 2 (Asconit & Irstea 2013a, 2013b ; Figure 19b).

Ces documents sont téléchargeables sur le site de l'Observatoire de l'eau de Guadeloupe (<http://www.observatoire-eau-guadeloupe.fr/outils/base-documentaire/qualite-des-milieus-aquatiques/flore-diatomee-des-antilles-francaises>, rubrique « Outils/Documentation »). Une recherche par mot clé est ensuite requise.

Les autres ouvrages utiles

Certaines espèces présentes aux Antilles sont cosmopolites ou déjà inventoriées dans le bassin Caraïbes. Elles ont donc déjà été décrites et illustrées dans des flores qui peuvent se révéler utiles pour l'identification des diatomées.

Les ouvrages les plus utiles sont référencés dans la bibliographie (p. 46 et suivantes).



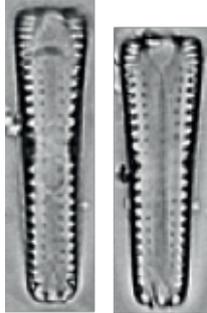
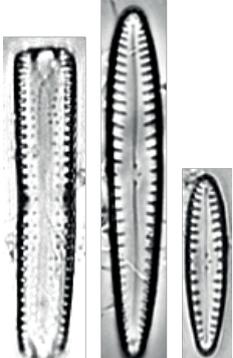
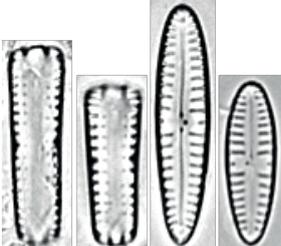
Les difficultés de détermination couramment rencontrées

Quelques particularités spécifiques à la flore des Antilles méritent la vigilance des opérateurs :

- le mode de calcul de l'IDA fait appel à des taxons-d'alerte, tolérants à la pollution, qu'il est essentiel d'identifier correctement sous peine de biaiser la note indiciaire de manière significative ;
- il existe des complexes taxonomiques particulièrement diversifiés aux Antilles, souvent sources de confusion ;
 - le complexe *Achnantheidium minutissimum* : comme en métropole, les taxons (morphotypes ou espèces) appartenant à ce groupe sont nombreux et morphologiquement très proches ; il peut être utile de prendre des photos et de les comparer aux illustrations des guides iconographiques pour les déterminer correctement ;
 - les taxons des complexes *Nitzschia frustulum* et *Gomphonema parvulum* peuvent aussi être difficiles à distinguer ;
 - l'identification des espèces appartenant au complexe *Gomphonema pumilum* comporte aussi des difficultés majorées par le fait que les vues connectives des frustules entiers sont généralement abondantes et que la distinction des différentes espèces du complexe en vue connective est aléatoire voire impossible. En cas d'incertitude, il est conseillé de compter indifféremment les vues connectives et de les séparer à la fin de l'inventaire dans les mêmes proportions que celles observées pour les vues valvaires (Tableau 7, pages suivante). Une aide à l'identification de ces taxons a été intégrée au guide iconographique.

Figure 19. (a) La flore des diatomées des Antilles françaises, volume introductif (Eulin *et al.* 2017a). (b) Le guide méthodologique pour la détermination des diatomées des Antilles, volume 2 (Asconit consultants & Irstea 2013b).

Tableau 7. Mode de dénombrement des vues connectives indéterminées au sein du complexe *Gomphonema pumilum*

Illustration en microscopie optique (x1500)	Dénomination	Nombre de valves comptées	Nb de valves enregistrées	Nb total de valves enregistrées
	<i>Gomphonema</i> appartenant au complexe <i>Gomphonema pumilum</i> vue connective indéterminée	40	-	-
	<i>Gomphonema designatum</i> vue valvaire	5 (25 % des vues valvaires)	5	5 + 12 = 17
	<i>Gomphonema designatum</i> vue connective	2	$2 + (0,25 \times 40) = 12$	
	<i>Gomphonema bourbonense</i> vue valvaire	15 (75 % des vues valvaires)	15	15 + 33 = 48
	<i>Gomphonema bourbonense</i> vue connective	3	$3 + (0,75 \times 40) = 33$	



4.2 La bancarisation des résultats

L'encodage des taxons

Afin de bancariser et traiter les résultats d'inventaire, un encodage de la dénomination des taxons est nécessaire.

Les codes métier utilisés à ce jour sont les codes préexistants ou créés dans le logiciel Omnidia (Lecoïnte *et al.* 1993). Ils ont été utilisés au cours du développement de l'indicateur pour la saisie des données. Il ont été systématiquement repris pour les espèces pour lesquelles ce code préexistait. Le logiciel Omnidia ne peut cependant pas être utilisé pour le calcul de l'IDA et ne présente donc pas d'intérêt, même pour la bancarisation des données floristiques.

Les autres espèces inventoriées aux Antilles qui, bien que reconnues et illustrées dans le guide iconographique (Asconit consultants & Irstea 2013a, 2013b), ne sont pas encore décrites ou associées à une référence dans la bibliographie mondiale, se sont vu affecter un code métier constitué, en règle générale, des deux ou trois premières lettres du genre et d'un nombre à un ou deux chiffres.

La liste des taxons et de leurs codes est fournie en annexe 1 (p. 51).

Afin que les données puissent être bancarisées dans une base de données nationale et utilisées par le système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE), les taxons antillais sont en voie d'être dotés d'un code SANDRE. Cependant, et jusqu'à nouvel ordre, le calcul de l'IDA via le SEEE se fait avec les codes métier. Les codes SANDRE n'auront un intérêt pour le calcul de l'IDA que lorsqu'ils seront pris en compte par le SEEE. D'ici là, les codes SANDRE auront leur utilité pour l'import des données dans les banques nationales (Naiades).

La saisie et la bancarisation des données

Afin de pouvoir analyser, conserver ou encore transmettre les inventaires floristiques, il convient de les enregistrer sous un format informatique.

Les tableurs du type Excel® conviennent parfaitement à cet usage.

Les données floristiques doivent être associées aux données descriptives de la station et aux paramètres hydromorphologiques et physico-chimiques mesurés lors du prélèvement.

Toutes ces données doivent être bancarisées sur une fiche sur le modèle de celle qui est téléchargeable sur le site Hydrobio DCE (<https://hydrobio-dce.irstea.fr/telecharger/diatomees-ibd/fiche-prelev-diato-RCS>).

Le calcul de l'IDA est réalisé à l'aide d'un module intégré au système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE ; § 5.2).



Le calcul de l'IDA

5

5.1 La formule de calcul

$$IDA = [\sum Ab_{relative}^+ * (NbEsp^+ / RS)] - [1 * [\sum Ab_{relative}^- * (NbEsp^- / RS)]] - [3 * [\sum Ab_{relative}^{2-} * (NbEsp^{2-} / RS)]]$$

où : $Ab_{relative}$ est l'abondance relative en « Taxon + », « - » ou « 2 - » ; $NbEsp$ est le nombre d'espèces de chaque statut du relevé et RS la richesse spécifique du relevé en taxons constitutifs de l'IDA. Les facteurs multiplicatifs 1 et 3 sont les valences d'altération de chaque type d'espèce-sentinel.

La formule de calcul de l'IDA ci-dessus, fait intervenir deux métriques.

- > La première métrique fait intervenir l'abondance relative globale du relevé en « Taxon + ».
- > La seconde métrique mesure l'intensité d'altération anthropique. Elle fait intervenir l'abondance relative des taxons d'alerte, pondérée de leur valence d'altération respective.

Dans un souci de standardisation, il a été décidé de transformer la note brute en une notation de 0 à 20 et d'adopter pour zéro un seuil minimal approché de note naturelle, mais jamais atteint dans les situations réelles (ici, cette limite inférieure a été arrêtée à -150. La formule mise en œuvre est donnée ci-dessous.

$$Note\ IDA\ sur\ 20_{site} = \frac{Note\ IDA\ naturelle_{site} - \min(poids\ \ll\ Taxon\ 2-\gg * 100)}{\max(Note\ IDA\ naturelle_{site}) - (\min(poids\ \ll\ Taxon\ 2-\gg * 100))} * 20$$

où : \min est la note naturelle minimale possible (soit -150) ; \max , la note naturelle maximale possible (soit +100) ; et le poids « Taxon 2 - » est égal à -3.



C'est cette note indicielle sur 20 qui est ensuite convertie en EQR dans chaque zone naturelle, en se basant sur le niveau de référence interne à la zone pour calculer l'écart du relevé à la valeur de référence (échelle 0-1). La valeur d'EQR obtenue est ensuite confrontée à la grille adéquate d'évaluation en EQR (**Tableau 8**), afin d'évaluer l'état écologique sur la station au relevé.

5.2 Le calcul de l'IDA avec le système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE)

L'algorithme de référence pour le calcul d'IDA est en libre accès sur le site du SEEE : <http://www.seee.eaufrance.fr/>. Toutes les informations pour effectuer le calcul de l'indice directement depuis l'interface web ou l'API sont disponibles sur le site. La dernière version de cet indicateur est conforme à l'arrêté en vigueur et doit être utilisée pour les calculs d'indice réalisés pour l'évaluation de l'état des eaux. Pour la mise en forme des données d'entrée, il convient de se référer à la documentation mise à disposition, qui détaille également le format de sortie des résultats. À noter que l'indicateur restitue les valeurs brutes d'indice (note sur 20) ; la conversion en EQR et en classe d'état se fera au niveau du calcul de l'état biologique.

5.3 La grille d'interprétation de la note d'IDA au relevé

Une fois calculé, l'IDA doit permettre d'évaluer l'état écologique d'une masse d'eau au sein d'une HER ou, en ce qui concerne les Antilles, d'une zone naturelle (cf. 1.4). Pour ce faire, une grille d'interprétation des notes d'IDA a été définie (cf. 3.2, **Tableau 8**)

La grille d'interprétation produite doit être mise en œuvre au cours du 2^e plan de gestion DCE (2016-2021). Elle est prescrite réglementairement (arrêté « évaluation », MTES 2018a).

Tableau 8. Grille retenue pour l'interprétation de l'IDA en classes d'état écologique exprimées en EQR et en notes /20, et codes couleurs associés. Source : arrêté « évaluation », MTES 2018a

	Classe d'état	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
	Code couleur	C90M15J20N0 RVB : 26/217/204	C60M10J50N0 RVB : 102/230/128	C0M10J65N0 RVB : 255/230/89	C0M40J100N0 RVB : 255/153/0	C0M100J100N0 RVB : 255/0/0
Zone « Plaine » (Mornes du Sud et plaine du Lamentin en Martinique, sauf rivière La Lézarde)	EQR	≥ 0,925	≥ 0,8	≥ 0,61	≥ 0,38	0,38 - 0
	Notes d'IDA	≥ 16,65	≥ 14,4	≥ 10,98	≥ 6,84	6,84 - 0
Zone « Volcan » (Basse-Terre de Guadeloupe et Pitons du Nord en Martinique)	EQR	≥ 0,975	≥ 0,915	≥ 0,60	≥ 0,34	0,34 - 0
	Notes d'IDA	≥ 19,139	≥ 17,961	≥ 11,778	≥ 6,674	6,674 - 0

5.4 L'évaluation intégrée de l'état écologique au site

Selon l'Arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié (MTES 2018a), la classification de l'état pour l'élément de qualité biologique « diatomées » s'établit en calculant « la moyenne des indices des trois années consécutives les plus récentes pour lesquelles on dispose de données acquises et validées, conformément aux dispositions de l'article 12 (plus précisément de l'annexe 9). À défaut de celles-ci, on utilise les données disponibles et validées de la ou des années les plus récentes. » Cette moyenne est ensuite comparée aux mêmes limites de classe que celles déterminées pour l'évaluation au relevé (**Tableau 8**).



Niveau de confiance et d'incertitude

6

6.1 Le niveau de confiance de l'état écologique

Le niveau de confiance de l'état écologique pour les eaux douces de surface doit être évalué conformément à l'annexe 11 de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié (MTES 2018a).

Trois niveaux de confiance sont distingués (**Tableau 9** ci-dessous).

Tableau 9. Niveau de confiance de la classification de l'état écologique et codes couleurs associés (MTES 2018a)

Niveau de confiance	3 (Élevé)	2 (Moyen)	1 (Faible)	Pas d'information
Code couleur	C45M0J70N0 RVB: 140/255/77	C10M5J30N0 RVB: 230/242/179	C0M50J25N0 RVB: 255/128/191	Gris 30% RVB: 77/77/77

Ce niveau de confiance est évalué selon plusieurs critères dont le niveau d'incertitude associé à la méthode d'évaluation de l'élément de qualité déclassant déterminant l'état écologique de la masse d'eau.

6.2 Les incertitudes associées à l'IDA

Les incertitudes liées à l'utilisation de l'élément de qualité « diatomées »

De nombreux facteurs environnementaux peuvent influencer la composition du peuplement diatomique, c'est la raison pour laquelle les diatomées sont des bioindicateurs pertinents de la qualité de l'eau. En conséquence toute perturbation qui est considérée comme exceptionnelle pourra elle aussi influencer la composition du peuplement diatomique et l'interprétation de la qualité du milieu qu'on en déduira, sans pour autant être le reflet des conditions environnementales habituelles. Les diatomées sont néanmoins considérées comme un compartiment intégrateur des conditions de milieu des deux mois précédant le prélèvement, ce qui fait que les impacts des événements exceptionnels sont intégrés sur cette période de temps. Aux Antilles, il convient cependant d'être vigilant vis-à-vis de certains événements pouvant entraîner des biais.

Les variations brutales de niveau d'eau sont fréquentes. Il n'est pas toujours aisé de repérer les substrats assurément inondés au cours des deux mois précédents.

Les crues peuvent être très fugaces et difficiles à repérer. De plus les données de surveillance des crues ne sont pas disponibles en temps réel. Il n'est donc pas toujours possible de prélever à distance des crues avec certitude.

La biomasse du biofilm est variable et globalement faible. Les facteurs explicatifs avancés sont l'oligotrophie du milieu, le broutage intense notamment par les poissons du genre *Sicydium* et plusieurs espèces de mollusques, l'abrasion du biofilm liée aux crues régulières, la présence d'une ripisylve dense. L'influence de ces paramètres sur la biomasse, la composition spécifique du peuplement diatomique et par conséquent sur le calcul de l'IDA n'a cependant pas été étudiée.

Aux Antilles, comme en métropole, la détermination des espèces étant liée à l'observation du frustule, certaines pollutions toxiques entraînant la mort des cellules peuvent passer inaperçues tant que les cellules mortes restent présentes dans le biofilm.

Les incertitudes liées à la conception de l'outil

Une part des incertitudes liées à l'IDA peut être attribuée au volume du jeu de données à partir duquel l'IDA a été conçu. En effet, les analyses statistiques qui ont conduit à l'élaboration de l'indice reposent sur les données de 607 relevés diatomiques acquis entre 2009 et 2013. Or, il est évident que la robustesse de l'indice dépend de l'importance du jeu de données.

Les paramètres physico-chimiques qui sont couplés aux relevés diatomiques peuvent également être source d'incertitudes du fait de la variabilité des méthodes analytiques et des limites de quantification des laboratoires qui ont fourni ces données. Il faut aussi mentionner que dans ce programme, les données de chimie couplées avec un inventaire diatomique étaient basées sur un seul prélèvement ponctuel fait à la date du prélèvement biologique, avec le déficit de représentativité temporelle que cette stratégie implique. Ce fait est certainement peu influent sur les sites de référence (aux conditions hydrochimiques plus stables), dans la mesure où les prélèvements ont été faits hors épisode de grosse perturbation physique. Par contre, le défaut de représentativité temporelle est probablement plus problématique sur des sites subissant des impacts anthropiques, qui n'ont aucune raison d'être constants en nature et en intensité selon le moment du prélèvement.

Enfin, plus de 50 % des taxons, y compris parmi les taxons indiciaires et les taxons-d'alerte sont des espèces non décrites, peu ou pas illustrées dans la littérature et pour lesquelles les incertitudes de détermination sont majorées.

Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'outil

Chaque étape dans la mise en œuvre de la méthode peut entraîner des incertitudes. La **Figure 20** (page suivante) résume leurs origines et les moyens de les minimiser.

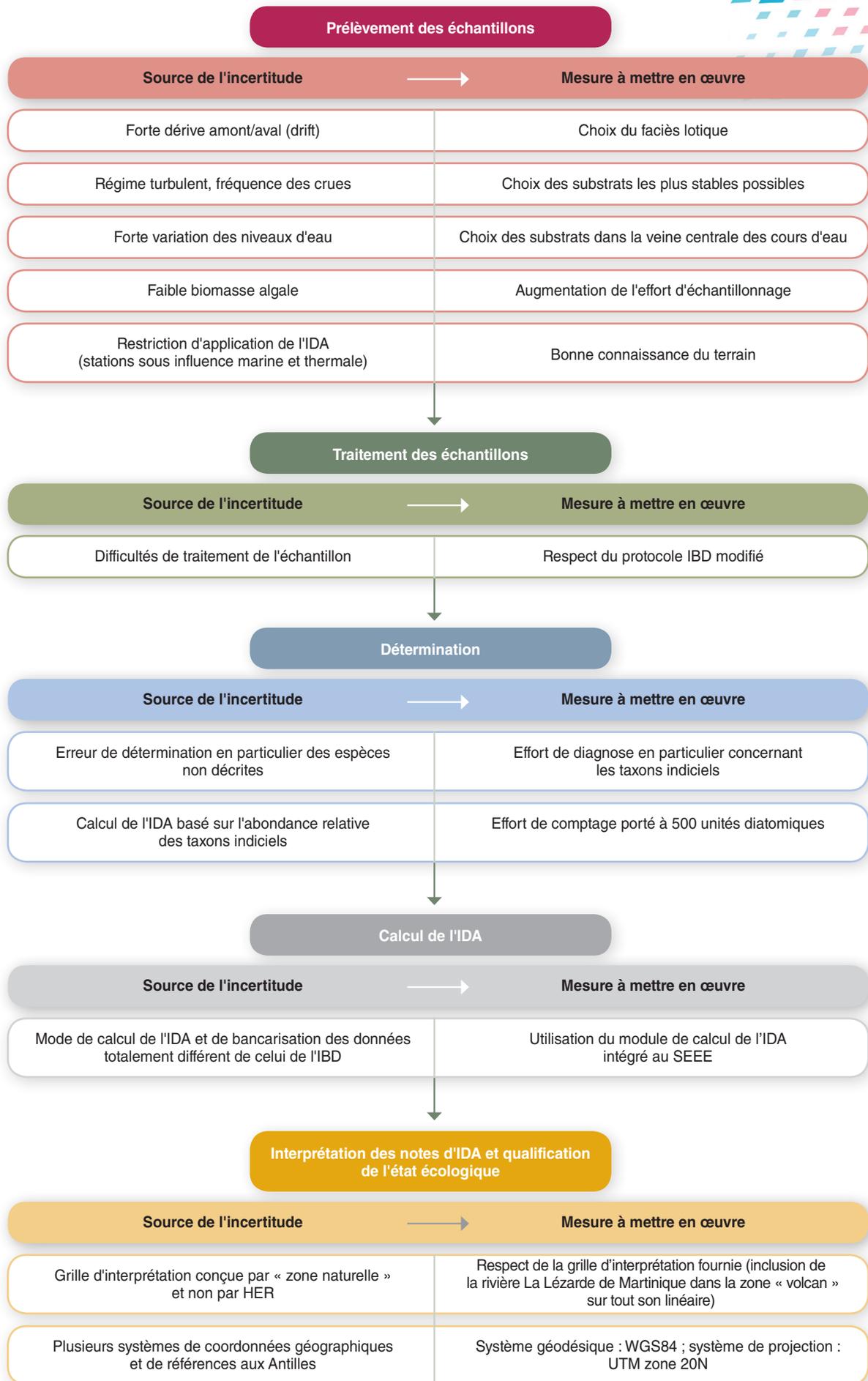


Figure 20. Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'IDA pour l'évaluation de l'état écologique et les mesures à mettre en œuvre pour y remédier.



Références bibliographiques

Bibliographie du guide

- Afnor (2007). Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD). Norme NF T 90-354. Afnor, 80 p.
- Afnor (2016). Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD). Norme NF T 90-354. Afnor, 121 p.
- CEN (2014). Qualité de l'eau - guide pour l'échantillonnage en routine et le prétraitement des diatomées benthiques de rivières. Norme NF EN 13946, 17 p.
- 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.
- European commission (2000). Directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. 72 p.
- Gassiole G. (2014). Diatomées épilithiques des cours d'eau pérennes de l'île de La Réunion. Taxinomie-Ecologie. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux soutenue le 26 mars 2014, 512 p.
- Gueguen J., Eulin A., Lefrançois E., Boutry S., Rosebery J., Coste M. & Delmas F. (2015). Production d'une version améliorée de l'indice diatomique antillais (IDA-2). Utilisation pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau des Antilles. Rapport Final (VF du 12/03/2015) 200 p.
- Lecoite C., Coste M. & Prygiel J. (1993). "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269/270: 509-513.
- Mann D.G. & Droop S.J.M. (1996). Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hydrobiologia* 336: 19-32.
- Monnier O., Basilico L., Reyjol Y. & Ximénès M.-C. (2016). La bioindication en outre-mer. Situation et perspectives dans le contexte de la directive cadre sur l'eau. Synthèse du séminaire « Méthodes de bioindication adaptées aux départements d'outre-mer », Paris, les 20 et 21 mars 2014. Les Rencontres de l'Onema - Synthèse, 126 p.
- MTES - Ministère de la transition écologique et solidaire (2018a). Arrêté du 27 juillet 2018, modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.
- MTES - Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2018b). Arrêté du 17 octobre 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010, établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application des articles R. 212-22 du code de l'environnement.
- 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.

Bibliographie taxinomique

Ouvrages de référence

- Asconit consultants & Irstea (2013a). Programme d'étude et de recherche 2009-2012. Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'indice diatomique antillais. Vol. 1 : guide iconographique. Rapport, 237 p.
- Asconit consultants & Irstea (2013b). Programme d'étude et de recherche 2009-2012. Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'indice diatomique antillais. Vol. 2 : fiches taxons indiciels, Rapport, 477 p.
- Eulin A., Lefrançois E., Delmas F., Coste M., Gueguen J. & Rosebery J. (2017a). Flore des diatomées des Antilles françaises. Volume introductif. Agence française pour la biodiversité, Office de l'eau Guadeloupe, Office de l'eau Martinique, Irstea, DEAL Martinique, DEAL Guadeloupe, 44 p.



Eulin A., Lefrançois E., Delmas F., Coste M., Gueguen J. & Rosebery J. (2017b). Flore des diatomées des Antilles françaises. Volume 1 : Centrophycidées, Araphidées, Monoraphidées, Brachyraphidées. Agence française pour la biodiversité, Office de l'eau Guadeloupe, Office de l'eau Martinique, Irstea, DEAL Martinique, DEAL Guadeloupe, 145 p.

Eulin A., Lefrançois E., Delmas F., Coste M., Gueguen J. & Rosebery J. (2017c). Flore des diatomées des Antilles françaises. Volume 2 : Cymbelloïdées, Gomphonématoïdées, Thalassiophysales. Agence française pour la biodiversité, Office de l'eau Guadeloupe, Office de l'eau Martinique, Irstea, DEAL Martinique, DEAL Guadeloupe, 147 p.

Eulin A., Lefrançois E., Delmas F., Coste M., Gueguen J. & Rosebery J. (2017d). Flore des diatomées des Antilles françaises. Volume 3 : Naviculoïdées. Agence française pour la biodiversité, Office de l'eau Guadeloupe, Office de l'eau Martinique, Irstea, DEAL Martinique, DEAL Guadeloupe, 132 p.

Eulin A., Lefrançois E., Delmas F., Coste M., Gueguen J. & Rosebery J. (2017e). Flore des diatomées des Antilles françaises. Volume 4 : Naviculoïdées. Agence française pour la biodiversité, Office de l'eau Guadeloupe, Office de l'eau Martinique, Irstea, DEAL Martinique, DEAL Guadeloupe, 133 p.

Eulin A., Lefrançois E., Delmas F., Coste M., Gueguen J. & Rosebery J. (2017f). Flore des diatomées des Antilles françaises. Volume 5 : Bacillariacées, Rhopalodiacees, Surirellacées, indéterminés. Agence française pour la biodiversité, Office de l'eau Guadeloupe, Office de l'eau Martinique, Irstea, DEAL Martinique, DEAL Guadeloupe, 170 p.

Autres ouvrages utiles

Tudesque L. & Ector L. (2002). Pré-atlas iconographique des rivières de la Guadeloupe. Diren Guadeloupe & Centre de recherche public Gabriel Lippmann, 78 p.

Collection Süßwasserflora von Mitteleuropa

Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1986). Bacillariophyceae 1. Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa, vol. 2/1, 876 p.

Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1988). Bacillariophyceae 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa, vol. 2/2, 611 p.

Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991a). Bacillariophyceae 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa, vol. 2/3, 599 p.

Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991b). Bacillariophyceae 4. Achnantheaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. Süßwasserflora von Mitteleuropa, vol. 2/4, 468 p.

Collection Diatoms of Europe

Krammer K. (2000). The genus *Pinnularia*. Diatoms of Europe, vol. 1, 703 p.

Krammer K. (2002). *Cymbella*. Diatoms of Europe, vol. 3, 584 p.

Krammer K. (2003). *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbela*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. Diatoms of Europe, vol. 4, 530 p.

Lange-Bertalot H. (2001). *Navicula* sensu stricto. 10 genera separated from *Navicula* sensu lato. *Frustulia*. Diatoms of Europe, vol. 2, 526 p.

Levkov Z. (2009). *Amphora* sensu lato. Diatoms of Europe, vol. 5, 916 p.

Collection Iconographia Diatomologica

Lange-Bertalot H. & Metzeltin D. (1996). Indicators of Oligotrophy. 800 taxa representative of three ecologically distinct lake types: carbonate buffered, oligodystrophic, weakly buffered soft water. Iconographia Diatomologica, vol. 2, 390 p.

Lange-Bertalot H. & Genkal S.I. (1999). Diatoms from Siberia I. Islands in the Arctic Ocean (Yugorsky-Shar Strait). Iconographia Diatomologica, vol. 6, 294 p.

Levkov Z., Krstic S., Metzeltin D. & Nakov T. (2007). Diatoms of lakes Prespa and Ohrid. Iconographia Diatomologica,

vol. 16, 613 p.

Metzeltin D. & Lange-Bertalot H. (1998). Tropical diatoms of South America I. *Iconographia Diatomologica*, vol. 5, 695 p.

Metzeltin D. & Lange-Bertalot H. (2002). Diatoms from the Island continent Madagascar. *Iconographia Diatomologica*, vol. 11, 286 p.

Metzeltin D. & Lange-Bertalot H. (2007). Tropical diatoms of South America II. *Iconographia Diatomologica*, vol. 18, 877 p.

Metzeltin D., Lange-Bertalot H. & Garcia-Rodriguez F. (2005). Diatoms of Uruguay. Compared with other taxa from South America and elsewhere. *Iconographia Diatomologica*, vol. 15, 736 p.

Reichardt E. (1999). Zur Revision der Gattung Gomphonema. Die Arten um *G. affine/insigne*, *G. angustatum/micropus*, *G. acuminatum* sowie gomphonemoide Diatomeen aus dem Obereroligozän in Böhmen. *Iconographia Diatomologica*, vol. 8, 203 p.

Rumrich U., Lange-Bertalot H. & Rumrich M. (2000). Diatomeen der Anden, von Venezuela bis Patagonien/Tierra del Fuego. *Iconographia Diatomologica*, vol. 9, 673 p.

Werum M. & Lange-Bertalot H. (2004). Diatoms in springs. *Iconographia Diatomologica*, vol. 13, 479 p.

Witkowski A., Lange-bertalot H. & Metzeltin D. (2000). Diatom flora of marine coasts. *Iconographia Diatomologica*, vol. 7, 925 p.

Collection *Bibliotheca Diatomologica*

Krammer K. (1997a). Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 1. Allgemeines und *Encyonema* Part 1. *Bibliotheca Diatomologica*, vol. 36, 382 p.

Krammer K. (1997b). Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 2. *Encyonema* Part. 2, *Encyonopsis* und *Cymbelloopsis*. *Bibliotheca Diatomologica*, vol. 37, 469 p.

Lange-Bertalot H. & Krammer K. (1989). *Achnanthes*, eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung *Cocconeis* und Nachträgen zu den Naviculaceae. *Bibliotheca Diatomologica*, vol. 18, 389 p.

Lange-Bertalot H. (1993). 85 Neue Taxa und über 100 weitere neu definierte Taxa ergänzend zur Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. 2/1-4. *Bibliotheca Diatomologica*, vol. 27, 164 p.

Moser G., Lange-Bertalot H. & Metzeltin D. (1998). Insel der Endemiten. Geobotanisches Phänomen Neukaledonien. *Bibliotheca Diatomologica*, vol. 38, 464 p.

Moser G. (1999). Die Diatomeenflora von Neukaledonien. *Bibliotheca Diatomologica*, vol. 43, 205 p.

Articles, rapports, autres ouvrages

Bourrelly P. (1981). Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique, tome 2. Les algues jaunes et brunes : Chrysophycées, Xanthophycées et Diatomées. N. Boubée & Cie, Paris, 517 p.

Ector L. & Hlubikova D. (2009). Atlas des diatomées des Alpes-Maritimes et de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Conseil général des Alpes-Maritimes, 393 p.

Hofmann G., Werum M. & Lange-Bertalot H. (2017). Freshwater benthic diatoms of central Europe: over 800 common species used in ecological assessment. Cantonati M., Kelly M.G., Lange-Bertalot H. (Ed.), Koeltz botanical books, 942 p.

Kobayasi H., Idei M., Mayama S., Nagumo T. & Osada K. (2006) Kobayasi's atlas of Japanese Diatoms based on electron microscopy. Uchida Rokakuho Publishing Co.

Lavoie I., Hamilton P.B., Campeau S., Grenier M. & Dillon P.J. (2008). Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada. Presses de l'Université du Québec, Québec, 252 p.

Round F.E., Crawford R.M. & Mann D.G. 1990. The diatoms. Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Cambridge, 747 p.

Taylor J.C., Harding W.R. & Archibald G.M. (2007). An illustrated guide to some common diatom species from South Africa. WRC Report TT 282/07.



Table des illustrations

Tableaux

Tableau 1 : Quelques éléments descriptifs de la Guadeloupe et de la Martinique.....	9
Tableau 2 : Caractéristiques des classes de qualité du gradient composite multimétrique d'anthropisation (GCMA) obtenues par segmentation (méthode par classification hiérarchique sur composantes principales - CHCP).....	19
Tableau 3 : Critère de sélection des taxons-d'alerte servant au calcul de l'indice diatomique antillais (IDA)	22
Tableau 4 : Limites des classes d'état écologique de la zone « Plaine » (Mornes du Sud et plaine du Lamentin en Martinique, sauf rivière La Lézarde) pour l'IDA	25
Tableau 5 : Limites des classes d'état écologique de la zone « Volcan » (Basse-Terre de Guadeloupe et Pitons du Nord en Martinique) pour l'IDA	26
Tableau 6 : Éléments descriptifs accompagnant tout prélèvement de diatomées.....	32
Tableau 7 : Mode de dénombrement des vues connectives indéterminées au sein du complexe Gomphonema pumilum	40
Tableau 8: Grille retenue pour l'interprétation de l'IDA en classes d'état écologique exprimées en EQR et en notes /20, et codes couleurs associés	43
Tableau 9 : Niveau de confiance de la classification de l'état écologique et codes couleur associés	45

Figures

Figure 1. <i>Frustule fermé de Nitzschia amphibia (a) ; frustule ouvert de Diademes confervacea (b)</i>	9
Figure 2 : <i>Les stations « diatomées » du réseau de contrôle et de surveillance (RCS) des cours d'eau de la Martinique (a) et de la Guadeloupe (b)</i>	10
Figure 3. <i>Multiplication végétative des diatomées (a) principe de la réduction de taille des valves au fur et à mesure des divisions cellulaires. (b) exemple de réduction de taille des individus d'une même espèce (Fragilaria goulardii)</i>	10
Figure 4. <i>Formes de vie des diatomées benthiques</i>	13
Figure 5. <i>Délimitation des hydro-écorégions (HER) de la Basse-Terre et de la Grande-Terre de Guadeloupe, de la Martinique, ainsi que leurs regroupements en secteurs naturels abiotiques «homogènes» définis aux Antilles françaises pour la mise en oeuvre de l'IDA</i>	14
Figure 6. <i>Organigramme de la démarche d'analyse des données pour le développement de l'indice diatomique antillais (IDA)</i>	17
Figure 7. <i>Interprétation schématique des gradients contenus dans le premier plan factoriel de l'analyse canonique des correspondances (ACC) restreinte, basée sur les 10 variables d'anthropisation</i>	18
Figure 8. <i>Création des classes de qualité : a) Segmentation des classes basées sur l'homogénéité intra-groupe par classification hiérarchique sur composantes principales (CHCP) ; b) Box-plot de projection des relevés dans les classes</i>	19
Figure 9. <i>Représentation graphique des profils écologiques de trois taxons. En abscisse, les classes de qualité ; en ordonnées, l'abondance relative pondérée du taxon pour chaque classe ; en étiquette au-dessus de la courbe, le nombre de relevés dans lesquels le taxon a été inventorié</i>	20
Figure 10. <i>Graphique représentant les notes de l'indice diatomique antillais (IDA) en fonction des scores du gradient composite multimétrique d'anthropisation (GCMA) pour chaque relevé</i>	23
Figure 11. <i>Schéma récapitulatif du principe de conception de la grille d'EQR (ecological quality ratio)</i>	24
Figure 12. <i>Saisons climatiques aux Antilles</i>	27
Figure 13. <i>Exemples de conditions de prélèvement : a) conditions idéales (présence de nombreux substrats durs, faciès lotique, ensoleillement), Grande Rivière à Goyave, Guadeloupe ; b) conditions défavorables (crue, substrats invisibles, faciès lentique)</i>	29
Figure 14. <i>Matériel indispensable au prélèvement d'un échantillon de biofilm : fiche terrain, flacon hermétique, brosse à dent et scalpel, étiquettes, stylo, marqueur</i>	30
Figure 15. <i>a) Récolte du matériel biologique par brossage. (b) Prélèvement peu coloré indiquant une quantité encore trop faible de biofilm</i>	30
Figure 16. <i>Présence de substances d'aspect mucilagineux autour des frustules ou des valves des diatomées</i>	36
Figure 17. <i>Présence de bulles dans les frustules de diatomées</i>	37
Figure 18. <i>Balayage de la lame par transects horizontaux</i>	38
Figure 19. <i>(a) La flore des diatomées des Antilles françaises, volume introductif (Eulin et al. 2017a). (b) Le guide méthodologique pour la détermination des diatomées des Antilles, volume 2 (Asconit consultants & Irstea 2013b)</i>	39
Figure 20. <i>Les incertitudes liées à la mise en oeuvre de l'IDA pour l'évaluation de l'état écologique et les mesures à mettre en oeuvre pour y remédier</i>	47



Annexe : liste des taxons indiciels et autres taxons antillais

Cette annexe liste l'ensemble des taxons inventoriés en Guadeloupe et en Martinique et bénéficiant d'une illustration dans la flore des diatomées des Antilles françaises (Eulin *et al.* 2017a,b,c,d,e,f). Les codes métiers sont nécessaires pour le calcul de l'IDA avec le SEEE. Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels sont également données, ce qui permet de calculer les valeurs d'IDA par n'importe quel moyen approprié. Les taxons halins exclus du calcul de l'indicateur sont indiqués. Les codes Sandre sont indiqués pour les taxons qui en disposent actuellement. Cette codification se poursuit.

* Sensibilité et valence d'altération des taxons contributifs de l'IDA :

- taxon « + » : taxon sans signification particulière vis-à-vis de la détection de l'altération ; valence d'altération = + 1
- taxon « - » : taxon tolérant à la pollution ; valence d'altération = - 1
- taxon « 2- » : taxon très tolérant à la pollution ; valence d'altération = - 3

** Espèce présente dans au moins cinq relevés avec une abondance relative supérieure à 2,5 %, mais non retenu dans l'IDA du fait de son caractère halin.

*** Taxons qui ne sont pas illustrés dans le guide des diatomées des Antilles (Asconit consultants & Irstea, 2013a&b), mais qui le sont dans la flore des diatomées des cours d'eau des Antilles (Eulin *et al.* 2017a,b,c,d,e,f).

Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i> (Kützing) Cleve 1895	ABIN	6872	halin**
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow 1880	AINF	6928	
<i>Achnanthes kuwaitensis</i> Hendey 1958	AKUW	10964	
<i>Achnanthes rupestoides</i> var. <i>uniseriata</i> Lange-Bertalot & Monnier 2003	ARPU	11177	+
<i>Achnantheidium catenatum</i> (Bily & Marvan) Lange-Bertalot 1999	ADCT	7074	+
<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki 1994	ADEG	10370	2 -
<i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki 1994	ADMI	7076	+
<i>Achnantheidium</i> sp4***	AD04		
<i>Achnantheidium</i> sp5	AD05		+
<i>Achnantheidium</i> sp7	AD07		+
<i>Achnantheidium</i> sp8	AD08		+
<i>Achnantheidium</i> sp9	AD09		+
<i>Achnantheidium</i> sp10	AD10		+
<i>Achnantheidium</i> sp11	AD11		+
<i>Achnantheidium</i> sp13	AD13		+

Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Achnanthydium sp14</i>	AD14		+
<i>Achnanthydium sp15</i>	AD15		
<i>Achnanthydium sp16</i>	AD16		+
<i>Achnanthydium sp17***</i>	AD17		
<i>Achnanthydium sp18***</i>	AD18		
<i>Achnanthydium sp19</i>	AD19		+
<i>Achnanthydium subhudsonis</i> (Hustedt) Kobayasi 2006	ADSH	10849	+
<i>Adlafia muscora</i> (Kociolek & Reviere) Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	AMUS	11038	+
<i>Adlafia sp1</i>	ADS1		+
<i>Alveovallum sp1</i>	ALV1		
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow 1880	APED	7116	
<i>Amphora sp4***</i>	AM04		
<i>Amphora sp10</i>	AM10		
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen 1979	AAMB	8554	
<i>Aulacoseira granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O. Müller) Simonsen 1979	AUGA	8561	
<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F. Müller) Hendey 1951	BPAX	20044	
<i>Brachysira neoexilis</i> Lange-Bertalot 1994 forme 1 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	BNE1		+
<i>Brachysira neoexilis</i> Lange-Bertalot 1994 forme 2 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	BNE2		+
<i>Brachysira sp1</i>	BR01		+
<i>Brachysira sp2</i>	BR02		
<i>Brachysira sp3</i>	BR03		
<i>Caloneis hyalina</i> Hustedt 1938	CHYA	7178	
<i>Caloneis lancetulla</i> (Schulz) Lange-Bertalot & Witkowski 1996	CLCT	11981	+
<i>Caloneis molaris</i> (Grunow) Krammer 1985	CMOL	7183	
<i>Caloneis silicula</i> (Ehrenberg) Cleve 1894	CSIL	7190	
<i>Caloneis sp1</i>	CA01		
<i>Caloneis sp2</i>	CA02		
<i>Caloneis sp3</i>	CA03		
<i>Caloneis sp4</i>	CA04		
<i>Caloneis sp5</i>	CA05		
<i>Capartogramma crucicula</i> (Grunow ex Cleve) Ross 1963	CCRU	11672	
<i>Chamaepinnularia sp1</i>	CHA1		
<i>Chamaepinnularia sp2</i>	CHA2		
<i>Chamaepinnularia sp3</i>	CHA3		
<i>Chamaepinnularia sp4</i>	CHA4		



Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg 1854	CEUG	11785	+
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck 1885	CPLI	7232	+
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>placentula</i> Ehrenberg 1838	CPLA	12097	+
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>placentula</i> (Ehrenberg) sensu Jahn <i>et al.</i> 2009	CPL1		+
<i>Cocconeis</i> sp1	CO01		+
<i>Cocconeis</i> sp2	CO02		+
<i>Cocconeis</i> sp3	CO03		
<i>Cocconeis</i> sp4	CO04		
<i>Cocconeis</i> sp5	CO05		
<i>Cocconeis</i> sp7	CO07		
<i>Cocconeis</i> sp8	CO08		
<i>Craticula accomodiformis</i> Lange-Bertalot 1993	CACM	11424	
<i>Craticula molestiformis</i> (Hustedt) Mayama 1999	CMLF	12017	-
<i>Craticula</i> sp1	CRA1		
<i>Craticula</i> sp2	CRA2		
<i>Craticula</i> sp3	CRA3		
<i>Craticula</i> sp4	CRA4		
<i>Cyclotella atomus</i> Hustedt 1937	CATO	8603	2 -
<i>Cyclotella atomus</i> var. <i>gracilis</i> Genkal & Kiss 1993	CAGR	11415	2 -
<i>Cyclotella</i> cf. <i>gamma</i> Sovereign 1963	CGAM		
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing 1844	CMEN	8633	
<i>Cyclotella</i> sp1	CYL1		
<i>Cyclotella</i> sp2	CYL2		
<i>Cymbella</i> sp1	CYM1		+
<i>Cymbella tropica</i> Krammer 2002	CTRO	12333	+
<i>Denticula</i> sp1	DEN1		+
<i>Denticula sundaysensis</i> Archibald 1982	DSUN	8793	
<i>Diadesmis arcuatooides</i> Lange-Bertalot 2004	DATO	12400	
<i>Diadesmis confervacea</i> Kützing 1844	DCOF	10647	2 -
<i>Diadesmis confervacea</i> f. <i>rostrata</i> (Krasske) Metzeltin & Lange-Bertalot 2007	DCRS	10650	+
<i>Diadesmis confervaceoides</i> Lange-Bertalot & Rumrich 2000	DCFD	10628	+
<i>Diadesmis contenta</i> (Grunow ex Van Heurck) D.G. Mann 1990	DCOT	7386	+
<i>Diadesmis</i> sp1	DI01		
<i>Diadesmis</i> sp2	DI02		
<i>Diadesmis</i> sp3	DI03		
<i>Diadesmis</i> sp4	DI04		

Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Diademsis sp5</i>	DI05		+
<i>Diademsis sp6</i>	DI06		
<i>Diademsis sp7</i>	DI07		
<i>Diademsis sp8</i>	DI08		
<i>Diademsis sp9</i>	DI09		
<i>Diploneis sp1</i>	DP01		
<i>Diploneis sp2</i>	DP02		
<i>Diploneis sp3</i>	DP03		
<i>Diploneis sp5</i>	DP05		
<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk & Klee 2004	DPST	43682	
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse in Rabenhorst) D.G. Mann 1990	ENMI	7435	
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabenhorst) D.G. Mann 1990	ESLE	7443	+
<i>Encyonema sp1</i>	EN01		
<i>Encyonema sp2</i>	EN02		+
<i>Encyonopsis sp3</i>	EN03		
<i>Encyonopsis subminuta</i> Krammer & Reichardt 1997	ESUM	13128	
<i>Eolimna comperei</i> Ector, Coste & Iserentant 2000	EOCO	13147	
<i>Eolimna lepidula</i> (Manguin in Bourrelly & Manguin) Metzeltin & Lange-Bertalot 2007	ELEP	12944	
<i>Eolimna minima</i> (Grunow in Van Heurck) Lange-Bertalot 1998	EOMI	18284	+
<i>Eolimna ruttneri</i> (Hustedt) Lange-Bertalot & Monnier 2003	EORU	32386	+
<i>Eolimna sp1</i>	EO01		+
<i>Eolimna sp2</i>	EO02		+
<i>Eolimna sp3</i>	EO03		+
<i>Eolimna sp5</i>	EO05		2 -
<i>Eolimna sp6</i>	EO06		+
<i>Eolimna sp7</i>	EO07		+
<i>Eolimna sp8</i>	EO08		+
<i>Eolimna sp9</i>	EO09		
<i>Eolimna sp10</i>	EO10		+
<i>Eolimna sp11</i>	EO11		+
<i>Eolimna subminuscula</i> (Manguin) Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	ESBM	13281	-
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson 1838	EADN	7457	+
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt 1880	EBIL	28308	
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst 1864	EEXI	7511	+
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst 1864 forme 1 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	EEX1		+



Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst 1864 forme 2 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	EEX2		
<i>Eunotia incisa</i> var. <i>incisa</i> Gregory 1854	EINC	7527	
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow in Van Heurck 1881	EMIN	7535	
<i>Eunotia monodon</i> var. <i>monodon</i> Ehrenberg 1843	EMON	7536	
<i>Eunotia muscicola</i> var. <i>muscicola</i> Krasske 1939	EMUS	13028	
<i>Eunotia muscicola</i> var. <i>tridentula</i> Nörpel & Lange-Bertalot 1993	EMTR	13004	
<i>Eunotia naegeli</i> Migula 1907	ENAE	7538	
<i>Eunotia</i> sp20	EU20		+
<i>Eunotia</i> sp21	EU21		
<i>Eunotia</i> sp22	EU22		+
<i>Eunotia</i> sp23	EU23		+
<i>Eunotia</i> sp24	EU24		
<i>Eunotia</i> sp25	EU25		
<i>Eunotia</i> sp26	EU26		
<i>Eunotia</i> sp27	EU27		
<i>Eunotia</i> sp28	EU28		
<i>Eunotia</i> sp29	EU29		
<i>Eunotia</i> sp31	EU31		
<i>Eunotia</i> sp32	EU32		
<i>Eunotia</i> sp33	EU33		
<i>Eunotia subarcuatooides</i> Alles, Nörpel & Lange-Bertalot 1991	ESUB	12144	+
<i>Fallacia insociabilis</i> (Krasske) D.G. Mann 1990	FINS	7583	-
<i>Fallacia pygmaea</i> ssp. <i>subpygmaea</i> Lange-Bertalot, Cavacini, Tagliaventi & Alfinito 2003***	FPYG	13649	
<i>Fallacia</i> sp1	FAL1		
<i>Fallacia tenera</i> (Hustedt) D.G. Mann 1990	FTNR	17715	+
<i>Fallacia tenera</i> (Hustedt) D.G. Mann 1990 forme 1 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	FTN1		2 -
<i>Fistulifera saprophila</i> (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot 1997	FSAP	13689	+
<i>Fragilaria fonticola</i> Hustedt 1938	FFON	6673	+
<i>Fragilaria gouldarii</i> (Brébisson) Lange-Bertalot 1981	FGOU	6678	+
<i>Fragilaria</i> sp1	FR01		-
<i>Fragilaria</i> sp2	FR02		2 -
<i>Fragilaria</i> sp3***	FR03		
<i>Fragilaria</i> sp4	FR04		
<i>Fragilaria</i> sp7	FR07		

Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Fragilaria</i> sp8	FR08		
<i>Frustulia crassinervia</i> (Brébisson) Lange-Bertalot & Krammer 1996	FCRS	13447	+
<i>Frustulia neomundana</i> Lange-Bertalot & Rumrich 2000	FNMD	13597	
<i>Frustulia pumilio</i> Lange-Bertalot & Rumrich 2000	FPUM	13652	
<i>Frustulia</i> sp1	FU01		
<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni 1891	FVUL	7604	
<i>Frustulia weinholdii</i> Hustedt 1937	FWEI	7605	
<i>Geissleria decussis</i> (Østrup) Lange-Bertalot & Metzeltin 1996	GDEC	7606	+
<i>Geissleria ignota</i> (Krasske) Lange-Bertalot & Metzeltin 1996	GINO	13939	
<i>Geissleria</i> sp1	GE01		+
<i>Gomphonema affine</i> Kützing 1844	GAFF	7623	
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst 1864	GANG	7626	
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg 1840	GAUG	7633	
<i>Gomphonema bourbonense</i> Reichardt 1997	GBOB	13826	+
<i>Gomphonema brasiliense</i> ssp. <i>pacificum</i> Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	GBPA	13670	+
<i>Gomphonema designatum</i> Reichardt 1997	GDES	13865	+
<i>Gomphonema exilissimum</i> (Grunow) Lange-Bertalot & Reichardt 1996	GEXL	7657	+
<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing 1844	GLGN	13983	+
<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>parvulum</i> (Kützing) Kützing 1849	GPAR	14114	+
<i>Gomphonema</i> sp46	GO46		
<i>Gomphonema</i> sp47	GO47		
<i>Gomphonema</i> sp48	GO48		
<i>Gomphonema</i> sp49	GO49		
<i>Gomphonema</i> sp51	GO51		+
<i>Gomphonema</i> sp52	GO52		2 -
<i>Gomphonema</i> sp53	GO53		+
<i>Gomphonema</i> sp54	GO54		+
<i>Gomphonema</i> sp58	GO58		2 -
<i>Gomphonema</i> sp59	GO59		2 -
<i>Gomphonema</i> sp60	GO60		
<i>Gomphonema</i> sp61	GO61		+
<i>Gomphonema</i> sp62	GO62		+
<i>Gomphonema</i> sp63	GO63		+
<i>Gomphonema</i> sp64	GO64		+
<i>Gomphonema</i> sp66	GO66		2 -
<i>Gomphonema</i> sp67	GO67		+



Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Gomphonema sp68</i>	GO68		+
<i>Gomphonema sp69</i>	GO69		-
<i>Gomphonema sp70</i>	GO70		2 -
<i>Gomphonema sp71</i>	GO71		+
<i>Gomphonema sp72</i>	GO72		+
<i>Gomphonema sp73</i>	GO73		
<i>Gomphonema sp75</i>	GO75		-
<i>Gomphonema sp76</i>	GO76		+
<i>Gomphonema sp77</i>	GO77		+
<i>Gomphonema sp78</i>	GO78		
<i>Gomphonema sp79</i>	GO79		
<i>Gomphonema sp80</i>	GO80		
<i>Gomphonema sp81</i>	GO81		+
<i>Gomphonema sp82</i>	GO82		+
<i>Gomphonema sp83</i>	GO83		
<i>Gomphonema sp84</i>	GO84		
<i>Gomphonema sp85</i>	GO85		+
<i>Gomphonema sp86</i>	GO86		
<i>Gomphonema sp87</i>	GO87		
<i>Gomphonema sp88</i>	GO88		
<i>Gomphonema sp89</i>	GO89		
<i>Gomphonema sp90***</i>	GO90		
<i>Gomphonema sp91</i>	GO91		+
<i>Gomphonema sp92</i>	GO92		
<i>Gomphonema sp93</i>	GO93		
<i>Gomphonema sp95</i>	GO95		
<i>Gomphonema sp96</i>	GO96		
<i>Gomphonema sp99</i>	GO99		
<i>Gomphosphenia oahuensis</i> (Hustedt) Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	GOAH	14023	halin**
<i>Gomphosphenia sp1</i>	GPP1		+
<i>Gomphosphenia sp2</i>	GPP2		
<i>Gomphosphenia sp3</i>	GPP3		
<i>Gomphosphenia tenerrima</i> (Hustedt) Reichardt 1999	GTNR	12889	+
<i>Gyrosigma obtusatum</i> (Sullivan & Wormley) Boyer 1922	GYOB	12900	
<i>Gyrosigma reimeri</i> Sterrenburg 1994	GYRE	14251	+
<i>Gyrosigma sciottense</i> (Sullivan & Wormley) Cleve 1894	GSCI	14104	+

Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Halamphora fontinalis</i> (Hustedt) Levkov 2009	HFON	28363	
<i>Halamphora montana</i> (Krasske) Levkov 2009	HLMO	28383	+
<i>Halamphora sp1</i>	AM01		
<i>Halamphora sp3</i>	AM03		
<i>Halamphora sp5</i>	AM05		
<i>Halamphora sp6</i>	AM06		
<i>Halamphora sp7</i>	AM07		
<i>Halamphora sp9***</i>	AM09		
<i>Halamphora suburgida</i> (Hustedt) Levkov 2009	HSTU	28462	-
<i>Hantzschia sp1</i>	HAM1		
<i>Hantzschia sp2</i>	HAM2		
<i>Hantzschia sp3***</i>	HAM3		
<i>Inconnu N°1</i>	IN01		
<i>Inconnu N°3</i>	IN03		
<i>Inconnu N°5</i>	IN05		
<i>Inconnu N°6</i>	IN06		
<i>Inconnu N°9</i>	IN09		
<i>Inconnu N°16</i>	IN16		
<i>Inconnu N°25</i>	IN25		
<i>Kolbesia sp1</i>	KOL1		
<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round & Basson 1997	LHUN	14500	
<i>Luticola aequatorialis</i> (Heiden) Lange-Bertalot & Ohtsuka 2000	LAEQ	14507	
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G. Mann 1990	LMUT	7783	halin**
<i>Luticola saxophila</i> (Bock ex Hustedt) D.G. Mann 1990	LSAX	7786	
<i>Luticola sp1</i>	LU01		halin**
<i>Luticola sp2</i>	LU02		
<i>Luticola sp3</i>	LU03		
<i>Luticola sp4</i>	LU04		+
<i>Luticola sp7</i>	LU07		
<i>Luticola sp8</i>	LU08		
<i>Luticola sp9</i>	LU09		
<i>Luticola sp12</i>	LU12		
<i>Luticola sp13***</i>	LU13		
<i>Luticola sp14</i>	LU14		
<i>Luticola sp15</i>	LU15		
<i>Mayamaea permitis</i> (Hustedt) Bruder & Medlin 2008	MPMI	14664	+



Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciaires*
<i>Mayamaea sp1</i>	MA01		
<i>Mayamaea sp2</i>	MA02		
<i>Mayamaea sp3</i>	MA03		
<i>Mayamaea sp7</i>	MA07		
<i>Mayamaea sp8</i>	MA08		
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot 2000	NANT	7803	
<i>Navicula arctotenelloides</i> Lange-Bertalot & Metzeltin 1996	NATT	14982	
<i>Navicula arvensis</i> Hustedt 1937	NARV	7807	2 -
<i>Navicula arvensis</i> Hustedt 1937 forme 1 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	NAR1		2 -
<i>Navicula cruxmeridionalis</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & Garcia-Rodriguez 2005	NCXM	15187	+
<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing 1844	NCRY	7874	
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot 1985	NCTE	7881	+
<i>Navicula cryptotenelloides</i> Lange-Bertalot 1993	NCTO	7882	
<i>Navicula densilineolata</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot 1993	NDSL	15275	
<i>Navicula difficillima</i> Hustedt 1950	NDIF	7899	+
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot 1985 forme 1 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	NER1		halin**
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot 1985 forme 2i n Asconit consultants & Irstea 2013 b	NER2		+
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot 1985 forme 3 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	NER3		-
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot 1985	NERI	7917	-
<i>Navicula escambia</i> (Patrick) Metzeltin & Lange-Bertalot 2007	NESC	15370	+
<i>Navicula germainii</i> Wallace 1960	NGER	15513	
<i>Navicula gregaria</i> Donkin 1861	NGRE	7948	+
<i>Navicula humboldtiana</i> Lange-Bertalot & Rumrich 2000	NHUB	15585	-
<i>Navicula incarum</i> Lange-Bertalot & Rumrich 2000	NINK	15647	+
<i>Navicula jacobii</i> Manguin in Bourrelly & Manguin 1952	NJAC	7983	2 -
<i>Navicula longicephala</i> var. <i>longicephala</i> Hustedt 1944	NLGC	15750	
<i>Navicula notha</i> Wallace 1960	NNOT	15974	+
<i>Navicula perminuta</i> Grunow in Van Heurck 1880	NPNU	8062	
<i>Navicula phyllepta</i> Kützing 1844	NPHY	8066	
<i>Navicula phylleptosoma</i> Lange-Bertalot 1999	NPHP	16162	
<i>Navicula quasidisjuncta</i> Rumrich & Lange-Bertalot 2000	NQDJ	16276	+
<i>Navicula rivulorum</i> Lange-Bertalot & Rumrich 2000	NRVL	16321	
<i>Navicula rostellata</i> Kützing 1844	NROS	8124	-
<i>Navicula simulata</i> Manguin 1942	NSIA	28493	+
<i>Navicula sp30</i>	NA30		
<i>Navicula sp32</i>	NA32		

Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Navicula sp33</i>	NA33		
<i>Navicula sp37</i>	NA37		
<i>Navicula sp38</i>	NA38		
<i>Navicula sp40</i>	NA40		
<i>Navicula sp41</i>	NA41		
<i>Navicula sp42</i>	NA42		
<i>Navicula sp43</i>	NA43		
<i>Navicula sp44</i>	NA44		
<i>Navicula sp45</i>	NA45		
<i>Navicula sp46</i>	NA46		
<i>Navicula sp48</i>	NA48		
<i>Navicula sp49</i>	NA49		
<i>Navicula sp51</i>	NA51		
<i>Navicula sp52</i>	NA52		
<i>Navicula sp53</i>	NA53		
<i>Navicula sp54</i>	NA54		-
<i>Navicula sp56</i>	NA56		
<i>Navicula sp58</i>	NA58		
<i>Navicula sp62</i>	NA62		
<i>Navicula sp63</i>	NA63		
<i>Navicula sp65</i>	NA65		
<i>Navicula sp66</i>	NA66		
<i>Navicula sp69</i>	NA69		
<i>Navicula sp70</i>	NA70		
<i>Navicula sp73</i>	NA73		+
<i>Navicula subrhynchocephala</i> Hustedt 1935	NSRH	8173	
<i>Navicula supergregaria</i> Rumrich & Lange-Bertalot 2000	NSGG	16403	-
<i>Navicula vilaplani</i> (Lange-Bertalot & Sabater) Lange-Bertalot & Sabater 2000	NVIP	16721	
<i>Naviculadicta cosmopolitana</i> Lange-Bertalot 2000	NDCM	15198	2 -
<i>Naviculadicta nanogomphonema</i> Lange-Bertalot 2000	NNGO	15969	+
<i>Naviculadicta pseudoventralis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot 1994	NDPV	8223	
<i>Naviculadicta sassiana</i> Metzeltin & Lange-Bertalot 1998	NDSA	15239	
<i>Nitzschia acidoclinata</i> Lange-Bertalot 1976	NACD	8810	+
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow 1862	NAMP	8820	-
<i>Nitzschia amplexens</i> Hustedt 1957	NAMC	8927	halin**
<i>Nitzschia aurariae</i> Cholnoky 1965	NAUR	8835	halin**



Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Nitzschia brevissima</i> Grunow in Van Heurck 1881***	NBRE	8844	
<i>Nitzschia capitellata</i> Hustedt 1922 in A. Schmidt et al. 1874-1959	NCPL	8847	
<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch 1860	NCLA	8851	+
<i>Nitzschia denticula</i> Grunow 1880	NDEN	7120	+
<i>Nitzschia dissipata</i> f. <i>maewensis</i> Foged 1971	NDMA	15217	+
<i>Nitzschia fasciculata</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck 1881	NFAS	8885	
<i>Nitzschia filiformis</i> (Smith) Van Heurck 1896	NFIL	15443	+
<i>Nitzschia filiformis</i> var. <i>conferta</i> (Richter) Lange-Bertalot 1987	NFIC	8888	+
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow 1880	NIFR	9368	+
<i>Nitzschia frustulum</i> (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow 1880 forme 2 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	NIF2		-
<i>Nitzschia frustulum</i> var. <i>frustulum</i> (Kützing) Grunow in Cleve & Grunow 1880 forme 3 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	NIF3		
<i>Nitzschia gracilis</i> Hantzsch 1860	NIGR	8914	
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow 1862	NINC	8934	+
<i>Nitzschia ingenua</i> Hustedt 1935	NIGE	15656	
<i>Nitzschia intermedia</i> Hantzsch ex Cleve & Grunow 1880	NINT	8937	
<i>Nitzschia kurzii</i> Rabenhorst in Grunow 1880	NKUZ	15774	-
<i>Nitzschia lange-bertalotii</i> Coste & Ricard 1982	NLBL	16847	
<i>Nitzschia linearis</i> var. <i>linearis</i> (C. Agardh) W. Smith 1853	NLIN	8955	
<i>Nitzschia lorenziana</i> Grunow in Cleve & Möller 1879	NLOR	8963	
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith 1856	NPAL	8987	2 -
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith 1856 forme 2 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	NP02		-
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith 1856 forme 3 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	NP03		-
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith 1856 forme 5 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	NP05		+
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W. Smith 1856 forme 6 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	NP06		+
<i>Nitzschia pusilla</i> (Kützing) Grunow 1862 emend. Lange-Bertalot 1976***	NIPU	9014	
<i>Nitzschia scalpelliformis</i> (Grunow) Grunow in Cleve & Grunow 1881	NISC	9027	
<i>Nitzschia serrata</i> Manguin in Bourrelly & Manguin 1952	NISE	15709	
<i>Nitzschia</i> sp40	NI40		
<i>Nitzschia</i> sp41	NI41		+
<i>Nitzschia</i> sp42	NI42		
<i>Nitzschia</i> sp43	NI43		
<i>Nitzschia</i> sp44	NI44		2 -
<i>Nitzschia</i> sp45	NI45		+

Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Nitzschia sp47</i>	NI47		+
<i>Nitzschia sp49</i>	NI49		+
<i>Nitzschia sp50</i>	NI50		2 -
<i>Nitzschia sp51</i>	NI51		
<i>Nitzschia sp54</i>	NI54		
<i>Nitzschia sp56</i>	NI56		
<i>Nitzschia sp57</i>	NI57		
<i>Nitzschia sp59</i>	NI59		
<i>Nitzschia sp60</i>	NI60		
<i>Nitzschia sp61</i>	NI61		
<i>Nitzschia sp62</i>	NI62		
<i>Nitzschia sp63</i>	NI63		
<i>Nitzschia sp64</i>	NI64		-
<i>Nitzschia sp66</i>	NI66		
<i>Nitzschia sp67</i>	NI67		
<i>Nitzschia sp68</i>	NI68		
<i>Nitzschia sp69</i>	NI69		
<i>Nitzschia sp71</i>	NI71		
<i>Nitzschia sp72</i>	NI72		
<i>Nitzschia sp73</i>	NI73		
<i>Nitzschia sp74</i>	NI74		
<i>Nitzschia sp75</i>	NI75		
<i>Nitzschia sp76</i>	NI76		+
<i>Nitzschia sp77</i>	NI77		
<i>Nitzschia sp78</i>	NI78		-
<i>Nitzschia sp79</i>	NI79		
<i>Nitzschia subacicularis</i> Hustedt 1922 in A. Schmidt <i>et al.</i> 1874-1959***	NSUA	9040	
<i>Nitzschia terrestris</i> (Petersen) Hustedt 1934	NTER	9054	
<i>Nitzschia umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot 1978	NUMB	9069	
<i>Nitzschia vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst 1848	NVER	9072	
<i>Nupela rumrichorum</i> Lange-Bertalot 1994	NURU	16637	+
<i>Nupela sp1</i>	NUP1		+
<i>Nupela sp2</i>	NUP2		+
<i>Nupela sp3</i>	NUP3		
<i>Nupela sp4</i>	NUP4		
<i>Orthoseira sp1</i> ***	ORT1		



Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Pinnularia acrospheria</i> var. <i>acrospheria</i> W. Smith 1853	PACR	17013	
<i>Pinnularia jocolata</i> (Manguin) Krammer 2000	PJOC	17348	
<i>Pinnularia parvulissima</i> Krammer 2000	PPVS	17653	
<i>Pinnularia rupestris</i> Hantzsch in Rabenhorst 1861	PRUP	8355	
<i>Pinnularia</i> sp30	PI30		
<i>Pinnularia</i> sp31	PI31		2 -
<i>Pinnularia</i> sp32	PI32		
<i>Pinnularia</i> sp33	PI33		
<i>Pinnularia</i> sp34	PI34		
<i>Pinnularia</i> sp35	PI35		
<i>Pinnularia</i> sp36	PI36		
<i>Pinnularia</i> sp37	PI37		
<i>Pinnularia</i> sp38	PI38		2 -
<i>Pinnularia</i> sp39	PI39		
<i>Pinnularia</i> sp40	PI40		
<i>Pinnularia</i> sp41	PI41		
<i>Pinnularia</i> sp42	PI42		
<i>Pinnularia</i> sp45	PI45		
<i>Pinnularia</i> sp46	PI46		
<i>Pinnularia</i> sp47	PI47		
<i>Pinnularia</i> sp48	PI48		
<i>Pinnularia</i> sp49	PI49		
<i>Pinnularia</i> sp50	PI50		
<i>Pinnularia</i> sp51	PI51		
<i>Pinnularia</i> sp52	PI52		
<i>Pinnularia</i> sp53	PI53		
<i>Pinnularia tabellaria</i> Ehrenberg 1843	PTAB	17892	
<i>Pinnularia thermalis</i> Manguin in Bourrelly & Manguin 1952	PTHE	28092	
<i>Placoneis</i> sp2	PLA2		
<i>Placoneis</i> sp3	PLA3		
<i>Placoneis</i> sp5	PLA5		
<i>Placoneis symmetrica</i> (Hustedt) Lange-Bertalot 2005	PSYM	17926	
<i>Planothidium biporumum</i> (Hohn & Hellerman) Lange-Bertalot 1999	PLBI	17390	
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot 1999	PLFR	8393	+
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot 1999 forme 1 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	PLF1		

Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciaires*
<i>Planothidium robustius</i> (Hustedt) Lange-Bertalot & Genkal 1999	PRBU	17715	+
<i>Planothidium rostratum</i> (Østrup) Lange-Bertalot 1999	PRST	19509	
<i>Platessa</i> sp1	PTS1		
<i>Platessa</i> sp2	PTS2		
<i>Pleurosira laevis</i> f. <i>laevis</i> (Ehrenberg) Compère 1982	PLEV	17399	-
<i>Reimeria uniseriata</i> Sala, Guerrero & Ferrario 1993	RUNI	18123	
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O. Müller 1895	RGIB	8427	
<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O. Müller 1895	RGBL	8431	
<i>Rhopalodia operculata</i> (C. Agardh) Håkansson 1979	ROPE	18110	
<i>Rhopalodia</i> sp1	RH01		+
<i>Rhopalodia</i> sp2	RH02		
<i>Rhopalodia</i> sp3	RH03		+
<i>Rhopalodia</i> sp4	RH04		
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkowsky 1902	SPUP	8444	
<i>Sellaphora seminulum</i> (Grunow) D.G. Mann 1989	SSEM	8445	+
<i>Sellaphora seminulum</i> (Grunow) D.G. Mann 1989 forme 2 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	ND02		+
<i>Sellaphora seminulum</i> (Grunow) D.G. Mann 1989 forme 3 in Asconit consultants & Irstea 2013 b	ND03		-
<i>Sellaphora</i> sp1	SE01		2 -
<i>Sellaphora</i> sp2	SE02		+
<i>Seminavis strigosa</i> (Hustedt) Danielidis & Economou-Amilii 2003	SMST	18488	-
<i>Simonsenia delognei</i> ssp. <i>rossii</i> Lange-Bertalot 1993	SDRO	18265	+
<i>Stauroneis prominula</i> (Grunow) Hustedt 1959	STPR	8469	
<i>Stauroneis pseudosuboptusoides</i> Germain 1981	STPO	18890	
<i>Stauroneis tenera</i> Hustedt 1937	STTE	18870	
<i>Stauroneis thermicola</i> (Petersen) Lund 1946	STHE	8475	
<i>Stenopterobia</i> sp1	SU01		
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow in Cleve & Grunow 1880***	SHAN	8746	
<i>Surirella</i> sp2	SU02		
<i>Surirella</i> sp3	SU03		
<i>Surirella stalagma</i> Hohn & Hellerman 1963	STSG	18812	
<i>Terpsinoe musica</i> Ehrenberg 1843	TMUS	8762	
<i>Thalassiosira</i> sp1	TAS1		
<i>Thalassiosira</i> sp2	TAS2		halin**



Dénomination du taxon	Code métier	Code Sandre	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Thalassiosira sp3</i>	TAS3		
<i>Thalassiosira weissflogii</i> (Grunow) Fryxell & Hasle 1977	TWEI	8778	
<i>Tryblionella apiculata</i> Gregory 1857	TAPI	9081	+
<i>Tryblionella balatonis</i> (Grunow in Cleve & Grunow) D.G. Mann 1990	TRBA	19087	-
<i>Tryblionella calida</i> (Grunow in Cleve & Grunow) D.G. Mann 1990	TCAL	9082	
<i>Tryblionella debilis</i> Amott ex O'Meara 1873	TDEB	18971	+
<i>Tryblionella levidensis</i> W. Smith 1856	TLEV	9088	-
<i>Tryblionella salinarum</i> (Grunow in Cleve & Grunow) Pelletan 1889	TSAL	8950	
<i>Tryblionella sp1</i>	TR01		
<i>Tryblionella sp2</i>	TR02		
<i>Tryblionella sp3</i>	TR03		
<i>Tryblionella sp5</i>	TR05		
<i>Tryblionella sp6</i>	TR06		
<i>Tryblionella sp7</i>	TR07		
<i>Tryblionella sp8</i>	TR08		
<i>Ulnaria lanceolata</i> (Kützing) Compère 2001	ULAN	19137	+
<i>Ulnaria pseudogaillonii</i> (Kobayasi & Idei) Idei 2006	UPSG	6701	+

Ce guide est téléchargeable :
<https://professionnels.afbiodiversite.fr/fr/guides-protocoles>

Citation : Lefrançois E., Eulin A., Guéguen J., Coste M., Delmas F., Monnier O., 2019.
Guide pour la mise en oeuvre d'indices biologiques en outre-mer. L'indice diatomique
antillais – IDA. Agence française pour la biodiversité, collection *Guides et protocoles*,
68 pages

Edition : Véronique Barre, Béatrice Gentil-Salasc
Iconographie : Bluelife



ISBN web-pdf : 978-2-37785-016-7
ISBN print : 978-2-37785-017-4

Impression : Estimprim
© AFB, juin 2019



L'indice diatomique antillais (IDA) est un outil de bioindication, destiné à l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau des Antilles françaises à partir de la structure de la communauté des diatomées benthiques.

Cet outil a été développé conjointement par Asconit et Irstea, dans le cadre d'un programme de recherche et développement sous la maîtrise d'ouvrage des Offices de l'eau de Guadeloupe et de Martinique, avec la participation des directions de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL) de Guadeloupe et de Martinique, et avec le soutien technique et financier de l'Agence française pour la biodiversité (AFB), afin de doter les Antilles d'un outil « DCE-compatible » disponible pour le 2^e plan de gestion DCE (2016-2021 ; *European commission* 2000, MTES 2018a&b). Réglementairement, l'usage de l'IDA est limité au suivi du réseau de contrôle et de surveillance (RCS).

Le présent guide a pour objet de cadrer la mise en œuvre opérationnelle de l'IDA afin d'obtenir les résultats d'évaluation les plus fiables possible. À chaque étape de l'acquisition des données de surveillance, il convient de respecter le protocole de mise en œuvre de l'indice de la phase de terrain jusqu'au calcul de la note ou EQR, notamment lors de la conception du plan d'échantillonnage, de sa mise en œuvre, du traitement des échantillons récoltés, de la détermination des espèces et du comptage des unités diatomiques, ainsi que du calcul des notes indicielles à partir des inventaires spécifiques. Des incertitudes peuvent être générées à chaque niveau de mise en œuvre du protocole.

Aussi, cet ouvrage a pour but de décrire précisément chacune des étapes-clés de la démarche, afin que la mise en œuvre de l'indice soit la plus rigoureuse et reproductible possible. Le présent guide ne saurait se substituer à une formation adaptée d'opérateurs qualifiés.



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



ASCONIT
ingénierie écologique



www.afbiodiversite.fr  [@afbiodiversite](https://twitter.com/afbiodiversite)

Agence française pour la biodiversité - Site de Vincennes : « Le Nadar », Hall C 5, Square Félix-Nadar, 94300 Vincennes - Tél. : 01 45 14 36 00

Photo de couverture : © Olivier Monnier-AFB - Bluelife pour AFB